



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMPRESA DE MINERAÇÃO HYDRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

JOYCE ANANDA PAIXÃO DUARTE

**ECOLOGIA DE *Euxylophora Paraensis* Huber EM UM FRAGMENTO FLORESTAL
NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PARÁ**

**BELÉM
2021**

JOYCE ANANDA PAIXÃO DUARTE

**ECOLOGIA DE *Euxylophora paraensis* Huber EM UM FRAGMENTO FLORESTAL
NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais, área de concentração de Manejo de Ecossistemas de Florestas Nativas.

Orientador: Dr. José Natalino Macedo Silva

Co-orientadoras: Prof^ª Dra. Gracialda Costa Ferreira
Prof^ª Dra. Jakeline Prata de Assis Pires

**BELÉM
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- D812e Duarte, Joyce Ananda Paixão Duarte
Ecologia de *Euxylophora paraensis* Huber em um fragmento florestal no Município de Paragominas-Pará / Joyce Ananda Paixão Duarte Duarte. - 2021.
78 f. : il. color.
- Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.
Orientador: Prof. Dr. José Natalino Macedo Silva Ferreira
Coorientador: Profª. Dra. Gracialda Costa Ferreira.
1. Fragmentação Florestal. 2. Fenologia. 3. Extinção. 4. Regeneração natural. 5. Amazônia. I. Ferreira, José Natalino Macedo Silva, *orient.* II. Título
-

CDD 634.92

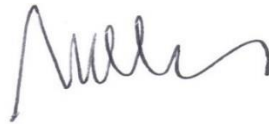
JOYCE ANANDA PAIXÃO DUARTE

**ECOLOGIA DE *Euxylophora paraensis* Huber EM UM FRAGMENTO
FLORESTAL NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PARÁ**

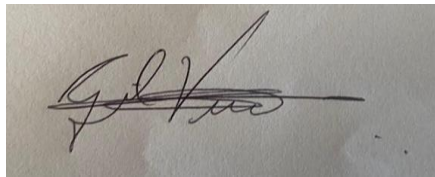
Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais, área de concentração de Manejo de Ecossistemas de Florestas Nativas.

Aprovado em 26 de maio de 2021

BANCA EXAMINADORA



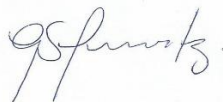
Prof. José Natalino Macedo Silva - Presidente



Prof. Gil Vieira - INPA 1º Examinador



Profª Ima Vieira, MPEG 2º Examinador



Prof. Gustavo Schwartz - EMBRAPA 3º Examinador



Prof. Divino Silvério – UFRA 4º Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu esposo, Dennis de Lima Duarte, e minha filha Eloah Paixão Duarte. Vocês são minhas âncoras, meu apoio e porto seguro.

EPÍGRAFE

E será como a árvore plantada junto a ribeiros de águas, a qual dá o seu fruto na estação própria, cujas folhas não caem, e tudo quanto fizer prosperará (Salmos 1:3)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu Deus Soberano que é minha força, sustento e o maior provedor para que esta tese tornasse possível.

À minha família que, além do apoio incondicional, é minha energia nos momentos de grandes desafios. Em especial, ao meu esposo, companheiro e amigo, Dennis Duarte, meu maior incentivador e que torna meus dias leves e cheios de esperança. À minha princesa, Eloah Paixão Duarte, que me presenteou com sua vinda durante a construção deste trabalho e tornou os meus dias mais intensos e incrivelmente prazerosos.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA/Belém), pelo acolhimento desde a graduação, e por ter me proporcionado grandes experiências profissionais. Estendo ainda à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), nas pessoas da Professora Lina Bufalino e Andreza Pereira, pelo apoio, empenho e dedicação em tornar o curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais cada vez mais excelente.

Aos meus orientadores, pelo direcionamento em cada etapa deste doutorado. À professora Gracialda Costa Ferreira, que acreditou no meu potencial e me confiou a participação em seu projeto de pesquisa como parte da equipe. Ao professor José Natalino Macedo Silva, cujos conselhos e orientações transpuseram os muros da academia. À professora Jakeline Prata de Assis Pires, que além de orientadora, foi amiga e parceira, a pessoa que me fez compreender os desafios e limites de uma pós-graduação.

Aos amigos que ajudaram na coleta e avaliação dos dados deste trabalho: Rodrigo Barbosa, José Marques Cardoso Silva, Raimundo Lima Goulart, Ramille Batista, Luíz Dionísio e Raphael Prado e Lélis Antonio Carlos Júnior.

À Empresa Hydro pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudo concedida e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

Aos colegas do PPGCF (UFRA) e aos amigos que acompanharam essa jornada: Sabrina Ribeiro, Juliana Abreu, Cibele Sousa e a todos da DIGEO/GEOTEC.

Chegar até aqui não foi uma conquista solitária, mas foi construída ao lado de pessoas que acreditaram e junto comigo fizeram esse sonho tornar-se real.

A todos vocês, minha eterna GRATIDÃO.

RESUMO GERAL

A fragmentação das florestas na Amazônia brasileira, tem aumentado de forma alarmante e está entre as maiores ameaças à biodiversidade tropical. Dentre as espécies ameaçadas está *Euxylophora paraensis* Huber. Espécie endêmica, cuja ocorrência natural é restrita apenas ao norte do Brasil, com registros de ocorrência concentrados nas regiões com histórico contínuo e intenso de exploração e conversão da cobertura florestal para outros usos. O avanço da fragmentação e a ameaça de extinção de *E. paraensis* motivou este trabalho cujo objetivo foi de avaliar a fenologia e a regeneração natural de forma a identificar a influência do efeito de borda, causado pela fragmentação, e dos elementos climáticos na reprodução desta espécie. O estudo foi conduzido num fragmento de floresta adjacente a áreas com atividades de mineração de bauxita, localizado no município de Paragominas no Sudeste do estado do Pará. Para a avaliação da fenologia foram coletados dados de atividade e intensidade de botão, flor e fruto de 38 matrizes no período de 2013 a 2017. As fenofases reprodutivas foram relacionadas com a distância do indivíduo até a borda do fragmento, medidas dendrométricas (DAP e altura), elementos climáticos e fotoperíodo, utilizando análise de regressão linear múltipla. A regeneração natural, por sua vez, foi quantificada e monitorada utilizando 10 parcelas circulares com 20 metros de raio cada. Avaliou-se a densidade de indivíduos da regeneração natural na borda e no interior do fragmento e também em relação à árvore matriz. Foram determinados ainda o Incremento Periódico Anual do diâmetro (IPA_{DAP}) e da altura (IPA_{HT}) e aplicado o GLM (Modelo Linear Generalizado) para verificar se havia diferença entre os ambientes e tamanho dos indivíduos. Os resultados indicaram que o padrão fenológico vegetativo da população de *E. paraensis* é sempre-verde ou perenifólia e o padrão reprodutivo é anual, regular, com duração longa. A fenodinâmica reprodutiva (botão, flor e fruto) dos indivíduos observados foi relacionada apenas com elementos climáticos. A distância da matriz em relação a borda do fragmento e o porte dos indivíduos (Altura e DAP) não foram correlacionados estatisticamente. Os elementos climáticos mais significativos para a reprodução de *E. paraensis* foram a pluviosidade, número de dias sem chuva, temperatura média, máxima das máximas, mínima das mínimas e fotoperíodo. A atividade reprodutiva ocorreu durante o período seco ou com menor quantidade de chuvas, revelando forte sazonalidade na reprodução. Quanto à regeneração natural, a densidade aumentou com o distanciamento da árvore matriz e houve correlação negativa com a área de copa, ou seja, quanto menor a área de copa maior a densidade dos indivíduos regenerantes. Houve diferença estatística da densidade, do IPA_{DAP} e IPA_{HT} tanto em relação ao tamanho do indivíduo quanto à localização no fragmento. Houve maior incremento diamétrico em mudas e arvoretas em área de borda e maior incremento em altura nas arvoretas na borda e no interior do fragmento. Sendo assim, a regeneração natural foi influenciada pelos processos de fragmentação florestal, havendo favorecimento da germinação das sementes e estabelecimento de mudas nas bordas. Não foram encontradas arvoretas nesse ambiente. De maneira geral, foi identificado que a conservação de *E. paraensis* está comprometida, diante do avanço do desmatamento e da fragmentação, pois esta espécie apresenta certa fragilidade frente às mudanças drásticas no clima. Essas perturbações podem comprometer a floração e a frutificação e dificultar o desenvolvimento da regeneração natural até a fase adulta.

Palavras chave: fragmentação florestal; mudanças climáticas; regeneração natural; fenologia; Amazônia.

ABSTRACT

Forest fragmentation in the Brazilian Amazon has increased alarmingly and is among the greatest threats to tropical biodiversity. Among the threatened tree species is *Euxylophora paraensis* Huber. It is an endemic species with natural occurrence restricted to the north of Brazil, in regions with a continuous and intense history of logging and conversion of forest cover to other uses. The aim of this work was to evaluate phenology and natural regeneration of *E. paraensis* in order to identify the influence of fragmented environments on the species reproduction. The study was carried out in a forest fragment adjacent to areas with bauxite mining activities, located in the municipality of Paragominas, southeast of Pará state, Brazil. For evaluating the phenology, activity and intensity of bud, flower and fruit data were collected from 38 seed bearers in the period from 2013 to 2017. Reproductive phenophases were related to the individual's distance to the fragment edge, dendrometrical measurements (DBH and height), climate elements and photoperiod, using multiple linear regression analysis. Natural regeneration was quantified and monitored using 10 circular plots with radius of 20 m each. The density of individuals of natural regeneration was evaluated at the edge and inside the fragment and also in relation to the matrix tree. The Periodic Annual Increment in diameter (PAI_{DBH}) and height (PAI_{HT}) were also determined and the GLM (General Linear Model) was applied to verify differences between environments and size of the individuals. The results indicated that the vegetative phenological pattern of the *E. paraensis* population is evergreen and the reproductive pattern is annual, regular, and long lasting. The reproductive phenodynamics (bud, flower and fruit) of the individuals observed was related only to climate elements. The matrix distance from the fragment's border and the size of the individuals (DBH and height) were not statistically correlated. The most significant climate elements for the reproduction of *E. paraensis* were rainfall, number of days without rain, average temperature, maximum of the maxima, minimum of the minima and photoperiod. Reproduction showed strong seasonality, occurring during the dry season. Regarding the natural regeneration, the density of individuals increased with the distance from the seed bearer with a negative correlation with the canopy area. The smaller is the canopy area, the greater the density of regenerating individuals. PAI_{DBH} and PAI_{HT} presented statistical difference in density, both in relation to the size of the individual and to the location in the fragment. There was a greater diametric increase in seedlings and trees in the edge area and a greater increase in height in the trees at the edge and inside the fragment. Thus, natural regeneration had effect of forest fragmentation, with higher germination and seed establishment at the fragment edges. No small trees were found in this environment. There are signs that the conservation of *E. paraensis* is in risk, due to the increasing deforestation and fragmentation and the species fragilities to drastic climate changes. Such disturbances can impact flowering and fruiting and hamper the natural regeneration.

Keywords: forest fragmentation; climate changes; natural regeneration; phenology; Amazonia

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

- Figura 1:** Mapa de localização da área e de estudo e das matrizes de *Euxylophora paraensis* Huber no fragmento florestal no município de Paragominas - Pará..... 16
- Figura 2:** *Euxylophora paraensis* Huber. (A) – Indivíduo adulto; (B) – Botão Floral; (C) – Flor em antese; D – Fruto em estágio final de desenvolvimento; (E) – Fruto após a dispersão de sementes. Paragominas-Pará..... 18
- Figura 3:** (A) Temperatura máxima das máximas, mínima das mínimas e média; (B) Precipitação mensal e número de dias com chuva no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2017 no município de Paragominas, Pará, Brasil; (C) Fotoperíodo e radiação. Fonte: INMET e Observatório Nacional. 22
- Figura 4:** Atividade (---) e intensidade (___) da cobertura de folha na copa (A), emissão de botão floral (B), antes das flores (C) e frutificação (D) da população de *Euxylophora paraensis* Huber em fragmento florestal localizado no município de Paragominas, estado do Pará, Brasil. 24
- Figura 5:** Emissão de botão floral (→), antes das flores (Botão Floral (→)) e frutificação (→) das 37 matrizes de *Euxylophora paraensis* Huber monitoradas no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2017 no fragmento florestal no município de Paragominas, Pará, Brasil. Nota: AA: Ausência da atividade reprodutiva. AF: Ausência de Frutificação 26
- Figura 6:** Análise de componentes principais (PCA) com base nos valores das 9 variáveis ambientais do Município de Paragominas, Pará, Brasil no período de 2013 a 2017. Variáveis climáticas: Pluviometria (Pluv), número de dias sem chuva (Schuva); temperatura média (Tmed), temperatura máxima (Tmx), temperatura máxima das máximas (Tmx_mx), temperatura mínima (Tmin), temperatura mínima das mínimas (Tmin_min), radiação (Rad), Fotoperíodo (Photop). 27
- Figura 7:** Análise gráfica da Regressão Beta da intensidade das fenofases reprodutivas em relação a sazonalidade e as principais variáveis climáticas. Fenofases: Botão Floral , Flor e Fruto. 30

CAPITULO 2

- Figure 1:** Location of the research and sketch of the plots in the *Euxylophora paraensis* Huber seed bearers at the edge and in the inner fragment in the municipality of Paragominas, State of Pará, Brazil. 46
- Figure 2:** Density of natural regeneration of *Euxylophora paraensis* Huber in a forest fragment in the municipality of Paragominas – Pará, Brazil. 49
- Figure 3:** Diameter and height distribution of *Euxylophora paraensis* Huber in a forest fragment in the municipality of Paragominas, state of Pará, Brazil. 50
- Figure 4:** Density of NR under crowns of seed bearers of *Euxylophora paraensis* Huber in relation to the crown area in a forest fragment in the municipality of Paragominas – Pará, Brazil. 51
- Figure 5:** Relationship between the density of *Euxylophora paraensis* Huber NR and distance from the seed bearer in a forest fragment in the municipality of Paragominas, state of Pará, Brazil. 52
- Figure 6:** Periodic Annual Increment in DBH (PAIDBH) and height (PAIHT) of the natural regeneration of *Euxylophora paraensis* Huber in the municipality of Paragominas – Pará, Brazil. 53

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 1

Tabela 1: Resumo dos resultados das análises multivariadas GLM Binomial entre os fatores climáticos e a atividade dos eventos fenológicos reprodutivos de <i>Euxylophora paraensis</i> Huber (Botão, Flor e Fruto) no período 2013 a 2017, no fragmento florestal localizado no município de Paragominas, Pará, Brasil.	28
--	-----------

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	8
CAPITULO 1	12
Introdução	14
<i>Área de estudo</i>	16
<i>Espécie Estudada</i>	17
<i>Coleta de dados</i>	18
<i>Análise de dados</i>	19
Resultados	21
<i>Elementos Climáticos</i>	21
<i>Fenodinâmica</i>	23
<i>Relação das fenofases reprodutivas com os elementos climáticos</i>	26
Discussão	30
Referências	35
APÊNDICE	41
CAPITULO 2	43
Resumo	43
1. Introduction	45
2. Methodology	46
2.1 <i>Study area</i>	46
2.2 <i>Data Collection</i>	47
2.3 <i>Data analysis</i>	48
3. Results	49
3.1 <i>Population structure</i>	49
3.2 <i>Natural regeneration concerning the seed bearer</i>	51
3.3 <i>Population dynamics</i>	52
4. Discussion	53
4.1 <i>Population structure</i>	53
4.2 <i>Natural regeneration under the seed bearers</i>	54
4.3 <i>Population dynamics of E. paraensis</i>	55
5. Conclusions	56
References	57
APÊNDICES	62
CONCLUSÕES GERAIS	64

CONTEXTUALIZAÇÃO

A fragmentação florestal tem aumentado de forma alarmante nos trópicos e estão entre as maiores ameaças para as mudanças climáticas e perda de biodiversidade (LAURANCE *et al.*, 2011; HADDAD *et al.*, 2015; AMORIM *et al.*, 2019). Cerca de 70% da área florestal do mundo está próximo a uma borda de fragmento de floresta (HADDAD *et al.*, 2015). Na Amazônia, grandes extensões de florestas já foram fragmentadas e reduzidas em tamanho, sendo este o resultado de diversas atividades antrópicas como, por exemplo, o avanço da fronteira agrícola, extração madeireira, abertura de estradas e atividades minerárias (LAURANCE *et al.*, 2018).

Dentre os impactos mais significativos da fragmentação estão os efeitos de borda que podem ocasionar diversas mudanças ambientais e ecológicas (MURCIA, 1995; HADDAD *et al.*, 2015). As bordas de fragmentos florestais são limites ou zonas de transição entre a floresta e os tipos de uso da terra como agricultura, pecuária, mineração ou área urbana (OLIFIERS E CERQUEIRA, 2006). A zona de transição entre a floresta e o ambiente alterado é o local onde ocorrem os principais efeitos de borda, podendo apresentar diversos tamanhos e consequências (CAMARGO *et al.*, 2011). Na região Amazônia, estudos identificaram que os efeitos de borda mais evidentes ocorreram nos primeiros 100 metros da margem da floresta (*e.g.* NASCIMENTO E LAURANCE, 2006; LAURANCE *et al.*, 2018). Dentre eles estão a mudanças no microclima, redução da umidade, aumento da luminosidade no sub-bosque, maior variabilidade de temperatura, maior incidência de vento (*e.g.* NASCIMENTO E LAURANCE, 2006; BRIANT *et al.*, 2010; LAURANCE *et al.*, 2018). Além de mudanças na composição e diversidade da comunidade vegetal (*e.g.* BENÍTEZ-MALVIDO *et al.*, 2018), alteração nos padrões de reprodução e dispersão das espécies (*e.g.* LAURANCE *et al.*, 2009; TABARELLI *et al.* 2012), alterações no ciclo reprodutivo de plantas (URIARTE *et al.*, 2010). A modificação na distribuição espacial, interfere na dispersão, germinação de sementes, sobrevivência e recrutamento de plântulas (*e.g.* LAURANCE E VASCONCELOS, 2009).

Apesar do grande acervo sobre os efeitos de borda nos ecossistemas amazônicos, estes estudos estão concentrados em fragmentos circundados por floresta em regeneração, ou seja, por uma matriz permeável aos organismos florestais, o que resulta na recolonização facilitada de muitas espécies que haviam desaparecido dos fragmentos após o isolamento florestal (*e.g.* LAURANCE *et al.*, 2001; LAURANCE E VASCONCELOS, 2009; BRIANT *et al.*, 2010; URIARTE *et al.*, 2010; LAURANCE *et al.*, 2018). Já informações sobre os aspectos reprodutivos de espécies florestais em fragmentos sob a influência de áreas com atividades de mineração nas proximidades ainda são escassas.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de bauxita e o estado do Pará concentra 91% dessa produção (ABAL, 2017). Na Amazônia, o processo de lavra dos minérios de bauxita é feito a céu aberto, a partir do método por tiras (*strip mining*), que remove todo o componente florestal de forma controlada deixando remanescentes florestais nas proximidades (SALOMÃO *et al.*, 2013). Apesar do controle da exploração minerária, é

previsto que esta atividade tenha um aumento na produção de 3 a 5 vezes até 2030 (MME 2011). Além disso, de acordo com Sonter e colaboradores (2017), a mineração pode promover alterações físicas e ecológicas até 70 km além dos limites de locação de minas, o que pode trazer importantes implicações para a conservação de espécies da fauna e da flora localizadas nesses habitats alterados.

As árvores que permanecem às margens de habitats fragmentados podem ter diferentes respostas que variam de acordo com a sua ecologia, condições bióticas e abióticas na qual são submetidas (LIMA *et al.*, 2018). Uma das formas de avaliar o comportamento de espécies arbóreas em áreas fragmentadas é a partir do estudo da fenologia que se dá pela observação de fenofases vegetativas e reprodutivas para obter respostas de uma população quando exposta a variadas condições bióticas e abióticas (MORELLATO, 2014). A fenologia tem sido amplamente utilizada como um indicador de respostas das espécies às mudanças nas condições ambientais e climáticas (WU *et al.*, 2016; MENDOZA *et al.*, 2017; PIRES *et al.*, 2018) o que pode ser fundamental para prever a resposta a longo prazo e a resiliência das florestas tropicais às diversas alterações.

As árvores são altamente sensíveis aos efeitos da fragmentação (LAURANCE *et al.*, 2018) e variabilidade climática (BRADLEY *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013), podendo responder de maneira favorável ou desfavorável de acordo com a ecologia da espécie (LIMA *et al.*, 2018). Em áreas fragmentadas, algumas espécies florestais apresentaram altos níveis de estresse, devido a maior exposição aos distúrbios e variações, o que pode promover mudanças nos traços reprodutivos (*e.g.* LAURANCE *et al.*, 2003, TABARELLI *et al.*, 2012; ATHAYDE E MORELLATO 2014; PIRES *et al.*, 2014; VOGADO *et al.*, 2016; FORTUNATO E QUIRINO, 2016). Outros trabalhos também demonstraram que os padrões fenológicos também podem ser comprometidos com as alterações dos elementos climáticos (*e.g.* LEPSCH-CUNHA E MORI, 1999; MORELLATO *et al.*, 2014; WRIGHT *et al.*, 2019).

No entanto, apesar da gama de estudos sobre fenologia, pouco se sabe sobre os efeitos combinados de fragmentação e mudanças climáticas na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas, principalmente se tratando de fenologia a longo prazo (MORELLATO *et al.*, 2014; MANOLI *et al.*, 2018). Na Amazônia, os estudos que tratam das respostas fenológicas de espécies florestais, estão associados ou com os efeitos da fragmentação (*e.g.* LAURANCE *et al.*, 2003; DICK *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2018) ou com os eventos climáticos (*e.g.* LEPSCH-CUNHA E MORI, 1999; OLIVEIRA, 2010; BRADLEY *et al.*, 2011; PEREIRA E TONINI, 2012; FREITAS *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013), mas não com os efeitos combinados de fragmentação e clima, que podem intensificar a ameaça a sobrevivência de espécies e a integridade ecológica da floresta amazônica (COE *et al.*, 2013).

Observações fenológicas de longa duração nos trópicos já têm demonstrado que eventos extremos como El Niño podem afetar a fenologia de plantas (WRIGHT E CALDERON 2006). Com essas observações pode-se inferir sobre a possível influência das mudanças do clima nas florestas tropicais, como tem sido sugerido em estudos da dinâmica da floresta amazônica (PHILLIPS *et al.*, 2009). No entanto, detectar os fatores climáticos que influenciam a fenologia das plantas é um desafio central na pesquisa ecológica (MENDOZA *et al.*, 2017). Alguns estudos já apontaram algumas variáveis climáticas, que em conjunto

atuam como gatilhos para a ocorrência das fenofases vegetativas e reprodutivas, como por exemplo, a temperatura (KLIMAS *et al.*, 2012; PAU *et al.*, 2020), pluviometria (COOK E VIZY, 2007; BRANDO *et al.*, 2010; FREITAS *et al.*, 2013, DUNHAM *et al.*, 2018) e fotoperíodo (BORCHET *et al.*, 2005; YEANG, 2007; RUBIM *et al.*, 2010). Uma revisão abrangente dos estudos de fenologia de espécies neotropicais mostrou que 73,4% das pesquisas tiveram resultados em que chuva foi o fator climático determinante para a frutificação, enquanto 19,3% foi a temperatura e 3,2% radiação e fotoperíodo (MENDOZA *et al.*, 2017). Existem espécies que apresentam atividade reprodutiva associada ao período chuvoso (PEREIRA E TONINI, 2012; WRIGHT *et al.*, 2019) e outras no período seco (LEPSCH-CUNHA E MORI, 1999) e tais estratégias podem estar relacionadas às características morfológicas, fisiológicas e ecológicas de cada espécie (PHILLIPS *et al.*, 2009). Por exemplo, *Carapa guianensis* (Meliaceae) tem a dispersão dos frutos correlacionada com a precipitação para facilitar a dispersão dos seus frutos pela água (PEREIRA E TONINI, 2012). Já *Couratari multiflora* (Lecythidaceae) floresce e frutifica durante a seca por conta da facilidade de dispersar suas sementes aladas (LEPSCH-CUNHA E MORI, 1999).

Desta forma, sabendo a relação dos elementos climáticos com a fenologia, em que estes funcionam como gatilhos para o início das atividades vegetativas e reprodutivas (BRANDO *et al.*, 2006; KLIMAS *et al.*, 2012; MORELLATO *et al.*, 2013; PIRES *et al.*, 2018). Variações nesses elementos podem ocasionar mudanças na resposta reprodutiva das espécies e comprometer a polinização, dispersão de sementes, disponibilidade de frutos para a fauna, alterações na distribuição espacial da regeneração e na dinâmica populacional das plantas, ocasionando um efeito cascata até levar a espécie ao nível de extinção (ALBERTI E MORELLATO 2010; SILVA E TABARELLI, 2000; MAUÉS E OLIVEIRA, 2010; PIRES *et al.*, 2014; CORRÊA *et al.*, 2018). Essas alterações se tornam ainda mais preocupantes considerando que as projeções climáticas para a Amazônia nas próximas décadas são de condições extremas de secas devido ao intenso desmatamento (COOK E VIZY, 2007; BRANDO *et al.*, 2010; LLOPART *et al.*, 2018).

A regeneração natural, por sua vez, é um mecanismo de grande importância na recuperação gradual em nível de estrutura, composição e função de ecossistemas responsáveis pela perpetuação das espécies (MELO *et al.*, 2015). As espécies das florestas tropicais apresentam diversos mecanismos para o sucesso da regeneração como: banco de sementes do solo, chuva de sementes, banco de plântula e brotações (BENÍTEZ-MALVIDO *et al.*, 2018). Estes mecanismos permitem uma progressão dos estágios sucessionais por meio do ingresso e recrutamento de indivíduos de diferentes espécies no sistema garantindo a renovação, sustentabilidade e manutenção da diversidade biológica dos ecossistemas (LAURANCE *et al.*, 2018). Com a fragmentação de extensas áreas de florestas na região Amazônia, diversos estudos foram realizados com o propósito de caracterizar a dinâmica e organização espacial do componente regenerativo em ambientes antropizados, uma vez que as mudanças na distribuição espacial e densidade de indivíduos são fortemente influenciadas por fatores ambientais bióticos e abióticos (*e.g.* NASCIMENTO *et al.*, 2006; GÓMEZ, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2016; BENÍTEZ-MALVIDO *et al.*, 2018; DUARTE *et al.*, 2021).

A fragmentação de florestas pode ocasionar grandes mudanças demográficas em espécies florestais onde algumas espécies tornam-se mais abundantes (LAURANCE E VASCONCELOS, 2009; GÓMEZ, 2011; BENÍTEZ-MALVIDO *et al.*, 2018) enquanto outras apresentam declínio populacional (MEDEIROS *et al.*, 2016), o que pode ocasionar até extinção local (LAURANCE *et al.*, 2009). O comportamento de cada espécie é variável em relação à presença e proximidade com os ambientes de bordas, e isso se deve ao fato que cada espécie tem uma gama de características ecológicas que podem influenciar sua capacidade de persistir e colonizar habitats alterados a partir da regeneração natural (LAURANCE *et al.*, 2001; ASANOK *et al.*, 2013; BENÍTEZ-MALVIDO *et al.*, 2018). No estudo de Machado e colaboradores (2010), diversas espécies apresentaram dificuldade em formar banco de plântulas em área de borda do fragmento. Já outros trabalhos identificaram o aumento rápido de espécies demandantes de luz em áreas próximas às bordas do fragmento (*e.g.* MELO *et al.*, 2015; BLUMENFELD *et al.*, 2016; LAURANCE *et al.*, 2018).

O conhecimento sobre a dinâmica e distribuição da regeneração, bem como a fenologia das atividades vegetativas e reprodutivas de espécies arbóreas é fundamental para obter resposta sobre o comportamento destas, além de promover informações para auxiliar o manejo destas espécies e verificar suas potencialidades como espécies bioindicadoras para melhorar ações de conservação em florestas fragmentadas (SILVA *et al.*, 2013; MAUÉS E OLIVEIRA, 2010; PEREIRA E TONINI, 2012; FREITAS, *et al.*, 2013),

Euxylophora paraensis Huber é uma espécie de distribuição geográfica restrita na Amazônia, a qual passa por forte impacto devido a fragmentação florestal. Esta espécie pertence à família Rutaceae e é a única do gênero *Euxylophora* (MARGALHO *et al.*, 2014). É conhecida popularmente como pau-amarelo, devido à cor de sua madeira, e no comércio internacional pelos nomes de “Brazilian Boxwood” e “Satinwood” (FREITAS *et al.*, 2019). *Euxylophora paraensis* é uma espécie endêmica do norte do Brasil por apresentar ocorrência natural e restrita em apenas em quatro estados (Amazonas, Pará, Tocantins e Maranhão) (ISIDORO *et al.*, 2012; CNCFlora 2012). No Estado do Pará, esta espécie tem distribuição apenas nas Florestas Ombrófilas Densas de Terras Baixas e Submontanas do alto e médio Rio Capim, no município de Paragominas, na Floresta Nacional do Tapajós, em Belterra e nas Florestas Ombrófilas Densas Aluviais no sudoeste da Ilha de Marajó (CNCFlora, 2012). Todas essas regiões apresentam, nas últimas décadas, histórico contínuo de pressão de exploração sem manejo dos recursos florestais e conversão da cobertura florestal para outros usos, principalmente pecuária (FREITAS *et al.*, 2019). *Euxylophora paraensis* apresenta alto valor silvicultural, econômico, além de grande valor histórico, cultural e ecológico na região Amazônia (FREITAS *et al.*, 2019). Devido à sua reconhecida beleza e resistência mecânica, o pau-amarelo foi intensamente explorado, principalmente para produção de móveis, pisos e acabamentos de interior (ISIDORO *et al.*, 2012) sendo uma das mais exploradas no estado do Pará (FREITAS *et al.*, 2019). Um dos usos mais comuns desta espécie foi a utilização da madeira para construção dos casarões do centro histórico de Belém no final do século XVIII (FREITAS *et al.*, 2019).

Devido às limitações ecológicas e demográficas da espécie e ao intenso desmatamento nas áreas de ocorrência natural, o pau-amarelo vem sofrendo danos irreversíveis em suas

populações naturais, o que resultou em sua inclusão na lista de espécies ameaçadas de extinção. Atualmente o pau-amarelo está na lista nacional como “Criticamente em Perigo” (CNCFLORA, 2019) e na lista de espécies ameaçadas de extinção do estado do Pará como “Vulnerável” (SEMAS, 2007), o que proíbe a integração da espécie na lista de corte em planos de manejo florestal. Sendo assim, estes fatores motivaram a escolha da espécie para realização do presente estudo.

Dada a importância do entendimento dos efeitos de borda em fragmentos florestais, este trabalho objetivou analisar o comportamento ecológico reprodutivo de *E. paraensis*, considerando aspectos da sua fenologia e regeneração natural em um fragmento florestal adjacente a áreas de mineração de bauxita no município de Paragominas - Pará.

Para abordar os aspectos ecológicos de *E. paraensis*, este trabalho está dividido em dois capítulos, abordando a fenodinâmica vegetativa e reprodutiva e a dinâmica da regeneração natural. No primeiro capítulo, é avaliada a fenodinâmica de *E. paraensis* de forma a caracterizar o padrão vegetativo e reprodutivo por meio dos índices de atividade e intensidade de Fournier, além de tratar da influência de fatores ambientais e climáticos nos eventos reprodutivos. No segundo capítulo, foram abordados a regeneração natural de *E. paraensis* quanto à densidade populacional, incremento do diâmetro e da altura para os diferentes ambientes do fragmento e tamanhos diferentes da planta. Foi analisada também a frequência dos indivíduos da regeneração natural quanto ao distanciamento da árvore matriz.

REFERÊNCIAS

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio. **Bauxita no Brasil: mineração responsável e competitividade**. 61f. 2017.

ALBERTI, L.F.; MORELLATO, P.C. Variation on fruit production of *Nectandra megapotamica* (Lauraceae) trees on the edge and interior of a semideciduous forest - a case study. **Naturalia** 33: 57-68, 2010.

AMORIM, T. X.; SENNA, M. C. A.; CATALDI, M. Impactos do desmatamento progressivo da Amazônia na precipitação do Brasil. **Revista brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019.

ASANOK, L.; MAROD, D.; DUENGKAE, P.; PRANMONGKOL, U.; KUROKAWA, H.; AIBA, M.; NAKASHIZUKA, T. Relationships between functional traits and the ability of forest tree species to reestablish in secondary forest and enrichment plantations in the uplands of northern Thailand. **Forest Ecology and Management**, v.296, p. 9-23, 2013.

ATHAYDE, E. A.; MORELLATO, L. P. C. Anthropogenic edges, isolation and the flowering time and fruit set of *Anadenanthera peregrina*, a cerrado savanna tree. **International Journal of Biometeorology**, v.58, p.443–454, 2014.

BENÍTEZ-MALVIDO, J.; LÁZARO, A.; FERRAZ, I. D. K. Effect of distance to edge and edge interaction on seedling regeneration and biotic damage in tropical rainforest fragments: A long-term experiment. **Journal of ecology**. 106:2204–2217, 2018.

BLUMENFELD, E. C.; SANTOS, R. F.; THOMAZIELLO, S. A.; RAGAZZI, S. Relações entre tipo de vizinhança e efeitos de borda em fragmento florestal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1301-1316, 2016.

BORCHERT, R.; RENNER, S. S.; CALLE, Z.; NAVARRETE, D.; TYE, A.; GAUTIER, L.; SPICHTIGER, R.; HILDEBRAND, P. V. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. **Nature**, v.433, p. 627 – 629, 2005.

BRADLEY, A. V.; GERARD, F. F.; BARBIER, N.; WEEDON, G. P.; ANDERSON, L. O.; HUNTINGFORD, C.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ZELAZOWSKI, P.; ARAI, E. Relationships between phenology, radiation and precipitation in the Amazon region. **Global Change Biology**, v.17, p.2245–2260, 2011.

BRANDO, P. M.; SCOTT J.; BACCINI, A. G.; NEPSTAD, D. C.; BECK, P. S. A.; CHRISTMAN, M. C. Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. **PNAS**, 107, 33, p. 14685-14690, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0908741107> .

BRIANT, G., GOND, V. & LAURANCE, S. G. Habitat fragmentation and the desiccation of forest canopies: a case study from eastern Amazonia. **Biological Conservation**, v.143, p.2763–2769, 2010.

CAMARGO, M. G. G.; SOUZA, R. M.; REYS, P.; MORELLATO, L. P. Effects of environmental conditions associated to the cardinal orientation on the reproductive phenology

of the cerrado savanna tree *Xylopia aromatica* (Annonaceae). **An Acad Bras Cienc.** 83:1007–1020, 2011.

CNCFlora. *Euxylophora paraensis* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2. Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Euxylophora paraensis](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Euxylophora_paraensis)>. Acesso em 13 fevereiro 2021.

COE, M. T.; MARTEWS, T. R.; COSTA, M. H.; GALBRAITH, D. R.; GREENGLASS, N. L.; IMBUZEIRO, H. M. A.; LEVINE, N. M.; MALHI, Y.; MOORCROFT, P. R.; MUZA, M. N.; POWELL, T. L.; SALESKA, S. R.; SOLORZANO, L. A.; WANG, J. Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south–southeastern Amazonia, **Phil. Trans. R. Soc. B.** 368: 20120155, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0155>

COOK, K. H.; VIZY, E. K. Effects of twenty-first-century climate change on the Amazon Rain Forest. **Journal of climate**, v.28, p. 542-560, 2007. Doi: 10.1175/2007JCLI1838.1

CORRÊA, B. J. S.; FELIPPI, M.; LUBKE, L.; OTALAKOSKI, J.; POTRICH, M.; BECHARA, F. C. Fenologia e aspectos da biologia floral de *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sancho (Asteraceae) em plantio de restauração florestal. **Acta Biológica Catarinense**, 5, 3, p.65-77, 2018.

DICK, C. W.; ETCHELECU, G.; AUSTERLITZ, F. Pollen dispersal of tropical trees (*Dinizia excelsa*: Fabaceae) by native insects and African honeybees in pristine and fragmented Amazonian rainforest. **Molecular Ecology**, 12, p. 753—764, 2003.

DIDHAM, R. K.; KAPOV, V.; EWERS, R. M. Rethinking the conceptual foundations of habitat fragmentation research. **Oikos**. v.121, p. 161–170, 2012.

DUARTE, J. A. P., FERREIRA, G. C., RUSCHEL, A. R., MAFRA, N.A. Composição e estrutura florística de Florestas degradadas e secundárias da mesorregião Sudeste Paraense, PA, Brasil. **Biota Amazônia**. 8, 2, p.32-43, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v8n2p32-43>

DUARTE, J. A. P.; SILVA, J. M. N.; Pires, J. P. A.; FERREIRA, G. S.; DIONÍSIO, L. F. S. Anthropogenic disturbances stimulate natural regeneration of *Euxylophora paraensis* Huber in a forest fragment in the eastern Amazon. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, e47210111972, 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11972>

DUNHAM, A. E.; RAZAFINDRATSIMA, O. H.; RAKOTONIRINA, P.; WRIGHT, P. C. Fruiting phenology is linked to rainfall variability in a tropical rain forest. **Biotropica** 50, 3. p. 396–404 2018.

FORTUNATO, M. M.; QUIRINO, Z. M. Efeitos da fragmentação na fenologia reprodutiva de espécies arbóreas presentes em borda e interior de Mata Atlântica Paraibana. **Rodriguésia**, v.67, n.3, p.603-614. 2016.

FREITAS, J. L.; SANTOS, A. C.; SILVA, R. B.; RABELO, F. G.; SANTOS, E. S.; SILVA, T. L. Fenologia reprodutiva da espécie *Carapa guianensis* Aubl. (Andirobeira) em ecossistemas de terra firme e várzea, Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, p.31-38, 2013.

FREITAS, L. J. M., LOPES, J., BANDÃO, A., FERREIRA, J., STUCCHI, G., SCHWARTZ, G., SILVA, A. **Silvicultura em clareiras: Estratégia de conservação in situ de**

Euxylophora paraensis (pau-amarelo) no Nordeste Paraense. Documentos, Embrapa Amazônia Oriental, 21p, 2019.

GÓMEZ, J. W. L. Regeneración natural de nueve espécies maderables en um bosque intervenido de la Amazonia Boliviana. **Acta Amazônica**, v.41, n.1, p.135-142, 2011.

HADDAD, N. M.; BRUDVIG, L. A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K. F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R. D.; LOVEJOY, T. E.; SEXTON, J. O.; AUSTIN, M. P.; COLLINS, C. D.; COOK, W. M.; DAMSCHEN, E. I.; EWERS, R. M.; FOSTER, B. L.; JENKINS, C.N.; KING, A. J.; LAURANCE, W. F.; LEVEY, D. J.; MARGULES, C. R.; MELBOURNE, B. A.; NICHOLLS, A. O.; ORROCK, J. L.; SONG, D.; TOWNSHEND, J.R. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems, **Science Advances**, v.1, n.2, p.1-9, 2015.

ISIDORO, M. M.; SILVA, M. F. G. F.; FERNANDES, J. B.; VIEIRA, P. C.; ARRUDA, A. C.; SILVA, S. C. Fitoquímica e quimiosistemática de *Euxylophora paraensis* (Rutaceae). **Química Nova**, v. 35, n. 11, p.2119-2124, 2012.

KLIMAS CA, KAINER KA, WADT LH, STAUDHAMMER, C. L.; RIGAMONTE-AZEVEDO, V.; CORREIA, M. F.; LIMA, L. M. S. Control of *Carapa guianensis* phenology and seed production at multiple scales: a five-year study exploring the influences of tree attributes, habitat heterogeneity and climate cues. **Journal of Tropical Ecology**, 28, p.105–118, 2012. Doi:10.1017/S0266467411000630

LAURANCE, W. F.; WILLIAMSON, G. B.; DELAMONICA, P.; OLIVEIRA, A.; GASCON, C.; LOVEJOY, T. E.; POHL, E. L. Effects of a strong drought on Amazonian forest fragments and edges. **Journal of Tropical Ecology**, v.17, p. 771-785, 2001.

LAURANCE, W. F.; MERONA, J. M. R.; ANDRADE, A.; LAURANCE, S. G.; D'ANGELO, S.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L. Rain-forest fragmentation and the phenology of Amazonian tree communities. **Journal of Tropical Ecology**, 19:343–347, 2003.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação. **Oecologia Brasiliensis**, v.13, n.3, p.434-451, 2009.

LAURANCE, W.; CAMARGO, J. L.; LUIZAO, R.; LAURANCE, S.; PIMM, S.; BRUNA, E.; STOUFFER, P.; WILLIAMSON, G.; BENÍTEZ, J.; VASCONCELOS, H.; VAN HOUTAN, K.; ZARTMAN, C.; BOYLE, S.; DIDHAM, R.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. (2011). The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation**. 144. 56-67. Doi: 10.1016/j.biocon.2010.09.021.

LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; FEARNSIDE, P. M.; LOVEJOY, T. E.; WILLIAMSON, G. B.; MESQUITA, R. C. G.; MEYER, C. F. J.; BOBROWIEC, P. E. D.; LAURANCE, S. G. W. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. **Biological Reviews**, v.93, p. 223 – 247, 2018.

LEPSCH-CUNHA, N.; MORI, S. A. Reproductive phenology and mating potential in a low density tree population of *Couratari multiflora* (Lecythidaceae) in central Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, v.15, p.97–121, 1999.

LIMA, J. M. T.; CARUSO, N. M.; CLUGSTON, J.; KAINER, K. A. Landscape change alters reproductive phenology and sex expression in *Attalea palms* (Arecaceae) of southwestern Amazonia. **Plant Ecology**, v.219, n.10, p.1225–1245, 2018.

- LLOPART, M.; REBOITA, M. S.; COPPOLA, E.; GIORGI, F.; ROCHA, R. P.; SOUZA, D.O. Land use change over the Amazon forest and its impact on the local climate. **Water**, 10, 149, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/w10020149>
- MACHADO, E. L. M.; GONZAGA, A. P. D.; CARVALHO, W. A. C.; SOUZA, J. S.; HIGUCHI, P.; SANTOS, R. M.; SILVA, A. C.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Flutuações temporais nos padrões de distribuição Diamétrica da comunidade arbóreo-arbustivo e de 15 populações em um fragmento florestal. **Revista Árvore**, v.34, n.4, p.723-732, 2010.
- MARGALHO, L. F.; GURGEL, E. S. C.; GOMES, J. I.; GROPPPO, M.; MARTINS-DASILVA, R. C. V.; DE CARVALHO, L. T.; SOUZA, A. S. **Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber - Rutaceae)**. Embrapa Amazônia Oriental, Comunicado Técnico, nº 247, 2014.
- MANOLI, G.; IVANOV, V. Y.; FATICHI, S. Dry-season greening and water stress in amazonia: the role of modeling leaf phenology. **JGR Biogeosciences**, 123, 6, 2018.
- MAUÉS, M. M; OLIVEIRA, P. E. A. M. Consequências da fragmentação do habitat na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas em florestas tropicais, com ênfase na Amazônia. **Oecologia Australis**, 14, 1, p.238-250, 2010.
- MEDEIROS, R. L. S.; SOUZA, V. C.; BARBOSA NETO, M. A.; ARAÚJO, L. BARBOSA, A. S.; MEDEIROS, R. L. S. Estrutura da regeneração natural de *Anadenanthera colubrina* em fragmento de brejo de altitude em Bananeiras, PB. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 95-101, 2016.
- MELO, A. C. G.; DARONCO, C.; RÉ; D. S., DURIGAN, G. Tree species attributes and facilitation of natural regeneration in heterogeneous planting of riparian vegetation. **Scientia forestalis**, 43, 106, p.333-344, 2015.
- MENDOZA I.; PERES C. A.; MORELLATO L. P. C. Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. **Global and Planetary Change**, v.148, p.227-241, 2017.
- MME - Ministério de Minas e Energia. (2011). **Plano Nacional de Mineração 2030** (PNM—2030). MME, Brasília, DF, Brazil.
- MORELLATO, L.P.C., ALBERTON, B., ALMEIDA, J., ALEX, J., MARIANO, G., TORRES, R., e-Phenology: monitoring leaf phenology and tracking climate changes in the tropics. **EGU General Assembly Conference**, Abstracts, p. 12020, 2014.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology e Evolution**, v. 10, p.58-62, 1995.
- NASCIMENTO, H. E. M., LAURANCE, W. F. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazonica**, 36, 2, p. 183-192, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000200008>
- OLIFIERS, N.; CERQUEIRA, R., 2006. **Fragmentação de habitat: efeitos históricos e ecológicos**. In ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, MAS. (Eds.). *Biologia da conservação: essências*. São Carlos: Rima Editora. p. 261-279.

OLIVEIRA, P. C. Fenologia e crescimento de espécies acumuladoras de fósforo na Amazônia. **Holos**, v.3, ano 26, 2010.

PAU, S.; CORDELL, S.; OSTERTAG, R.; INMAN, F.; SACK, L. Climatic sensitivity of species' vegetative and reproductive phenology in a Hawaiian montane wet forest. **Biotropica**, 52, 5, p. 825-835, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1111/btp.12801>.

PEREIRA, M. R.; TONINI, H. Fenologia da andiroba (*Carapa guianensis*, aubl., Meliaceae) no Sul. **Ciência Florestal**, 22, 1, p.47-58, 2012.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LEWIS, S. L.; FISHER, J. B.; LLOYD, J.; LÓPEZGONZÁLEZ, G.; TORRES-LEZAMA, A. Drought sensitivity of the amazona **Rainforest. Science**, 323, 5919, p.1344–1347, 2009. Doi: 10.1126/science.1164033

PIRES, J. P.; MARINO, N. A.; SILVA, A. G.; RODRIGUES, P. J.; FREITAS, L. Tree Community Phenodynamics and its relationship with climatic conditions in a lowland tropical rainforest. **Forests**, v.9, n.3, p.1-18. 2018.

PIRES, J. P. A.; SILVA, A. G.; FREITAS, L. Plant size, flowering synchrony and edge effects: What, how and where they affect the reproductive success of a Neotropical tree species. **Austral Ecology**, v.39, p.328–336, 2014.

RUBIM, P.; NASCIMENTO, H. E. M.; MORELLATO, L. P. C. Variações interanuais na fenologia de uma comunidade arbórea de floresta semidecídua no sudeste do Brasil. **Acta bot. bras.** 24, 3, p. 756-764. 2010.

SALOMÃO, R. P.; SANTANA, A. C.; BRIENZA JÚNIOR, S. Seleção de espécies da floresta ombrófila densa e indicação da densidade de plantio na restauração florestal de áreas degradadas na Amazônia. **Ciência Florestal**, v.23, n.1, p. 139-151, 2013.

SEMAS – SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Resolução 054/2007**. Homologa a lista de espécies da flora e da fauna ameaçadas no Estado do Pará. Disponível em < <https://www.semas.pa.gov.br/2009/03/27/9439/>>. Acesso em 24 fevereiro 2021.

SILVA, J. C.; TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. **Nature**, v.404, n.2, p.72-74, 2000.

SILVA, F. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAGÃO, L. E.; ANDERSON, L. O.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F.; ARAI, E. Large-scale heterogeneity of Amazonian phenology revealed from 26-year long AVHRR/NDVI time-series. **Environmental Research Letters**, p. 1-12, 2013.

SONTER, L.J.; HERRERA, D.; BARRETT, D. J.; GALFORD, G. L.; MORAN, C. J.; SOARES-FILHO, B. S. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, 8: 1013, 2017.

TABARELLI, M.; AGUIAR, A. V.; GIRÃO, L. C.; PERES, C. A.; LOPES, A. V. Effects of pioneer tree species hyperabundance on forest fragments in northeastern Brazil. **Conservation Biology**, v. 24, n.6, p. 1654–1663, 2012.

URIARTE, M; BRUNA, E. M.; RUBIM, P.; ANCIÃES, M.; JONCKHEERE, I. Effects of forest fragmentation on the seedling recruitment of a tropical herb: assessing seed vs. Safe-site limitation. **Ecology**, v.91, p.1317-1328, 2010.

VOGADO, N. O.; CAMARGO, M. G. G.; LOCOSSELLI, G. M.; MORELLATO, L. P. C. Edge effects on the phenology of the guamirim, *Myrcia guianensis* (Myrtaceae), a cerrado tree, Brazil. **Tropical Conservation Science**, v.9, n.1, p.291-312, 2016.

YEANG, H. Y. (2007). Synchronous flowering of the rubber tree *Hevea brasiliensis* induced by high solar radiation intensity. **Novo Fitol.** 175, 2, p. 283–289. Doi:10.1111/j.1469-8137.2007.02089.x 291-312, 2016.

WRIGHT, S. J.; CALDERÓN, O.; MULLER-LANDAU, H. C. A phenology model for tropical species that flower multiple times each year, v. 34, 1, p. 20-29, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1017>

WU, J.; ALBERT, L. P.; LOPES, A. P.; RESTREPO-COUBE, N.; HAYEK, M.; WIEDEMANN, K. T.; GUAN, K.; STARK, S. C.; CHRISTOFFERSEN, B.; PROHASKA, N.; TAVARES, J. V.; MAROSTICA, S.; KOBAYASHI, H.; FERREIRA, M. L.; CAMPOS, K. S.; SILVA, R.; BRANDO, P. M.; DYE, D. G.; HUXMAN, T. E.; HUETE, A. R.; NELSON, B. W.; SALESK, S. R. Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. **Forest Ecology**, v. 351, 2016.

CAPITULO 1

INFLUÊNCIA DO EFEITO DE BORDA E ELEMENTOS CLIMÁTICOS SOBRE A FENODINÂMICA DE *Euxylophora paraensis* Huber EM FRAGMENTO FLORESTAL NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PARÁ

INFLUENCE OF THE EDGE EFFECT AND CLIMATIC ELEMENTS ON THE PHENODYNAMICS OF *Euxylophora paraensis* Huber IN FOREST FRAGMENT IN THE MUNICIPALITY OF PARAGOMINAS-PARÁ

Resumo

O desmatamento na Amazônia e suas consequências, tal como a fragmentação, pode alterar a fenologia das espécies e levar à alterações em suas interações ecológicas. *Euxylophora paraensis* Huber é uma espécie restrita apenas ao norte do Brasil e por conta da intensa exploração e redução da população foi classificada como ‘Criticamente em Perigo’ na lista de espécies ameaçadas da flora brasileira. O objetivo deste trabalho foi avaliar a fenodinâmica vegetativa e reprodutiva de *E. paraensis* em um fragmento florestal localizado no município de Paragominas, sudeste do estado do Pará. O índice de atividade, isto é o registro da presença e ausência da fenofase no indivíduo e o percentual de atividade de Fournier (FOURNIER, 1974) foram registrados para as fenofases vegetativa e reprodutiva (folha, flor, botão floral e fruto) em 38 matrizes no período de 2013 a 2017. As fenofases reprodutivas foram relacionadas com a distância do indivíduo até a borda do fragmento, medidas dendrométricas, elementos climáticos e fotoperíodo, por meio de análise de regressão múltipla. O padrão fenológico vegetativo da população de *Euxylophora paraensis* é sempre-verde ou perenifólia. O comportamento reprodutivo, por sua vez é anual, regular e de longa duração. A fenodinâmica reprodutiva não foi relacionada com distância do indivíduo em relação a borda e nem ao porte dos indivíduos (DAP e Altura). Os elementos climáticos relacionados à reprodução de *E. paraensis* foram a pluviosidade, o número de dias sem chuva, a temperatura média, a temperatura máxima das máximas, a temperatura mínima das mínimas e o fotoperíodo. A maior intensidade reprodutiva ocorre durante o período seco ou com menor quantidade de chuvas evidenciando uma intensa sazonalidade na reprodução. Essa forte

relação do comportamento fenológico de *E. paraensis* com a sazonalidade dos elementos climáticos, aliada à grandes variações e mudanças climáticas, podem comprometer a reprodução da espécie, bem como a sua conservação em ambientes alterados.

Palavras chave: Extinção de espécies; Amazônia; Mineração; Efeito de Borda; Mudanças climáticas.

Abstract

Deforestation in the Amazon and its consequences, such as fragmentation, can alter the phenology of species and lead to changes in their ecological interactions. *Euxylophora paraensis* Huber is a species restricted only to the North of Brazil and due to the intense exploitation and population reduction, it was classified as 'Critically endangered' in the list of endangered species of the Brazilian flora. This study addressed the vegetative and reproductive phenodynamics of *E. paraensis* in a forest fragment located in the municipality of Paragominas, southeast of the state of Pará, Brazil. The activity index, i.e., the record of the presence and absence of the phenophase in the individual and the Fournier's percentage of activity (FOURNIER, 1974) were recorded for the vegetative and reproductive phenophases (leaf, flower, flower bud and fruit) in 38 matrices in the period from 2013 to 2017. The reproductive phenophases were related to the individual's distance to the fragment edge, dendrometric measurements, climate elements and photoperiod, by means of multiple regression analysis. The vegetative phenological pattern of *E. paraensis* population is evergreen or perennial. Reproduction is annual, regular and long-lasting. Reproductive phenodynamics was not related to the distance of the individual in relation to the border of the fragment or to the size of the individuals (DBH and Height). The climate elements related to reproduction of *E. paraensis* were rainfall, number of days without rain, average temperature, maximum temperature of the maxima, minimum temperature of minima and photoperiod. The highest reproductive intensity occurs during the dry season or with less rainfall, showing an intense seasonality in reproduction. This strong relationship between the phenological behavior of *E. paraensis* and the seasonality of climate elements, coupled with great variation and climate changes, can compromise the reproduction of the species, as well as its conservation in altered environments.

Keywords: Species extinction; Amazonia; Mining; Border effect; Climate changes.

Introdução

A conversão de florestas altera a composição e configuração da paisagem devido à transformação do uso da terra, causando a fragmentação e a perda dos habitats nativos. A fragmentação das florestas é uma das maiores ameaças à conservação da biodiversidade na Amazônia. Este processo pode causar o aumento nas taxas de mortalidade de árvores, redução da diversidade de espécies, mudanças no comportamento reprodutivo (Laurance *et al.*, 2003; Pereira; Tonini, 2012; Freitas *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2018), redução dos agentes polinizadores e dispersores (Dick *et al.*, 2003; Reis *et al.*, 2012), mudanças na produção de flores, frutos, no brotamento de folhas e queda foliar, principalmente das árvores próximas às áreas de borda do fragmento florestal (Laurance *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2018). Os efeitos da fragmentação, quando associados com as mudanças climáticas, podem ser intensificados, ameaçando a sobrevivência de espécies e a integridade ecológica da Floresta Amazônica (Coe *et al.*, 2013). Considerando que as árvores são sensíveis aos efeitos da fragmentação (Laurance *et al.*, 2018) e variabilidade climática (Bradley *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013), estudos fenológicos são uma ferramenta importante para entender como esses eventos podem afetar a reprodução e conservação das espécies.

Pouco se sabe sobre os efeitos combinados de fragmentação e mudanças climáticas no estudo da ecologia reprodutiva, principalmente se tratando de fenologia a longo prazo de espécies arbóreas (Morellato *et al.*, 2014; Manoli *et al.*, 2018). Na Amazônia, os estudos que tratam das respostas fenológicas de espécies florestais, estão associados ou com os efeitos da fragmentação (Dick *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2018) ou com os eventos climáticos (Bradley *et al.*, 2011; Pereira; Tonini, 2012; Silva *et al.*, 2013), mas não com os efeitos combinados de fragmentação e elementos climáticos, que poderiam elucidar importantes questões sobre as respostas fenológicas das espécies frente às mudanças climáticas.

Estudos mostraram que os padrões fenológicos estão relacionados a variáveis climáticas, que funcionam como gatilhos para o início das atividades reprodutivas (Morellato *et al.*, 2013), como por exemplo, a temperatura (Klimas *et al.*, 2012; Pau *et al.*, 2020), a pluviometria (Freitas *et al.*, 2013, Dunham *et al.*, 2018) e o fotoperíodo (Borchert *et al.*, 2005; Yeang, 2007; Rubim *et al.*, 2010). Sendo assim, alterações nessas variáveis podem acarretar mudanças na resposta fenológica das espécies (*e.g.* Wright; Calderon 2006; Zimmerman *et al.*, 2007; Phillips *et al.*, 2009; Morellato *et al.*, 2014; Pau *et al.*, 2020).

As alterações nos elementos climáticos associados com a fragmentação florestal podem potencializar ainda mais as mudanças nos traços reprodutivos, devido a maior exposição aos distúrbios e variações que ocorrem nesses ambientes (Tabarelli *et al.*, 2012; Athayde; Morellato 2014; Pires *et al.*, 2014). Por exemplo, espécies demandantes de luz apresentaram aumento na produção de flores e frutos em áreas de borda, devido a maior exposição a luz solar (Laurance *et al.*, 2003). Vogado *et al.*, (2016) observaram que *Myrcia guianensis* (Myrtaceae) antecipou a floração e frutificação em área de borda.

As características funcionais das plantas, sejam elas morfológicas, fisiológicas e fenológicas, indicam estratégias ecológicas que podem determinar como as plantas respondem a fatores ambientais (Mendoza *et al.*, 2017), sendo fundamental para prever respostas a longo prazo e identificar a resiliência das florestas tropicais às mudanças climáticas (Wu *et al.*, 2016; Pires *et al.*, 2018). Assim, identificar os efeitos da fragmentação, combinados com os elementos climáticos sobre a fenologia de espécies arbóreas, é fundamental para otimizar o manejo destas espécies de acordo com as características ambientais a qual estão inseridas (Silva *et al.*, 2013), além de identificar a potencialidade de uso de algumas espécies como bioindicadoras em estudos sobre os impactos climáticos na perpetuação das espécies em florestas fragmentadas (Maués; Oliveira, 2010; Pereira; Tonini, 2012; Freitas, *et al.*, 2013), principalmente as espécies com alto risco de extinção como é o caso da *Euxylophora paraensis* Huber.

O presente estudo buscou avaliar a fenodinâmica vegetativa e reprodutiva de *Euxylophora paraensis* Huber e sua relação com as elementos climáticos, medidas dendrométricas e distância dos indivíduos em relação à borda em um fragmento de floresta nativa no Sudeste Paraense. Para alcançar este objetivo foram levantadas as seguintes questões: i). Qual o padrão fenológico de *E. paraensis*? ii) A fenodinâmica reprodutiva da população de *E. paraensis* é afetada pela localização da matriz em relação a distância da borda do fragmento? iii) O porte dos indivíduos influencia na fenodinâmica de *E. paraensis*? v). Quais elementos climáticos estão relacionados com a fenodinâmica reprodutiva de *E. paraensis*?

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi conduzido em um fragmento florestal, denominado Platô Miltônia III, localizado no município de Paragominas no Sudeste Paraense (03°15'50"S/ 47°44'19"W) (Figura 1). O fragmento tem 1.989 hectares, localizado em um platô com altitude de até 200m, próximo a áreas com atividades de mineração de bauxita iniciadas no ano de 2008. A vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Densa Submontana (IBGE, 2012). O solo é do tipo latossolo amarelo distrófico, com alto grau de intemperismo, profundos, ácidos e ricos em alumínio (Rodrigues *et al.*, 2003).

O clima da região, caracterizado na série histórica de 30 anos (1973-2004) por Bastos e colaboradores (2005), tem temperatura média de 26,3°C com variações de 20,8°C a 34,2°C. A precipitação média anual é de 1.742,9 mm com quatro estações baseada na distribuição das chuvas: período chuvoso (fevereiro a maio), estiagem (junho), período seco (julho a novembro) e período de transição (dezembro a janeiro), enquadrando-se no tipo climático Awi da classificação de Koppen (Bastos *et al.*, 2005).

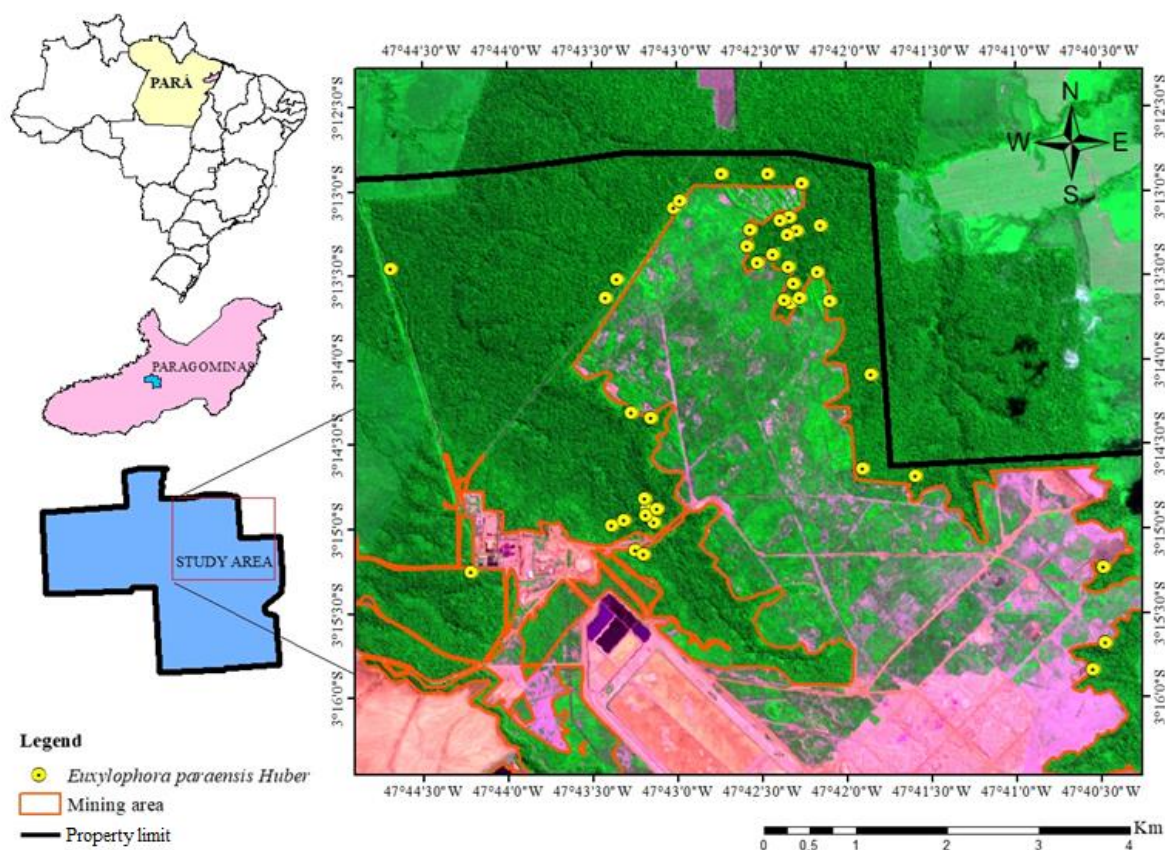


Figura 1: Localização da área e de estudo e das matrizes de *Euxylophora paraensis* Huber no fragmento florestal em áreas da Mineração Paragominas S.A no município de Paragominas – Pará, Brasil.

Espécie Estudada

Euxylophora é um gênero de Rutaceae com apenas uma espécie, *Euxylophora paraensis* Huber, conhecida popularmente como ‘pau-amarelo’ devido à cor de sua madeira (Margalho *et al.*, 2014). A espécie tem alto valor silvicultural e econômico (Freitas *et al.*, 2019), porém tem distribuição restrita e limitada ao norte do Brasil (Isidoro *et al.*, 2012). Na década de 90 foi intensamente explorada sem manejo adequado e suas populações foram drasticamente reduzidas (Freitas *et al.*, 2019). Atualmente, *E. paraensis* está classificada como “Críticamente em Perigo” na lista de espécies ameaçadas de extinção CNCFlora 2012). Margalho *et al.*, (2014) relatam que a espécie pode chegar até 50 m de altura, sendo caracterizada como espécie de dossel. O tronco tem casca com desprendimento em placas escamosas (Figura 2A), e quando se faz um pequeno corte no tronco, observa-se coloração amarelada. As folhas são coriáceas, simples oblongo-obovada e se agrupam no final dos ramos, alternadamente, em espiral. Os botões se agrupam no final dos ramos (Figura 2B). As flores são formadas por cinco pétalas amarelo-claras (Figura 2C). Os frutos são secos, deiscentes e rugosos e a parte superior lembra uma estrela (Figura 2D).

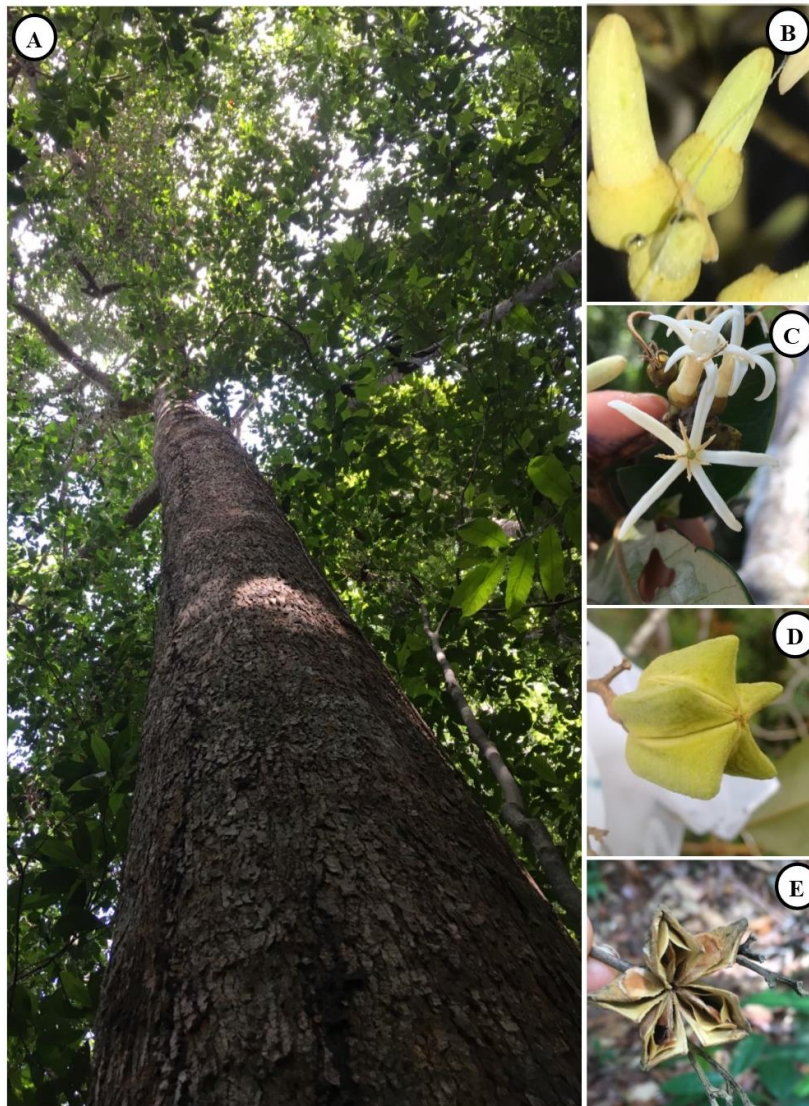


Figura 2: *Euxylophora paraensis* Huber. (A) – Individuo adulto; (B) – Botão Floral; (C) – Flor em antese; D – Fruto em estágio final de desenvolvimento; (E) – Fruto após a dispersão de sementes. Paragominas-Pará. Fonte: DUARTE, J.A.P.

Coleta de dados

Os dados foram coletados pela equipe do projeto “Estudos para o monitoramento de áreas degradadas e, de eventos fenológicos de espécies ameaçadas de extinção nas áreas da Mineração Paragominas S.A.” O projeto teve início em 2012 pelo Laboratório de Taxonomia de Árvores da Universidade Federal Rural da Amazônia, em convênio com a empresa Mineração Paragominas S.A.

Para o desenvolvimento desse estudo foram realizadas observações fenológicas mensais em 38 matrizes de *E. paraensis* em um período de cinco anos (janeiro 2013 – dezembro 2017). Cada indivíduo foi marcado com placa de alumínio e suas coordenadas

geográficas foram obtidas utilizando um GPS (Garmin GPSMAP 64SX). Foram realizadas medições da circunferência a 1,30 m de altura do solo (CAP) e da altura total. O CAP foi transformado posteriormente para DAP (diâmetro à altura do peito). A altura total foi estimada por meio do método de superposição de ângulos utilizando uma vara de bambu (Imaña-Encimas *et al.*, 2014). A distância de cada matriz de *E. paraensis* em relação a borda do fragmento foi obtida através de análises de geoprocessamento de dados utilizando as coordenadas geográficas e ferramentas de medidas do Programa QGis versão 3.12.2.

O índice de atividade, isto é o registro da presença e ausência da fenofase no indivíduo e o percentual de atividade de Fournier (FOURNIER, 1974) foram registrados para as fenofases vegetativa e reprodutiva (folha, flor, botão floral e fruto). A fenofase vegetativa foi caracterizada pela cobertura de folhas na copa, definida por meio da presença de folhas novas e maduras na copa. A fenofase reprodutiva floração foi dividida em botões florais (Figura 1B) e flores em antese (Figura 1C) e para frutificação foram considerados os frutos até o final da dispersão das sementes (Figura 1D). As observações foram realizadas sempre pela mesma equipe com auxílio de um binóculo.

Dados de elementos climáticos como: Pluviometria Total (Pluv), número de dias sem chuva (Schuva), temperatura média (Tmed), temperatura máxima (Tmx), temperatura máxima das máximas (Tmx_mx), temperatura mínima (Tmin), temperatura mínima das mínimas (Tmin_min) e radiação (Rad) foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a partir da estação meteorológica automática (A212) localizada no município de Paragominas (03°00'37" S/ 047°20'35" W) com 113 m de altitude, distante aproximadamente 40 km da área de estudo. Dados de fotoperíodo (Photop) foram disponibilizados pelo Observatório Nacional do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Tanto os dados climáticos quanto o fotoperíodo foram obtidos mensalmente para o intervalo de janeiro de 2013 a dezembro de 2017. Foram construídos gráficos com intuito de auxiliar na interpretação das análises.

Análise de dados

Para caracterizar a fenodinâmica da população de *E. paraensis*, foram calculados mensalmente os índices de atividade (Bencke & Morellato 2002) e intensidade (Fournier, 1974) da fenofase vegetativa e das fenofases reprodutivas. Em seguida, foram construídos fenogramas para caracterizar graficamente o comportamento vegetativo e reprodutivo de *E. paraensis*. A caracterização do padrão fenológico vegetativo seguiu a classificação proposta

por Rivera *et al.* (2002), enquanto o padrão reprodutivo foi baseado na classificação de Newstrom *et al.* (1994).

As fenofases reprodutivas (botão, flor e fruto) foram relacionadas com a distância do indivíduo até a borda (m); medidas dendrométricas (DAP e Altura), elementos climáticos e fotoperíodo, utilizando análises de regressões lineares múltiplas, ajustadas conforme a natureza da variável resposta.

Para a primeira etapa da análise de dados, foi feita uma análise de Componentes Principais (PCA) para selecionar as variáveis com maior contribuição na variação dos dados e eliminar variáveis altamente correlacionadas. Em decorrência da alta colinearidade entre as variáveis ambientais, foram selecionadas as preditoras a partir da contribuição de cada variável (isto, é, com maiores '*loadings*') aos autovalores dos eixos mais importantes da PCA. A seleção dos eixos é usualmente baseada nos métodos de *Kaiser-Guttman e broken stick*, como explicado em Borcard *et al.* (2011). Foram selecionados os dois primeiros eixos da PCA. Posteriormente, as variáveis de maior importância para cada eixo selecionado foram recuperadas e usadas como preditoras para os modelos subsequentes. Sendo assim, de um conjunto de nove variáveis, foram selecionados seis: pluviosidade (Pluv), número de dias sem chuva (Schuva), temperatura máxima das máximas (Tmx_mx), temperatura mínima das mínimas (Tmin_min), temperatura média (Tmed) e fotoperíodo (Photop).

Para avaliar a relação da atividade das fenofases reprodutivas (botão, flor, fruto) com a distância da borda, as medidas dendrométricas (DAP e altura) e os elementos climáticos, foi realizada a análise de Modelos Lineares Generalizados (GLM) (Warton, 2010). A seleção do modelo foi baseada no critério de Akaike (Akaike, 1973; Wagenmaker;Farrell, 2004) e explicado pelo coeficiente de determinação *D-value* (Tjur, 2009).

A intensidade das fenofases reprodutivas (botão, flor, fruto) foi relacionada com os elementos climáticos selecionados, distância da borda e medidas dendrométricas (DAP e altura), utilizando a análise da Regressão Beta (Smithson ;Verkuilen, 2006). Os dados de intensidade foram transformados de sua escala original (porcentagem) para o intervalo de unidade aberta (0-1) e os valores extremos transformados de acordo com Smithson e Verkuilen (2006). A construção do modelo foi baseada na eliminação progressiva das variáveis menos explicativas em relação às fenofases reprodutivas, sendo considerados apenas os fatores cuja correlação foi significativa a 5% de probabilidade ($p\text{-valor} < 0,05$). Para

verificar a qualidade do ajuste do modelo foi utilizado o coeficiente de determinação ajustado (pseudo- R^2) (Ferrari; Cribari-Neto 2004).

Todas as análises foram realizadas no Programa R (R Core Team 2020) a partir do uso do pacote *mvabund* para as análises multivariadas GLMs (Wang et al., 2012) e *betareg* para a Regressão Beta (Cribari-Neto; Zeileis, 2010).

Resultados

Elementos Climáticos

Os dados climáticos analisados mostraram que ao longo dos cinco anos de estudo houve variação nesses elementos. No entanto, a sazonalidade foi marcante, principalmente para disponibilidade hídrica. Esse resultado corrobora com a análise da série histórica apresentada por Bastos e colaboradores (2005), onde foi possível observar a ocorrência de três estações: chuvosa, seca e período de estiagem.

A precipitação apresentou redução durante o período observado (2013 a 2017). Em 2013 ocorreu a maior concentração de chuvas com precipitação total de 1.377,4 mm, enquanto em 2017 foi observado o menor índice pluviométrico anual com 945,6 mm. A estação chuvosa foi de janeiro a abril, concentrando mais de 80% do total da precipitação anual. Nesse período foram observadas altas taxas de pluviosidade mensal (pluviometria > 150 mm) e meses com muitos dias de chuva (> 20 dias com chuvas) (Figura 3B). O período seco foi de maio a dezembro, com poucos dias de chuva ao longo do mês (menor que 15 dias) e menores valores de pluviometria (pluviometria < 100 mm). A estiagem, período sem ou pouca chuva (pluviometria < 1 mm) foi variável ao longo dos cinco anos, em 2013 e 2014 foi em maio, 2015 em agosto e outubro, 2016 teve uma longa duração de agosto a novembro e 2017 foi intermitente, acontecendo em agosto, novembro e dezembro.

A temperatura média do intervalo de estudo (2013 a 2017) foi de 27,8 °C, porém foi observado um aumento gradativo da temperatura média ao longo dos anos. Em 2013 e 2014 a temperatura média foi de 27,4 °C, no ano seguinte (2015) aumentou para 27,8 °C e 2016 e 2017 ultrapassaram a média de 28 °C. O ano com as temperaturas mais elevadas foi em 2015, que atingiu temperatura máxima das máximas de 38°C. Em geral, os meses mais quentes ocorreram em novembro e dezembro, e apresentaram temperaturas máximas superiores a 36°C (Figura 3A).

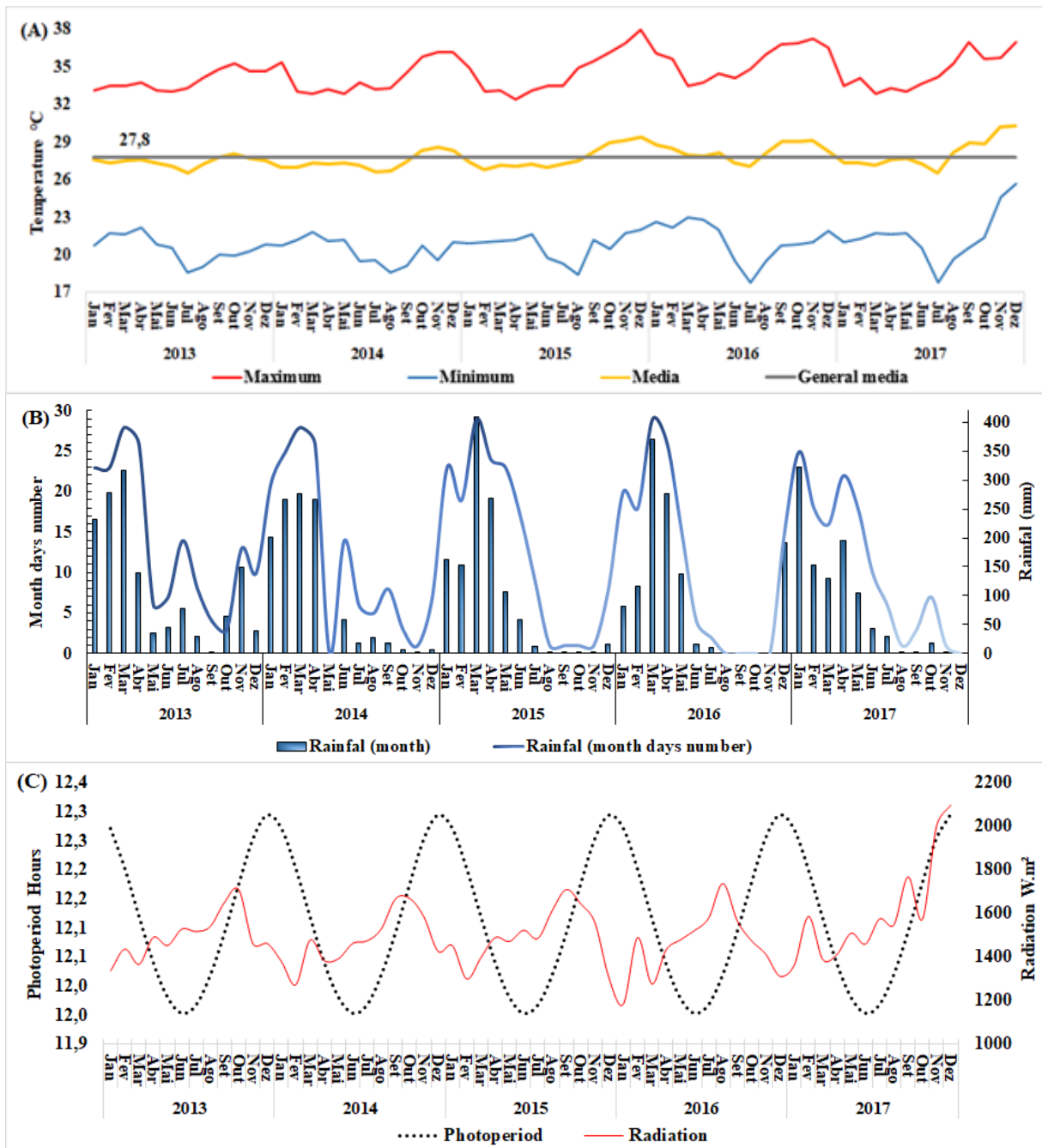


Figura 3: (A) Temperatura máxima das máximas, mínima das mínimas e média; (B) Precipitação mensal e número de dias com chuva no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2017 no município de Paragominas, Pará, Brasil; (C) Fotoperíodo e radiação. Fonte: INMET e Observatório Nacional.

O Fotoperíodo mínimo foi de 12 horas e variou em até 30 minutos entre os meses mais longos, que coincidem com o início da estação chuvosa, enquanto os dias mais curtos foram observados no período seco (Figura 3C). Os dias mais longos (12,3 horas) ocorreram nos meses de novembro, dezembro e janeiro e os dias mais curtos (12 horas) nos meses de abril a agosto. A radiação variou ao longo dos meses do ano. A radiação média para todo período de 2013 a 2017, foi de $1.543,1 \text{ W m}^{-2}$, porém de janeiro a maio os índices de radiação não

ultrapassaram 1500 W m^{-2} , enquanto que de agosto a outubro foi registrado valores superiores a 1500 W.m^{-2} . O ano de 2017 foi o que apresentou a maior taxa média de radiação ($1606,2 \text{ W.m}^{-2}$), sendo os meses de novembro e dezembro de 2017 os únicos que ultrapassaram 2.000 W.m^{-2} mensal (Figura 3C).

Fenodinâmica

Euxylophora paraensis apresenta padrão fenológico vegetativo sempre-verde ou perenifolia (Rivera *et al.* 2002). A atividade e intensidade da cobertura de copa mostraram que os eventos de rebrota e queda foliar são simultâneos (Figura 4A). A maior intensidade de queda de folhas foi observada no período de fevereiro e maio, no final do período chuvoso. Em geral a queda foliar não ultrapassou 30%, a exceção do mês de fevereiro de 2015 em que houve perda de 75% de folhas (Figura 4A).

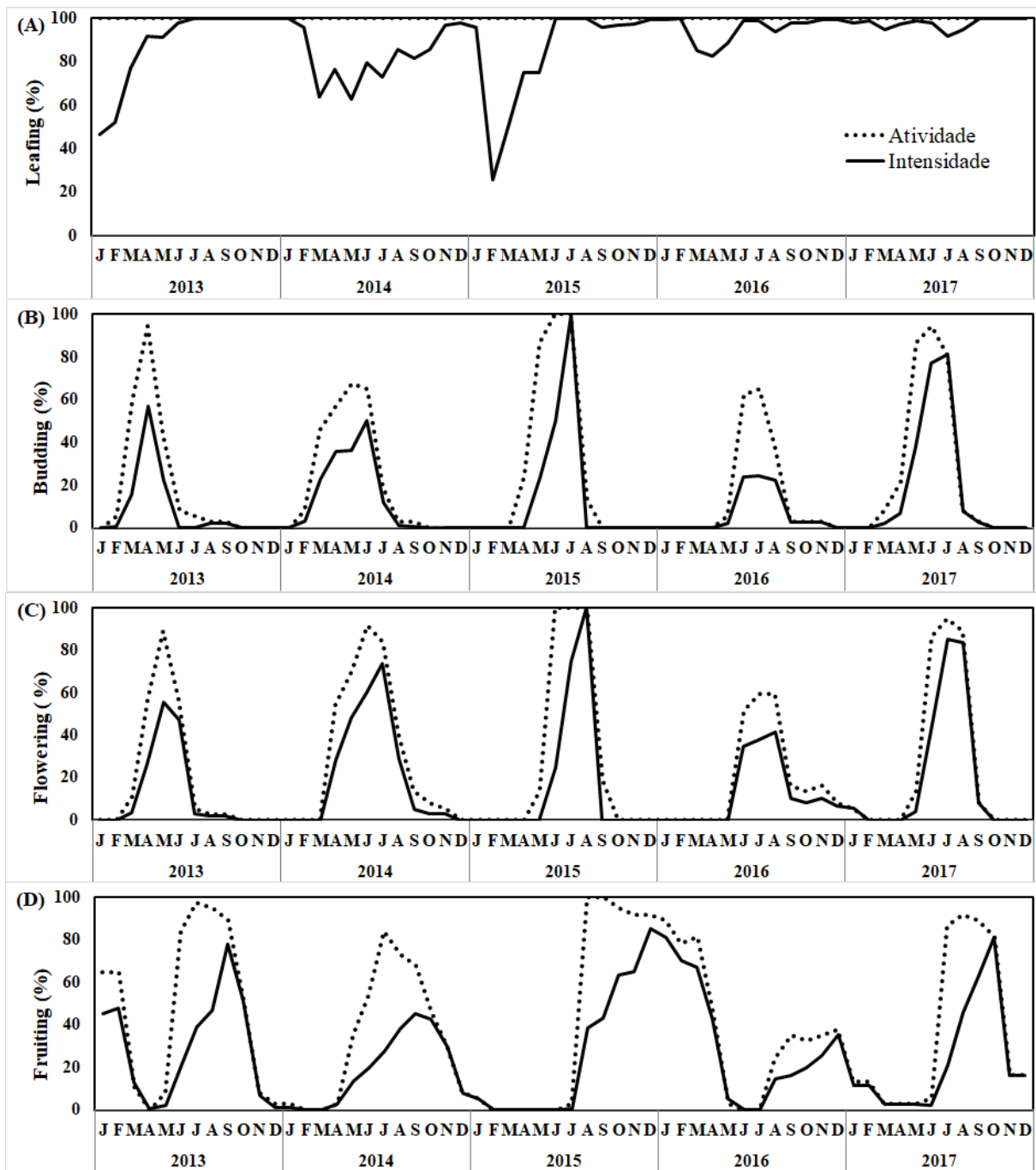


Figura 4: Atividade e intensidade da cobertura de folha na copa (A), emissão de botão floral (B), antes das flores (C) e frutificação (D) da população de *Euxylophora paraensis* Huber em áreas da Mineração Paragominas S.A no município de Paragominas – Pará, Brasil.

O padrão reprodutivo de *E. paraensis* é anual, regular e com duração longa de acordo com a classificação de Newstron (1994). De maneira geral, a amplitude das curvas de atividade e intensidade foram consideradas altamente expressiva, considerando que mais de 50% dos indivíduos iniciaram com a atividade reprodutiva nos cinco anos de observação

(Figura 4B-4D). Os botões florais foram observados de sete a nove meses com os maiores picos de atividade e intensidade no mês de junho (Figura 6A). A intensidade e atividade das curvas para botão floral apresentaram diferença entre os anos. Em geral, anos com altas expressões em atividade e intensidade reprodutiva foram intercalados com anos menos pronunciados. Em 2015 todos os indivíduos floresceram e apresentaram alta intensidade, porém no ano seguinte (2016) menos de 35% dos indivíduos emitiram botões florais. A antese das flores iniciou em diferentes meses ao longo do período de observação do estudo: março (2013), abril (2014), maio (2015), junho (2016 e 2017), porém o pico de intensidade ocorreu nos meses de julho e agosto, com exceção de 2013 em maio (Figura 4C). A duração da floração foi de cinco meses (2015 e 2017) a oito meses (2014 e 2016) dentro do intervalo observado (Figura 4C).

A frutificação iniciou entre maio e junho e pode ser considerada de longa duração (11 meses). O padrão das curvas de atividade e intensidade da floração (botão floral e flores) se repete na frutificação com anos de maiores expressões fenológicas seguidos de menores atividades e intensidade (Figura 4D).

Durante os cinco anos de observações (2013-2017), todos os indivíduos floresceram e frutificaram ao longo do fragmento florestal, independente da distância da borda (Figura 5). Esses indivíduos, em geral, alternaram os anos reprodutivos, e alguns indivíduos emitiram botões florais, mas não formaram frutos (Figura 5). No ano de 2016, um grande número de indivíduos floresceu, mas não foi observado a mesma taxa de frutificação. Das 24 matrizes que floresceram, apenas 10 não formaram frutos (Figura 5).

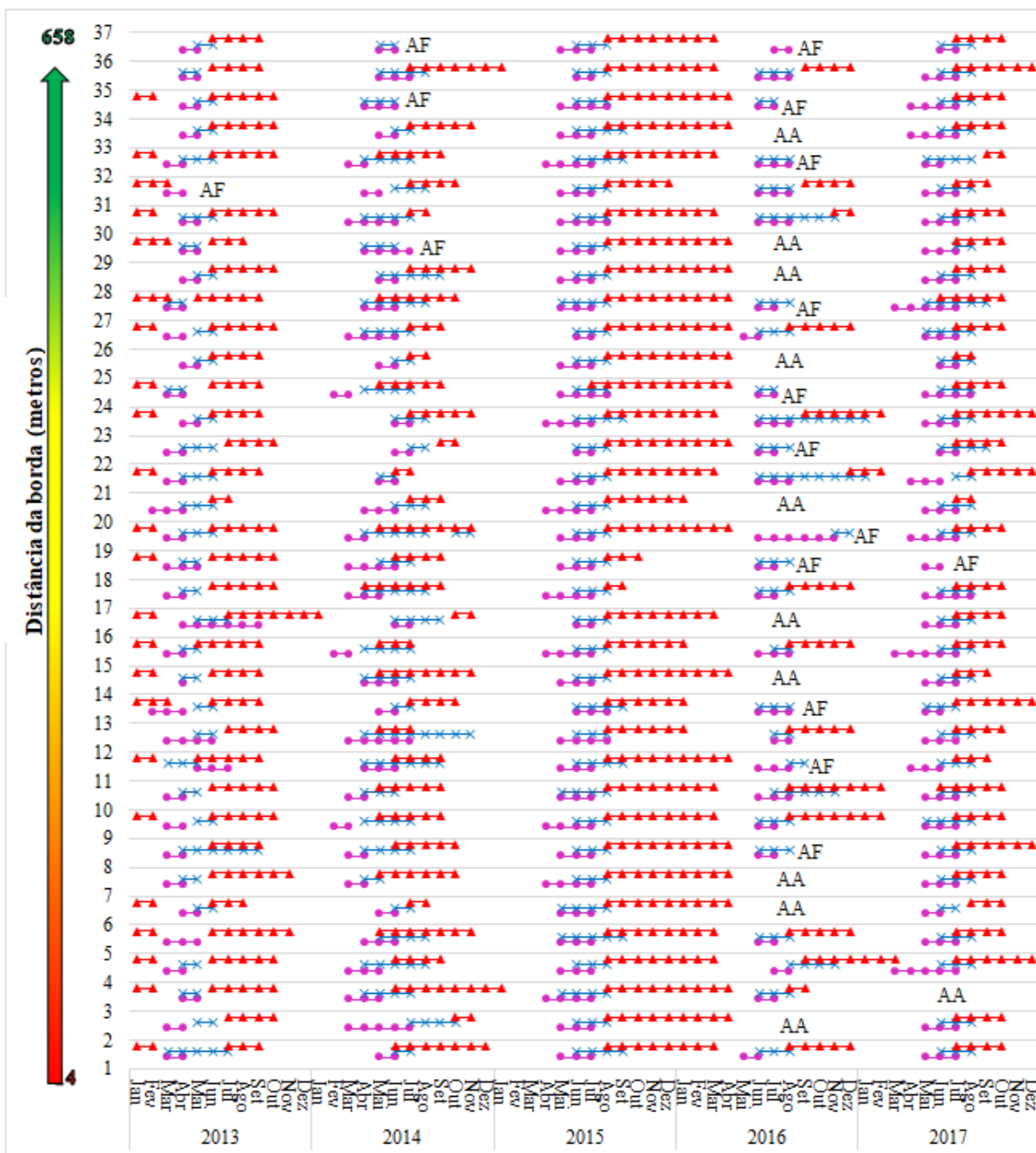


Figura 5: Emissão de botão floral (●), antes das flores (Botão Floral (×)) e frutificação (▲) das 37 matrizes de *Euxylophora paraensis* Huber monitoradas no período de janeiro de 2013 a dezembro de em áreas da Mineração Paragominas S.A no município de Paragominas – Pará, Brasil. Nota: AA: Ausência da atividade reprodutiva. AF: Ausência de Frutificação

Relação das fenofases reprodutivas com os elementos climáticos

Na análise da PCA, os dois eixos acumularam mais de 60% da variância total dos elementos climáticos (Figura 6). No Eixo 1, 36% da variação dos dados foram associados com: pluviosidade (Pluv); número de dias sem chuva (Schuva); temperatura máxima das máximas (Tmx_mx) e fotoperíodo (Photop). No Eixo 2, com 27,6%, as variáveis selecionadas

foram: temperatura média (Tmed) e temperatura mínima das mínimas (Tmin_min). A organização dos vetores das variáveis predictoras foi agrupado conforme a sazonalidade do ambiente em duas estações: período chuvoso, representado pelas temperaturas mínimas, pluviometria e fotoperíodo e o período seco com o agrupamento das temperaturas máximas, número de dias sem chuva e radiação (Figura 6).

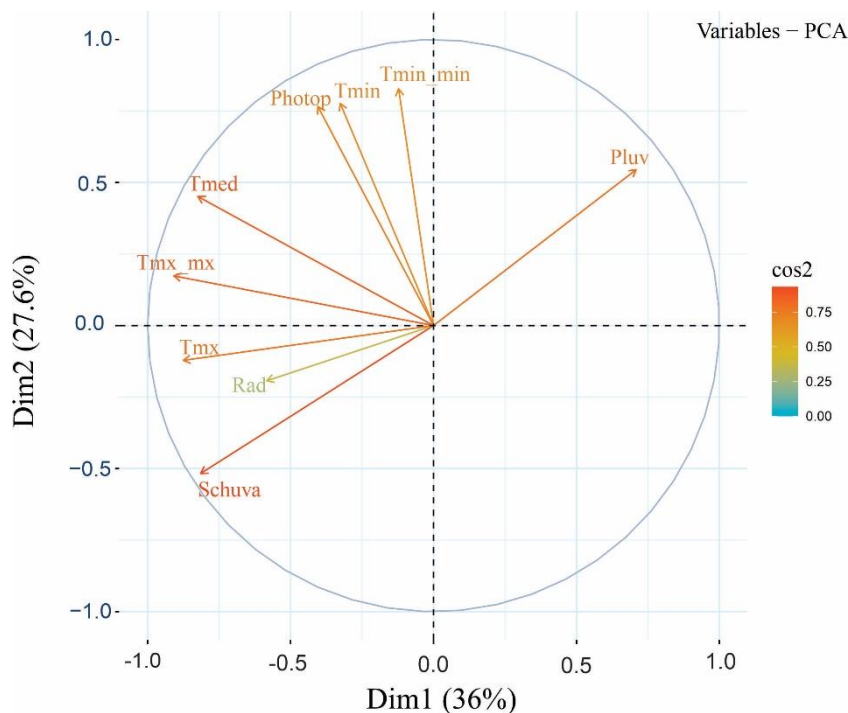


Figura 6: Análise de componentes principais (PCA) com base nos valores das nove variáveis ambientais do Município de Paragominas, Pará, Brasil no período de 2013 a 2017. Variáveis climáticas: Pluviometria (Pluv), número de dias sem chuva (Schuva); temperatura média (Tmed), temperatura máxima (Tmx), temperatura máxima das máximas (Tmx_mx), temperatura mínima (Tmin), temperatura mínima das mínimas (Tmin_min), radiação (Rad), Fotoperíodo (Photop).

Os resultados das análises de regressão múltipla revelaram que as fenofases de floração (botão e flor) e frutificação de *E. paraensis* foram relacionadas apenas aos elementos climáticos e fotoperíodo. A distância da borda (Figura 5) e o porte dos indivíduos não apresentaram relação significativa com a atividade ($p>0,5$) e intensidade das fenofases ($p>0,5$) de botão, flor e fruto de *E. paraensis*.

Os modelos de GLM para botão e flor tiveram a maior variação, próxima a quase 40%, em relação aos frutos, sendo explicada pelos modelos descritos na Tabela 1. As fenofases de botão floral e antese das flores foram relacionadas, simultaneamente, com a pluviometria (Pluv) e o fotoperíodo tanto para atividade (Tabela 1) quanto para intensidade (Figura 7). Dias sem chuva foram relacionados com a atividade de botões florais e a abertura das flores, sugerindo que estes eventos estão relacionados à redução das chuvas. O

fotoperíodo, por sua vez, foi considerado o fator de maior importância para a atividade de botão e antese, além de ter sido fortemente relacionado com a intensidade da floração. Somente esta variável ambiental explicou 20% da predição do modelo para a intensidade de botões e 24% para a antese das flores (Figura 7A e 7C).

Tabela 1: Resumo dos resultados das análises multivariadas GLM Binomial entre os fatores climáticos e a atividade dos eventos fenológicos reprodutivos de *Euxylophora paraensis* Huber (Botão, Flor e Fruto) no período 2013 a 2017, no fragmento florestal localizado no município de Paragominas, Pará, Brasil.

Atividade	Variáveis Climáticas	AIC nulo	AIC final	D valor
Botão	Fotoperíodo	2099.2	1324.8	0.37
	Schuva			
	Pluv			
Flor	Fotoperíodo	2350.6	1461.1	0.39
	Pluv			
	Tmin_min			
Fruto	Schuva	2979.3	2719.9	0.12
	Tmin_min			
	Tmed			
	Fotoperíodo			
	Pluv			
	Tmx_mx			

Nota: Foram mostrados e organizados, por ordem de maior importância, apenas os modelos selecionados pelo critério de Akaike (Akaike 1973; Wagenmaker; Farrell, 2004).

● Dry Season ● Rainy Season

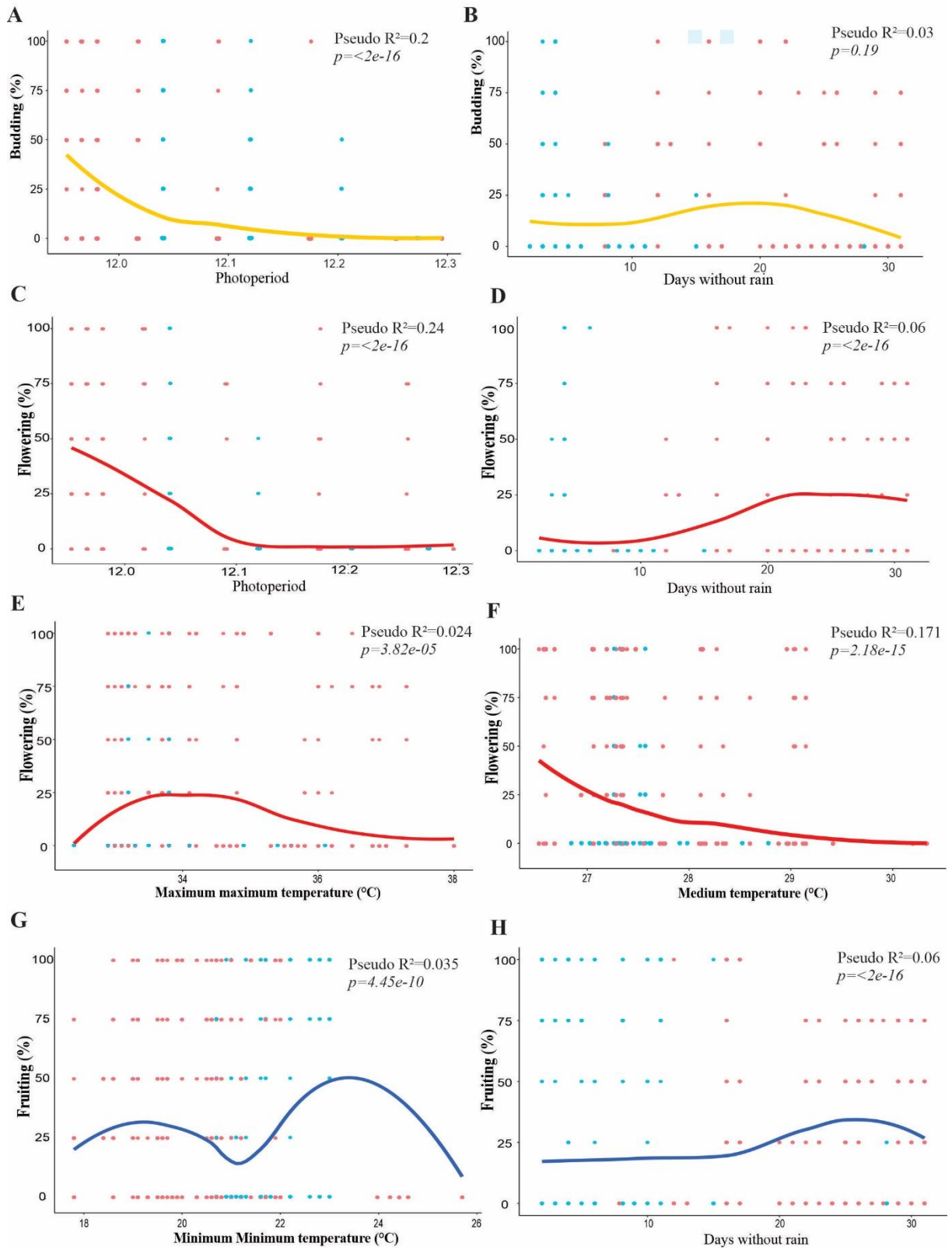


Figura 7: Análise gráfica da Regressão Beta da intensidade das fenofases reprodutivas em relação a sazonalidade e as principais variáveis climáticas. Fenofases: Botão Floral (■), Flor (■) e Fruto (■). Nota: Apenas os fatores cuja correlação foi significativa a 5% de probabilidade são mostrados.

Para a atividade de frutificação, todas as variáveis climáticas selecionadas foram significativas. Já para intensidade dos frutos apenas Chuva e T_{min_min} contribuíram para o modelo (Figura 7G e 7H). Apesar da relevância do elemento climático Chuva para a formação dos frutos, vale frisar que foi identificada uma limitação de dias sem chuvas em até 20 dias, ou seja, quanto ultrapassava esse período a frutificação era comprometida. Outra variável que contribuiu na produção de frutos foi a temperatura. A fenofase de frutificação foi relacionada com temperaturas mínimas extremas (T_{min_min}). Além disso, a produção de frutos também foi relacionada ao fotoperíodo (Tabela 1). As curvas fenológicas mostram que a frutificação foi relacionada à dias mais longos (maio e junho) (Figura 4D).

Discussão

A resposta fenológica de *E. paraensis* para fenofases reprodutivas foi fortemente relacionada à sazonalidade do regime pluviométrico e ao fotoperíodo. Essa sazonalidade é típica da Amazônia e os períodos de chuvas registrados, durante as observações de campo, foram similares aos observados para outras regiões da Amazônia, ou seja, período chuvoso, período seco ou menos chuvoso e período de estiagem (Nobre *et al.*, 2009). No entanto, os elementos climáticos analisados de 2013 a 2017 mostraram que durante esses anos houve variação na disponibilidade hídrica, aumento da temperatura e anos com períodos de estiagem mais longos, se comparado a série histórica estudada por Bastos *et al.*, (2005) observa-se que há uma tendência de aumento da temperatura e redução das chuvas no município de Paragominas.

O comportamento vegetativo de *E. paraensis* apresentou respostas adaptativas, diante das variações entre as estações como, por exemplo, a intensa rebrota de folhas após grande perda da cobertura foliar que ocorreram nos meses com alta precipitação, além da produção foliar contínua em períodos de seca. A alta capacidade de rebrota foliar é uma característica adaptativa de espécies de regiões tropicais, além de ser uma estratégia para aumentar rapidamente a área foliar e as taxas de fotossíntese necessárias para sobrevivência em casos de estresses ambientais (Wu, *et al.*, 2016). A contínua e intensa produtividade foliar em períodos secos ou com menor concentração de chuvas pode ser relacionado com a maior radiação fotossinteticamente ativa nesses períodos (Brando *et al.*, 2010; Manoli *et al.*, 2018).

No entanto, para que as espécies se adequem às sazonalidades climáticas são necessários mecanismos evolutivos de adaptação e sobrevivência da espécie, como por exemplo, o sistema radicular mais agressivo para explorar e absorver maior volume de reserva de água do solo (Phillips *et al.*, 2009; Barbosa *et al.*, 2012) e folhas coriáceas que são mais resistentes a desidratação e quedas (Borchert, 1998) que são características morfológicas de *E. paraensis* (Margalho *et al.*, 2014).

O fato do comportamento vegetativo de *E. paraensis* ser perenifólio, ou seja, com queda e brotamento das folhas ocorrendo de forma simultânea e gradual sem a total perda da cobertura foliar, também pode ser um fator que favorece as respostas adaptativas em ambientes sazonais como estratégia de sobrevivência (Rivera *et al.*, 2002), além de favorecer a atividade reprodutiva por conta da maior área de captação fotossintética necessária para a produção dos carboidratos usados na formação dos órgãos vegetativos e reprodutivos da planta (Klimas *et al.* 2012).

Já a floração (botão e flor) e frutificação de *E. paraensis* foi anual, regular, com duração longa, porém com variações nos anos observados, em que anos com alta intensidade foram alternados por anos com uma redução acentuada e abrupta na quantidade de flores e frutos. As variações temporais na produção de flor e frutos são comuns em espécies tropicais (Wright *et al.*, 2019) e pode estar associada a fatores genéticos, ambientais ou fisiológicos, como observado também em outras espécies tropicais (Athayde; Morellato, 2014; Souza *et al.*, 2019). Porém, de maneira geral, *E. paraensis* apresentou florescimento e frutificação em mais de 50% dos indivíduos com alta intensidade por indivíduo. O alto grau de sincronia de floração e frutificação dentro de uma população pode ser considerado uma resposta evolutiva para facilitação, promovendo polinização cruzada e saciando os predadores de sementes (Augsburger, 1981).

Embora os efeitos da fragmentação causem mudanças no ciclo fenológico das plantas, como já demonstrado em diversos trabalhos (White *et al.*, 2002; Freire *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2018), para este estudo somente os elementos climáticos foram associados com a fenologia reprodutiva de *E. paraensis*. A distância do indivíduo até a borda e o porte da árvore não tiveram relação com o comportamento fenológico reprodutivo. No entanto, é importante entender quais aspectos da ecologia das espécies podem estar relacionados à essa indiferença, visto que as bordas alteram o ambiente físico (Didhan, 1999; Murcia, 1995;). As características individuais das matrizes são fatores importantes na reprodução, uma vez que as

plantas acumulam recursos ao longo do tempo que são expressos na altura e diâmetro da árvore (Klimas *et al.*, 2012). Porém quando essas características são relacionadas com os efeitos de borda, estas são mais pronunciadas em espécies de sub-bosque do que em espécies de dossel (Laurance *et al.*, 2018). Em estudo realizado na Amazônia as espécies do sub-bosque, demandantes de luz, foram mais favorecidas na borda, em relação às áreas mais internas do fragmento, com alta atividade reprodutiva em detrimento da maior exposição à luz solar e menor competição por recursos (Laurance *et al.*, 2002; Lima *et al.*, 2018). Entretanto, as matrizes monitoradas de *E. paraensis* ocupavam o estrato superior da floresta, típico da espécie (Margalho *et al.*, 2014) e, portanto, a luz que incide sobre as copas não tem grande variação em relação a luminosidade gerada pelo efeito de borda (Pires *et al.*, 2014).

O período reprodutivo de *E. paraensis* ocorreu durante a estação seca, ou seja menos chuvosa. A emissão de botão floral e antese das flores ocorreram após a redução das chuvas e nos períodos com dias mais prolongados, o que explica a forte associação com as variáveis de dias sem chuva (Schuva) e o fotoperíodo (Photop). Tem sido sugerido que o momento da floração de árvores tropicais pode ser uma estratégia evolutiva para favorecer as interações bióticas entre plantas e polinizadores (Borchert *et al.*, 2005). Como a maioria das angiospermas precisam de vetores bióticos para se reproduzir sexualmente, a fauna polinizadora e o processo de polinização das plantas possuem atributos biológicos particulares que caracterizam o grau de dependência e especialização dos polinizadores de acordo com as características reprodutivas das plantas (Aizen *et al.*, 2002). Há casos em que a abertura das flores ocorre no período que alguns polinizadores são mais frequentes, como por exemplo as abelhas durante a seca (Aizen; Feinsinger 1994) um dos polinizadores mais frequentes de *E. paraensis* (observação pessoal). Além de que a abertura das flores em período intenso de chuvas pode danificar as estruturas florais, ocasionar a diluição do néctar, diminuir a atração de polinizadores e prejudicar a polinização (Rafferty *et al.*, 2012). Isso pode ser ainda mais prejudicial em espécies com flores pequenas e delicadas como as de *E. paraensis* (Margalho *et al.*, 2014).

Em relação ao fotoperíodo, a latitude no local de estudo apresentou o mínimo de 12 horas com sol com variação não excedendo a uma hora. A amplitude de apenas 30 minutos foi suficiente para interferir na reprodução de *E. paraensis* com floração e frutificação em dias mais longos, corroborando com os resultados de Borchert *et al.*, (2005). Pequenas mudanças sazonais nos horários do nascer e pôr do sol, podem ser um dos principais fatores para a

indução da floração de árvores tropicais próxima a linha do equador (Borchert *et al.*, 2005), além de determinar o tempo, periodicidade e sincronia reprodutiva das plantas (Brando, 2006; Bradley *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013). Vários estudos na região Neotropical mostram que a alta frequência de floração e frutificação das espécies estão relacionadas a dias mais longos (*e.g.* Rivera; Borchert, 2001; Yeang, 2007; Rubim *et al.*, 2010).

A atividade de frutificação foi relacionada a todos os elementos climáticos, além do fotoperíodo, enquanto para intensidade de frutos somente o número de dias sem chuva (Schuva) e a temperatura mínima das mínimas (Tmin_min) foram significativas. A fenodinâmica da frutificação seguiu com o mesmo comportamento da floração, ocorrendo nos períodos com menor ocorrência de chuvas com limitação de até 50 mm e 20 dias sem chuva. Porém, quando esses valores eram ultrapassados a frutificação era reduzida e o ciclo finalizado. No período seco as árvores têm maior acesso à radiação solar, devido à menor incidência de nuvens, que permite maior interceptação de luz pelo dossel. Conseqüentemente é o período em que as árvores acumulam novos recursos de carbono pela fotossíntese, necessários para a formação dos frutos e sementes (Klimas *et al.*, 2012; Manoli *et al.*, 2018; Pau *et al.*, 2019). Vários autores têm associado picos de floração em florestas amazônicas à estação seca das espécies de dossel (Muniz, 2008; Freitas *et al.*, 2013; Barbosa *et al.*, 2012) e com frutos secos e sementes pequenas (Alencar, 1979), o que corrobora com as características da espécie e a resposta fenológica das fenofases reprodutivas.

Embora a fenologia de *E. paraensis* esteja relacionada com a sazonalidade climática típica das regiões tropicais amazônicas, onde há períodos marcadamente chuvosos e secos, já tem sido relatado alterações na quantidade e distribuição da precipitação na Amazônia (Cook *et al.*, 2007; Brando *et al.*, 2010). No período abrangido por este estudo houve uma anomalia climática, com um prolongado período de estiagem em 2016 e com temperatura média superando os 28 °C. Neste ano houve a ocorrência do fenômeno El Niño com particularidades diferenciadas, em especial para a Amazônia paraense e em alguns anos do período examinado, mais especificamente: 2015- 2016 (forte intensidade), conforme divulgado em boletim oficial pelo INPE (2018). A ocorrência desse evento afeta com proporcionalidade o regime de chuvas em regiões tropicais, interferindo nos padrões pluviométricos devido ao prolongamento do período de estiagem, deixando as florestas mais susceptíveis a riscos de incêndios (Burton *et al.*, 2020).

Coincidentemente, naquele ano, das 24 matrizes que iniciaram a atividades floral, 10 matrizes não formaram frutos. A não formação dos frutos pode ter sido causada e influenciada por diversos fatores que podem estar relacionados aos fatores intrínsecos à planta, como por exemplo a genética, ou a fatores ambientais como alterações climáticas e efeitos da fragmentação (Aizen *et al.*, 2002; Spironello *et al.*, 2004; Pau *et al.*, 2014; Manoli *et al.*, 2018; Laurance *et al.*, 2018).

Considerando a forte relação do comportamento fenológico de *E. paraensis* com a sazonalidade, variações e mudanças consecutivas ao longo dos anos podem comprometer a reprodução da espécie, assim como a sua conservação em ambientes alterados. Em espécies em que a sazonalidade climática exerce forte influência nos padrões fenológicos anuais, é esperado que a época de ocorrência de uma fenofase possa ser alterada por variações na precipitação ou temperatura, as quais têm apresentado anomalias seja acima ou abaixo da média climática (Rubim *et al.*, 2010). A conservação de algumas espécies pode estar comprometida diante dos eventos de mudanças climáticas que tem ocorrido no planeta (Mora *et al.*, 2013; Urban, 2015). Os impactos das mudanças climáticas sobre as florestas tropicais dependerão da taxa de aquecimento, relacionado com o aumento da temperatura, e da mudança nos regimes das chuvas (Coe *et al.*, 2013; Wright *et al.*, 2019). Diversos estudos apontam que a maioria dos modelos atuais projetam mudanças nos padrões climáticos regionais combinados com o desmatamento contínuo e que produzirão condições mais secas na Amazônia nas próximas décadas (*e.g.* Brando *et al.*, 2010; Llopart *et al.*, 2018). Além disso, é esperado um aumento da temperatura e do período seco ocasionado por fenômenos climáticos extremos, tais como o El-Niño, que vêm se tornando cada vez mais frequentes (Cook *et al.*, 2007; Nobre *et al.*, 2009; Burton *et al.*, 2020). No entanto, séries mais longas de registros fenológicos, bem como dos elementos climáticos, poderão fornecer maior confiança sobre as relações entre as variações nos padrões fenológicos com a temperatura e precipitação e, portanto, permitir melhor inferência sobre os efeitos das mudanças climáticas na fenodinâmica de espécies arbóreas.

Embora a *E. paraensis* tenha apresentado comportamento fenológico com alta atividade e intensidade na produção de flores e frutos, além de respostas positivas na regeneração natural em ambiente fragmentado (Duarte *et al.*, 2021), esta espécie pode ser impactada com as mudanças drásticas no clima, diante das estratégias reprodutivas associadas ao clima, por exemplo, floração e frutificação, com mudanças da disponibilidade das chuvas.

Conclusão

Euxylophora paraensis apresentou comportamento fenológico reprodutivo correlacionado com os elementos climáticos em que alta atividade e intensidade na produção de flores e frutos ocorreram durante o período menos chuvoso ou seco. Devido a essas características, esta espécie apresenta fragilidades frente às mudanças drásticas no clima que podem comprometer sua floração e frutificação e, conseqüentemente, sua conservação. Não houve relação da fenodinâmica reprodutiva com a localização da matriz em relação à distância da borda do fragmento e nem ao porte dos indivíduos (Altura e DAP).

Referências

- Aizen, M. A.; Feinsinger, P. (1994). Fragmentação de habitat, insetos polinizadores nativos e abelhas melíferas selvagens no " Chaco Serrano " Argentino. *Ecol. Appl.* 4, 378 - 392.
- Aizen, M. A.; Ashworth, L.; Galetto, L. (2002). Reproductive success in fragmented habitats: do compatibility systems and pollination specialization matter? *J. Veg. Sci.*, 13, 885–892.
- Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In B. N. Petrov & F. Caski (Eds.), *Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory* (pp. 267–281). Budapest: Akademiai Kiado.
- 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(1):163-198.
- Athayde, E. A.; Morellato, L. P. C. (2014). Anthropogenic edges, isolation and the flowering time and fruit set of *Anadenanthera peregrina*, a cerrado savanna tree. *International Journal of Biometeorology*, v.58, p.443–454.
- Augspurger, C.K. (1981). Reproductive synchrony of a tropical shrub: experimental studies on effects of pollinators and seed predators on *Hybanthus prunifolius* (Violaceae). *Ecology*, 62: 775-788.
- Borcard, D.; Gillet, F.; Legendre P. (2011). *Numerical Ecology with R*. New York, NY: Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7976-6>.
- Cribari-Neto, F.; Zeileis, A. (2010). Beta Regression in R. *Journal of Statistical Software* 34(2), 1-24. URL: <http://www.jstatsoft.org/v34/i02/>.
- Bastos, T. X.; Pachêco, N. A.; Figueirêdo, R. O.; Silva, G. F. G. (2005). Características Agroclimáticas do Município de Paragominas. Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 228.
- Barbosa, R. I.; Mourão Júnior, M. Casadio, G. M. L.; Silva, S. J. R. (2012). Reproductive phenology of the main tree species in the Roraima savanna, Brazilian Amazon, *Ecotropica*, 18: 81–92.

Bencke, Cinara S.C.; Morellato, L. Patrícia C.. (2002). Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação: Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Brazilian Journal of Botany*, 25(3), 269-275. Doi: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042002000300003>

Borcard, Daniel, Francois Gillet, and Pierre Legendre. (2011). *Numerical Ecology with R*. New York, NY: Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7976-6>.

Borchert R. (1998). Responses of tropical trees to rainfall seasonality and its long-term changes. *Climatic Change*, 39, p.381–393.

Borchert R.; Renner S. S.; Calle, Z.; Navarrete D.; Tye, A.; Gautier, L.; Spichiger, R.; von Hildebrand P. (2005). Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. *Nature*. 10;433(7026):627-9. Doi: 10.1038/nature03259. PMID: 15703746.

Bradley, A. V.; Gerard, F. F.; Barbier, N.; Weedon, G. P.; Anderson, L. O.; Huntingford, C.; Aragão, L. E. O. C.; Zelazowski, P.; Arai, E. (2011). Relationships between phenology, radiation and precipitation in the Amazon region. *Global Change Biology*, v.17, p.2245–2260.

Brando, P. M.; Scott J. Goetz, Alessandro Baccini, Daniel C. Nepstad, Pieter S. A. Beck; Mary C. Christman. (2010). Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. *PNAS*, 107 (33) 14685-14690 Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0908741107>

Brando, P.; Ray, D. ; Nepstad, D. ; Cardinot, G.; Curran, L. M.; Oliveira, R. (2006). Effects of partial throughfall exclusion on the phenology of *Coussarea racemosa* (Rubiaceae) in an east-central Amazon rainforest. (2006). *Oecologia*,150:181–189. Doi: 10.1007/s00442-006-0507-z

Burton C.; Betts R. A.; Jones C. D.; Feldpausch T. R.; Cardoso M.; Anderson L. O. (2020) El Niño Driven Changes in Global Fire 2015/16. *Front. Earth Sci.* 8:199. Doi: 10.3389/feart.2020.00199

Coe, M. T.; Marthews, T. R.; Costa, M. H.; Galbraith, D. R.; Greenglass, N. L.; Imbuzeiro, H. M. A.; Levine, N. M.; Malhi, Y.; Moorcroft, P. R.; Muza, M. N.; Powell, T. L.; Saleska, S. R.; Solorzano, L. A.; Wang, J. (2013). Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south–southeastern Amazonia, *Phil. Trans. R. Soc. B.* 368: 20120155. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0155>

CNCFlora. *Euxylophora paraensis* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Euxylophora paraensis](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Euxylophora%20paraensis)>. Acesso em 13 fevereiro 2021.

Cook, K. H.; Vizy, E. K. Effects of twenty-first-century climate change on the Amazon Rain Forest. (2007). *Journal of climate*, v.28, p. 542-560 Doi: 10.1175/2007JCLI1838.1

Dick, C. W.; Etchelecu, G.; Austerlitz, F. (2003). Pollen dispersal of tropical trees (*Dinizia excelsa*: Fabaceae) by native insects and African honeybees in pristine and fragmented Amazonian Rainforest. *Molecular Ecology*, 12, P. 753—764.

- Didham, R.K., Lawton, J.H. (1999). Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica* 31: 17-30.
- Duarte, J. A. P.; Silva, J. M. N.; Pires, J. P. A.; Ferreira, G. S.; Dionísio, L. F. S. (2021). Anthropogenic disturbances stimulate natural regeneration of *Euxylophora paraensis* Huber in a forest fragment in the eastern Amazon. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1, e47210111972. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11972>
- Dunham, A. E.; Razafindratsima, O. H.; Rakotonirina, P.; Wright, P. C. (2018). Fruiting phenology is linked to rainfall variability in a tropical rain forest. *Biotropica* 50(3): 396–404.
- Fournier, L.A. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba*, 24:422-423.
- Freire, C. C.; Closel, M. B.; Hasui, E.; Ramos, F. N. (2013). Reproductive phenology, seed dispersal and seed predation in *Syagrus romanzoffiana* in a highly fragmented landscape. *Ann Bot Fenn*, 50:220–228
- Freitas, J. L.; Santos, A. C.; Silva, R. B.; Rabelo, F. G.; Santos, E. S.; Silva, T. L. (2013). Fenologia reprodutiva da espécie *Carapa guianensis* Aubl. (Andirobeira) em ecossistemas de terra firme e várzea, Amapá, Brasil. *Biota Amazônia*, p.31-38.
- Freitas, L. J. M.; Lopes, J.; Bandão, A.; Ferreira, J., Stucchi, G.; Schwartz, G., Silva, A. 2019. Silvicultura em clareiras: Estratégia de conservação in situ de *Euxylophora paraensis* (pau-amarelo) no Nordeste Paraense. Documentos, Embrapa Amazônia Oriental, 21 p.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2. ed. Rio de Janeiro.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2021. Ocorrência do *El Niño* . Disponível em < <http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 11 junho 2021.
- Imaña-Encimas, J.; Silva, G. F.; Ticchetti, I. *Variáveis dendrométricas*. Brasília: Universidade de Brasília, 2014. 102 p.
- Isidoro, M. M.; Silva, M. F. G. F.; Fernandes, J. B.; Vieira, P. C.; Arruda, A. C.; Silva, S. C. (2012). Fitoquímica e quimiosistemática de *Euxylophora paraensis* (Rutaceae). *Química Nova*, v. 35, n. 11, 2119-2124.
- Klimas, C. A; Kainer, K. A; Wadt, L. H. (2012). Control of *Carapa guianensis* phenology and seed production at multiple scales: a five-year study exploring the influences of tree attributes, habitat heterogeneity and climate cues. *Journal of Tropical Ecology*, 28: 105-118.
- Laurance, W. F., Merona, J. M., Andrade, A., Laurance, S. G., D'angelo, S., Lovejoy, T. E., & Vasconcelos, H. L. (2003). Rain-Forest Fragmentation and the phenology of Amazonian tree communities. *Journal of Tropical Ecology*, v.19, n.3, 343-347.
- Laurance, W. F.; Camargo, J. L. C.; Fearnside, P. M.; Lovejoy, T. E.; Williamson, G. B.; Mesquita, R. C. G.; Meyer, C. F. J.; Bobrowiec, P. E. D.; Laurance, S. G. W. (2018). An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. *Biological Reviews*, v.93, p. 223 – 247.

Llopart, M.; Reboita, M.S.; Coppola, E.; Giorgi, F.; Da Rocha, R.P.; De Souza, D.O. (2018). Land use change over the Amazon forest and its impact on the local climate. *Water*, 10, 149. <https://doi.org/10.3390/w10020149>

Lima, J. M. T.; Caruso, N. M.; Clugston, J.; Kainer, K. A. (2018). Landscape change alters reproductive phenology and sex expression in *Attalea* palms (Arecaceae) of southwestern Amazonia. *Plant Ecology*, v.219, n.10, p.1225–1245.

Manoli, G.; Ivanov, V. Y.; Fatichi, S. (2018). Dry-season greening and water stress in amazonia: the role of modeling leaf phenology. *JGR Biogeosciences*, 123(6).

Margalho, L. F.; Gurgel, E. S. C.; Gomes, J. I.; Groppo, M.; Martins-Da-Silva, R. C. V.; De Carvalho, L. T.; De Souza, A. S. (2014). Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber - Rutaceae). Embrapa Amazônia Oriental, Comunicado Técnico, nº 247.

Maués, M. M.; Oliveira, P. E. A. M. (2010). Consequências da fragmentação do habitat na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas em florestas tropicais, com ênfase na Amazônia. *Oecologia Australis*, 14(1), 238-250.

Mendoza I.; Peres C. A.; Morellato L. P. C. (2017). Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. *Global and Planetary Change*, v.148, p.227-241.

Mora, C.; Frazier, A. G.; Longman, R. J.; Dacks, R. S.; Walton, M. M.; Tong, E. J.; Giambelluca, T. W. (2013). The projected timing of climate departure from recent variability. *Nature*, 502(7470), 183–187. Doi: <https://doi.org/10.1038/nature12540>

Morellato, L.P.C., Alberton, B., Almeida, J., Alex, J., Mariano, G., Torres, R., (2014). e-Phenology: monitoring leaf phenology and tracking climate changes in the tropics. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, p.1

Muniz, F. H. Padrões de floração e frutificação de árvores da Amazônia Maranhense. (2008). *Acta Amaz.* 38, 4: p.617-626. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000400004>.

Murcia, C.(1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.

Nobre, C. A., Obregón, G. O., Marengo, J. A., Fu, R., & Poveda, G. (2009). Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. *In Amazonia and Global Change* <https://doi.org/10.1029/2009GM000903>

Newstrom L. E.; Frankie G. W.; Baker G. (1994). A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica*, v.26, p.141–159.

Pau, S.; Cordell, S.; Ostertag, R.; Inman, F.; Sack, L. (2019). Climatic sensitivity of species' vegetative and reproductive phenology in a Hawaiian montane wet forest. *Biotropica*, v. 52 , Ed. 5, p. 825-835. Doi: <https://doi.org/10.1111/btp.12801>

Pereira, M. R.; Tonini, H. (2012). Fenologia da andiroba (*Carapa guianensis*, Aubl., (Meliaceae) no sul do estado de Roraima. *Ciência Florestal*, v.22, n.1, p.47-58.

Phillips, O. L.; Aragão, L. E. O. C.; Lewis, S. L.; Fisher, J. B.; Lloyd, J.; LópezGonzález, G.; Torres-Lezama, A. (2009). Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*, 323(5919), 1344–1347. doi: 10.1126/science.1164033

Pires, J. P. A.; Silva, A. G.; Freitas, L. (2014). Plant size, flowering synchrony and edge effects: What, how and where they affect the reproductive success of a Neotropical tree species. *Austral Ecology*, v.39, p.328–336.

Pires, J. P.; Marino, N. A.; Silva, A. G.; Rodrigues, P. J.; Freitas, L. (2018). Tree community phenodynamics and its relationship with climatic conditions in a lowland tropical rainforest. *Forests*, v.9, n.3, p.1-18.

Rafferty, N.E., Ives, A.R. (2012). Pollinator effectiveness varies with experimental shifts in flowering time. *Ecology* 93, 803-814.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Reis, S. M.; Mohr, A.; Gomes, L.; Silva, A. C. S.; Abreu, M. F.; Lenza, E. (2012). Síndromes de polinização e dispersão de espécies lenhosas em um fragmento de cerrado sentido restrito na transição cerrado – Floresta Amazônica. *Heringeriana*, v.6, n.2, p. 28-41.

Rivera G, Borchert R. (2001). Induction of flowering in tropical trees by a 30-min reduction in photoperiod: evidence from field observations and herbarium specimens. *Tree Physiol*, 21: 201–212

Rivera, G.; Elliott, S.; Caldas, L. S.; Nicolossi, G.; Coradin, V. T. R.; Borchert, R. (2002). Increasing day-length induces spring flushing of tropical dry forest trees in the absence of rain. *Trees*, v.16, p.445–456. Doi: 10.1007/s00468-002-0185-3

Rubim, P.; Nascimento, H. E. M.; Morellato, L. P. C. (2010). Variações interanuais na fenologia de uma comunidade arbórea de floresta semidecídua no sudeste do Brasil. *Acta bot. bras.* 24, 3, p. 756-764.

Rodrigues, T. E., Silva, R. C., Silva, J. M. L., Oliveira Junior, R. C., Gama, J. R. N. F., Valente, M. A. (2003). Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará. Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 162. Retrieved from <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408067/caracterizacao-e-classificacao-dos-solos-do-municipio-de-paragominas-estado-do-para>

Silva, F. B.; Shimabukuro, Y. E.; Aragão, L. E.; Anderson, L. O.; Pereira, G.; Cardozo, F.; Arai, E. (2013). Large-scale heterogeneity of Amazonian phenology revealed from 26-year long AVHRR/NDVI time-series. *Environmental Research Letters*, p. 1-12.

Souza, M. L.; Lovato, M. B.; Fagundes, M.; Valladares, F.; Lemos-Filho, J. P. (2019). Soil fertility and rainfall during specific phenological phases affect seed trait variation in a widely distributed Neotropical tree, *Copaifera langsdorffii*. *American Journal of Botany* 106(8): 1096–1105. Doi: <https://doi.org/10.1002/ajb2.1333>

- Spironello, W. R.; Sampaio, P. T. B; Ronchi-Teles, B. (2004). Produção e predação de frutos em *Aniba rosaedora* Ducke var. *amazonica* Ducke (Lauraceae) em sistema de plantio sob floresta de terra firme na Amazônia Central, *Acta bot. bras.* 18(4): 801-807.
- Tabarelli, M.; Aguiar, A. V.; Girão, L. C.; Peres, C. A.; Lopes, A. V. Effects of pioneer tree species hyperabundance on forest fragments in northeastern Brazil. *Conservation Biology*, v. 24, n.6, p. 1654–1663, 2012.
- Tjur, T. (2009) Coefficients of Determination in Logistic Regression Models—A New Proposal: The Coefficient of Discrimination, *The American Statistician*, 63:4, 366-372, Doi: 10.1198/tast.2009.08210
- Urban, M. C. Accelerating extinction risk from climate change. (2015). *Science* 348, 571–573. Doi: 10.1126 / science.aaa4984
- Vogado, N. O.; Camargo, M. G. G.; Locosselli, G. M.; Morellato, L. P. C. (2016). Edge effects on the phenology of the guamirim, *Myrcia guianensis* (Myrtaceae), a cerrado tree, Brazil. *Tropical Conservation Science*, v.9, n.1, p.291-312.
- Wagenmakers, E.; Farrell, S. (2004). AIC model selection using Akaike weights. *Psychonomic Bulletin & Review* 11, 192–196. <https://doi.org/10.3758/BF03206482>
- Wu, J.; Albert, L. P.; Lopes, A. P.; Restrepo-Coupe, N.; Hayek, M. Wiedemann, K. T. Guan, K. (2016). Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. *Science*, v. 351, n. 6276, 972-976. Doi: 10.1126/science.aad5068
- White G. M.; Boshier, D. H.; Powell, W. (2002) Increased pollen flow counteracts fragmentation in a tropical dry forest: na example from *Swietenia humilis* Zuccarini. *PNAS* 99:2038–2042
- Wright, S. J.; Calderón, O.; Muller-Landau, H. C. (2019). A phenology model for tropical species that flower multiple times each year, v. 34, 1, p. 20-29. Doi: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1017>
- Yeang, H. Y. (2007). Synchronous flowering of the rubber tree *Hevea brasiliensis* induced by high solar radiation intensity. , 175(2), 283–289. Doi:10.1111/j.1469-8137.2007.02089.x 291-312, 2016.

APÊNDICE

Descrição da localização das matrizes de *Euxylophora paraensis* Huber no fragmento localizado no município de Paragominas-Pará.

Matriz	Distância da Borda	Dap(m)	Altura(m)	AB (m²)
M004	42,9	0,68	25,0	0,368
M007	31,7	1,19	17,0	1,113
M008	213,1	0,31	16,0	0,076
M010	66,6	0,65	18,0	0,331
M012	49,5	0,36	53,0	0,100
M015	113,9	0,51	30,0	0,204
M017	30,9	0,61	18,0	0,293
M022	173,1	0,44	23,0	0,154
M023	30,4	0,36	20,0	0,103
M024	24,6	0,45	18,0	0,160
M025	53,7	0,70	20,0	0,389
M026	87,0	0,53	28,0	0,217
M033	27,5	0,36	16,0	0,103
M034	34,6	0,32	17,0	0,083
M035	45,4	0,32	15,0	0,078
M036	30,4	0,47	29,0	0,172
M037	33,2	0,50	20,0	0,199
M038	27,8	0,56	23,0	0,244
M040	50,2	0,44	18,0	0,149
M041	50,4	0,55	20,0	0,241
M043	82,9	0,46	20,0	0,170
M044	76,2	0,33	18,0	0,084
M046	55,2	0,49	25,0	0,189
M048	14,5	0,42	15,0	0,139
M049	113,2	0,45	18,0	0,160
M051	78,8	0,51	19,0	0,201
M052	21,5	0,51	20,0	0,204
M054	302,3	0,44	18,0	0,154
M055	158,5	0,20	13,0	0,032
M056	87,8	0,41	20,0	0,134
M067	291,9	0,38	18,0	0,115
M068	54,4	0,42	20,0	0,139
M072	658,2	0,37	19,0	0,109
M076	134,2	0,66	23,0	0,338
M077	429,6	0,38	18,0	0,113
M078	321,9	0,73	25,0	0,414
M079	348,7	0,46	18,0	0,165
M082	53,6	1,02	35,0	0,825

CAPITULO 2

(A formatação está de acordo com a norma da Revista Research, Society and Development)

ANTHROPOGENIC DISTURBANCES STIMULATE NATURAL REGENERATION OF *Euxylophora paraensis* HUBER IN A FOREST FRAGMENT IN THE EASTERN AMAZON

Research, Society and Development, v. 10, n. 1, e47210111972, 2021
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11972>

Received: 12/14/2021 | Reviewed: 01/17/2021 | Accept: 01/20/2021 | Published: 01/24/2021

Abstract

In the Brazilian Amazon, forest fragments increase annually leading many species to local extinction. *Euxylophora paraensis* Huber is an endemic species whose natural habitat is restricted to the North of Brazil. The natural regeneration was evaluated using 10 circular plots with a radius of 20 m. The density of regenerating individuals at the edge and the interior of the fragment and the behavior in relation to the parent tree. The Periodic Annual Increment of the diameter and the height were calculated individually for each plant that remained alive during all four measurements and GLM (General Linear Model) was applied to verify if there were differences between environments and the size of the individuals. The results show that the density of natural regeneration increases as the distance from the parent tree increases and has a significant negative correlation with canopy area, the smaller the canopy area the higher the density of individuals. Larger diametric growth was observed in saplings and small trees at the edge and larger increments of height in small trees were observed both at the edge and interior of the fragments. Therefore, natural regeneration is influenced by the process of forest fragmentation where the germination of seeds and establishment of saplings is favorable, however, there were no adult trees at the edge.

Keywords: Edge effect; forest fragmentation; Extinction; Endemic species.

Resumo

Na Amazônia brasileira, os fragmentos florestais aumentam anualmente, levando muitas espécies à extinção local. *Euxylophora paraensis* Huber é uma espécie endêmica cuja ocorrência natural é restrita apenas no norte do Brasil. A regeneração natural foi avaliada utilizando 10 parcelas circulares com 20 metros de raio cada. Avaliou-se a densidade de indivíduos regenerantes na borda e no interior do fragmento e o comportamento em relação à árvore matriz. O Incremento Periódico Anual do diâmetro e da altura foi calculado

individualmente para cada planta que permaneceu viva durante todas as quatro medições e aplicado o GLM (Modelo Linear Geral) para verificar se houve diferença entre os ambientes e tamanho dos indivíduos. Os resultados mostram que a densidade da regeneração natural aumenta com o distanciamento da árvore matriz e tem correlação negativa e significativa com a área de copa, ou seja, quanto menor a área de copa maior a densidade dos indivíduos. Observou-se maior crescimento diamétrico em mudas e arvoretas em área de borda e maior incremento em altura nas arvoretas, tanto em borda quanto no interior do fragmento. Sendo assim, a regeneração natural é influenciada pelos processos de fragmentação florestal, onde há favorecimento da germinação das sementes e estabelecimento de mudas, porém na borda a regeneração não apresentou arvoretas até a fase adulta.

Palavras-Chave: Efeito de borda; Fragmentação florestal; Extinção; Espécie Endêmica.

Resumen

En la Amazonía brasileña, los fragmentos de bosque aumentan anualmente, lo que lleva a muchas especies a la extinción local. *Euxylophora paraensis* Huber es una especie endémica cuya presencia natural está restringida solo en el norte de Brasil. La regeneración natural se evaluó utilizando 10 parcelas circulares con un radio de 20 metros cada una. Se evaluó la densidad de individuos en regeneración en el borde y dentro del fragmento y el comportamiento en relación al árbol matriz. El Incremento Periódico Anual de diámetro y altura se calculó individualmente para cada planta que permaneció viva durante las cuatro mediciones y se aplicó el GLM (Modelo Lineal General) para verificar si había una diferencia entre los ambientes y el tamaño de los individuos. Los resultados muestran que la densidad de regeneración natural aumenta con la distancia del árbol padre y tiene una correlación negativa y significativa con el área del dosel, es decir, cuanto menor es el área del dosel, mayor es la densidad de individuos. Se observó mayor crecimiento diametral en plántulas y árboles en la zona de borde y mayor aumento de altura en los árboles, tanto en el borde como en el interior del fragmento. Así, la regeneración natural está influenciada por procesos de fragmentación del bosque, donde se favorece la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas, pero en el límite, la regeneración no mostró árboles hasta la edad adulta.

Palabras clave: Efecto de borde; Fragmentación florestal; Extinción; Especies endémicas.

1. Introduction

Besides the human populational growth, the Brazilian Amazon faces forest fragmentation under disorganized land use and occupation (Haddad, et al., 2015; Laurance, et al., 2018). It significantly lowers the flow of animals, pollen, seeds and, in general, introduces anthropic barriers in the landscape (roads, cities, agriculture, pastures, etc.) that generate severe edge effects (Murcia, et al., 1995; Marques, et al., 2010; Razafindratsima, et al., 2018). Near the edges, fragments exhibit high temperatures, low soil humidity, high luminosity, and strong winds (Laurance, et al., 2009; Cheptou, et al., 2017), causing critical ecological changes in the fragments (Laurance, et al., 2018). At the fragment edges, intense demographic changes in the natural regeneration of tree species take place, increasing abundance of some (Laurance & Vasconcelos, 2009; Marques, et al., 2010; Magnago, et al., 2017; Duarte, et al., 2018) and declining population of others (Laurance, et al., 2006; Marini, et al., 2012). Variation in the intensity of disturbances causes substantial changes in the spatial distribution of natural regeneration (Schwartz, et al., 2017; Duarte, et al., 2018). Individuals and species can exhibit significant growth variation based on their genetic history and ecological alterations caused by the disturbances (Costa, et al., 2020).

In this context, the processes involved in the natural regeneration of tree species in fragmented areas allow the detection and prediction of changes in the next generations, even before the effects are established in the adult community needs investigation. This knowledge is essential for management and development of action plans to conserve biodiversity, avoiding irreparable environmental losses, such as the extinction of rare and threatened species (Marini, et al., 2012; Cheptou, et al., 2017), which is the case of *Euxylophora paraensis* Huber.

Euxylophora paraensis, commonly known as “pau-amarelo” (Brazilian yellowwood or yellowheart), is the only species of the genus *Euxylophora* in the family Rutaceae. It is an endemic species with distribution restricted to three northern states of Brazil: Amazonas, Tocantins and Pará (CNCFlora 2012). Brazilian yellowwood has a long history of use in Pará, where the wood’s renowned beauty and structural robustness led to intense harvesting for use as flooring and finishing structures (Freitas, et al., 2019). The substantial exploitation of the species in the 1990s occurred without any planning and drastically reduced its natural populations (Brandão, et al., 2018). Consequently, the intense harvesting associated with restricted distribution and population reduction resulted in the inclusion of *E. paraensis* in the

list of threatened species. In 1998 and 2014, it was classified as “Critically endangered” (Brasil, 2014).

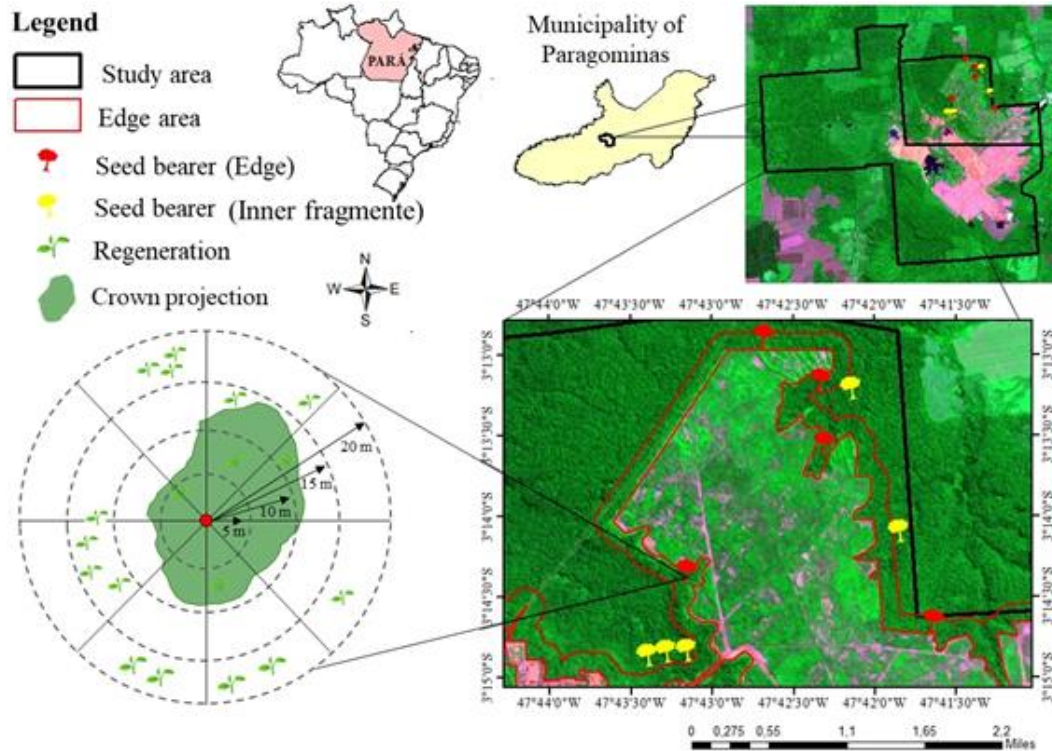
Knowledge of tree species ecology disturbed forests by human activities, especially those of economic interest and threatened, is of utmost importance for sound management and conservation. In this sense, this study aimed to evaluate the natural regeneration of *E. paraensis* in anthropogenically disturbed environments to answer the following questions: i) are there differences in density of seedlings and saplings between the edge and inside the fragment? ii) are there differences in diameter and height increments between seedlings and saplings of *E. paraensis* between the fragment edge and inner environments? iii) are there variations in the natural regeneration density regarding the distance from the seed bearer and its canopy area?

2. Methodology

2.1 Study area

The research was carried out in a forest fragment near a bauxite mining operation called Platô Miltônia III in the municipality of Paragominas – Pará State, Brazil, between the latitude 3°15'0" S and longitude 47°44'0" W (Figure 1).

Figure 1: Location of the research site and sketch of the plots with *Euxylophora paraensis* Huber seed bearers at the edge and in the inner fragment in the municipality of Paragominas, State of Pará, Brazil.



Source: Authors (2021).

The 1,989-ha fragment had several land-uses, including agriculture, cattle raising, and bauxite extraction (Duarte, et al., 2018). The natural vegetation is classified as Submontane Dense Ombrophyllous Forest and Lowland Forest (IBGE, 2012). According to Köppen's classification, the region's climate is "Aw" type, i.e., tropical humid, with an average annual rainfall of 1.800 mm, the average annual temperature of 26.3 °C and relative air humidity of 81% (Alvares, et al., 2013). The main soil types in the region are Yellow Latosols, Yellow Argisols, Plintosols, Gleissols, and Neossols (Rodrigues et al., 2003).

2.2 Data Collection

The methodology adopted was quantitative according Pereira et al. (2018). Ten seed bearers were selected using the following criteria: a) distance of the tree to the edge of the fragment and b) occurrence of regeneration near the seed bearer. Each seed bearer was georeferenced to obtain the distance to the edge of the fragment. Individuals located within 150 m from the border of the fragment were considered as in the edge to evaluate the natural regeneration of *E. paraensis* in different environments. Individuals situated farther than 150 m from the edge were classified as belonging to the inner fragment (Nascimento & Laurance, 2006). Thus, five seed bearers were located in the edge (distance < 150 m) and five in the

inner fragment edge (distance >150 m). The individuals of the natural regeneration were classified into seedlings (height < 300 cm) and saplings (height \geq 300 cm).

Four circular plots were set up in each seed bearer, with 5 m, 10 m, 15 m, and 20 m in radii, defined by the crown projection. The center of each tree trunk was used as a reference point to estimate the crown projection area (CPA). The CPA of each seed bearer was calculated by measuring the area of eight triangles formed from the center of the plot at 45° angles towards the crown projection border as shown in Figure 1. CPA as well as the distances from the natural regeneration to each seed bearer were calculated by the ArcGis 10.1 software package.

The total sampled area was 1.26 h (0.63 ha in the edge and 0.63 ha in the inner fragment). The following criteria were considered for measurements: individuals shorter than 150 cm in height, diameters were measured at the ground level; those with heights above 150 cm, diameters were measured at 1.30 m (DBH - Diameter at Breast Height). Heights were assessed in all sizes of individuals. Direct measurements of heights were carried out in individuals less than 300 cm high; those with heights above 300 cm were measured indirect.

In each plot, individuals of *E. paraensis* were identified and measured in December 2017; March 2018; June 2018, and September 2018. Dead and recruited individuals were also recorded, measured, and mapped in each measurement.

2.3 Data analysis

Absolute density of *E. paraensis* natural regeneration was recorded in each sample unit and converted to a hectare basis. To calculate the diameter distribution we used 1.5 cm class intervals as follows: (1) 0.1-1.4 cm; (2) 1.5-2.9 cm; (3) 3-4.4 cm; (4) 4.5-5.9 cm; (5) 6-7.4 cm; (6) 7.5-8.9 cm; (7) 9-10.4 cm; (8) 10.5-12 cm, and one class for diameter over 12 cm (9).

Analysis of the effect of the environment (edge x inner fragment) and the natural regeneration size (seedlings and saplings) of *E. paraensis* on the Periodic Annual Increments in DBH and height was carried using a completely randomized design in a 2 x 2 factorial arrangement (environment x size of the individual), being each seed bearer a replication of the treatments.

The Periodic Annual Increments in diameter (PAI_{DBH}) and Height (PAI_{HT}) were calculated as the difference between the values of diameter/height at the initial and final

measurement period divided by the length of the period (T): $(DBH_{final} - DBH_{initial}/T)$ and $HT_{final} - HT_{initial}/T$.

To analyze PAI_{DBH} and PAI_{HT} of seedlings and saplings at the edge and in the inner fragment, the GLM (Generalized Linear Model) followed by ANOVA ($p < 0.05$) was applied. Edge and inner fragment and size of regeneration were the factors and PAI_{DBH} , and PAI_{HT} were the dependent variables.

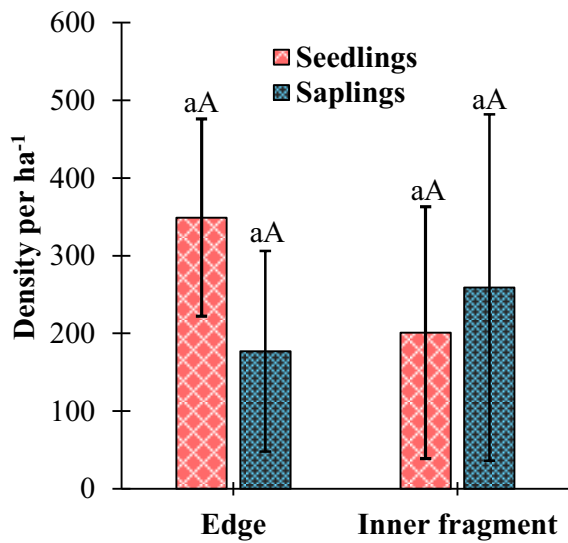
The data were first checked for the assumptions of the analysis of variance (ANOVA) by the following tests: a) normality by the Shapiro-Wilk test ($p > 0.05$), b) homoscedasticity by the Bartlett test ($p > 0.05$). Pearson's correlation coefficient between individuals' density and the crown area (m^2) was calculated for all seed bearers. Analysis of Variance was applied to the density of individuals. Then regression analysis was performed to fit equations to the data regarding the distance from the tree crown. The model was selected considering the significance of the parameters' coefficients and the largest coefficient of determination (R^2). Statistical analysis was performed employing the software R by version 3.6.3 (R Development Core Team, 2019), with the $p < 0.05$ significance level.

3. Results

3.1 Population structure

By the last assessment in September 2018, 525.2 natural regeneration individuals had been recorded in the edge and 420.17 in the inner fragment. There was no statistical difference in the density of individuals concerning the edge or inner fragment (p -value = 0.629) and similarly to the size of individuals (p -value = 0.490) (Figure 2). However, a high density of seedlings occurred in the edge as well as saplings in the inner fragment (Figure 2). In more internal areas of the fragment, a significant reduction and even absence of natural regeneration were observed in one of the seed bearers (Figure 2).

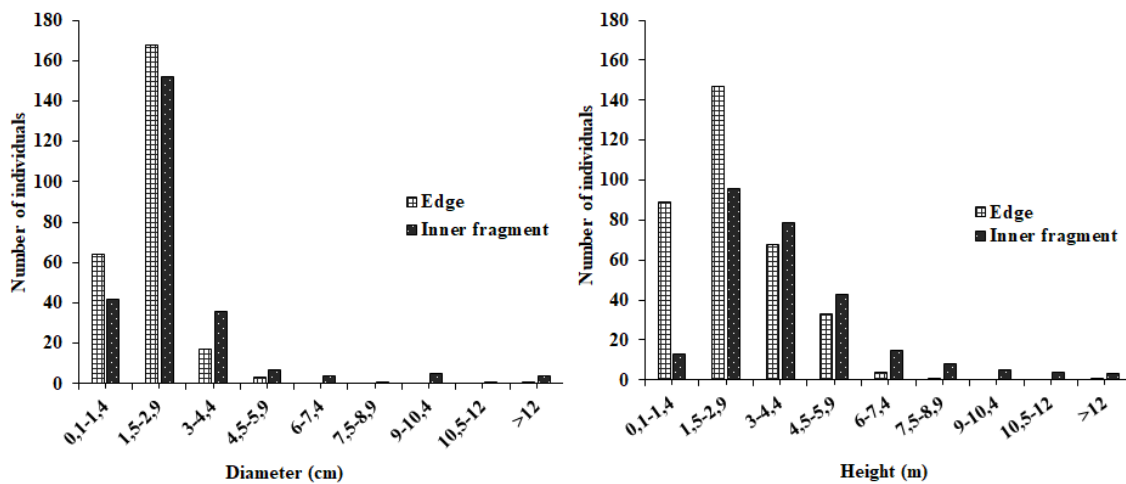
Figure 2: Density of natural regeneration of *Euxylophora paraensis* Huber in a forest fragment in the municipality of Paragominas – Pará, Brazil.



Notes: Averages followed by the same letter do not differ statistically among themselves; lowercase letters represent the comparison between sizes of individuals and capital letters represent the comparison between locations in the fragment by ANOVA and Tukey's post-hoc test at 5% probability. Bars represent the standard deviations¹. Source: Authors (2021).

The individuals with the largest diameters and height were better distributed inside the fragment. Those six centimeters in diameter and nine meters in height did not occur at the edge (Figure 3). The distribution of individuals in diameter and height classes revealed a higher density of individuals in the second diameter class (1.5-2.9 cm) for edge and inner fragment (Figure 3). The two first diameter classes and height together comprise 91.7% and 68.8% of the individuals in the edge and 76.9% and 40.9% in the inner fragment, respectively (Figure 3).

Figure 3: Diameter and height distribution of *Euxylophora paraensis* Huber in a forest fragment in the municipality of Paragominas, state of Pará, Brazil.

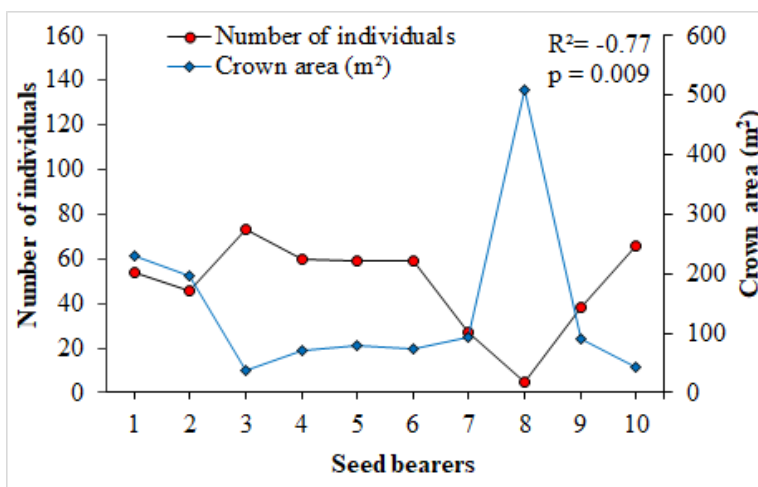


Source: Authors (2021).

3.2 Natural regeneration concerning the seed bearer

The crown areas ranged from 38.2 m² to 509.4 m². The seed bearers' distance to the edge of the fragment varied from 30 m (smallest crown area) to 600 m (largest crown area). A significant negative correlation was found between NR density and crown area ($R^2 = -0.77$; $p < 0.009$) (Figure 4). The density of NR was small under seed bearers with large crowns, whereas those with small crowns had a higher density of individuals (Figure 4).

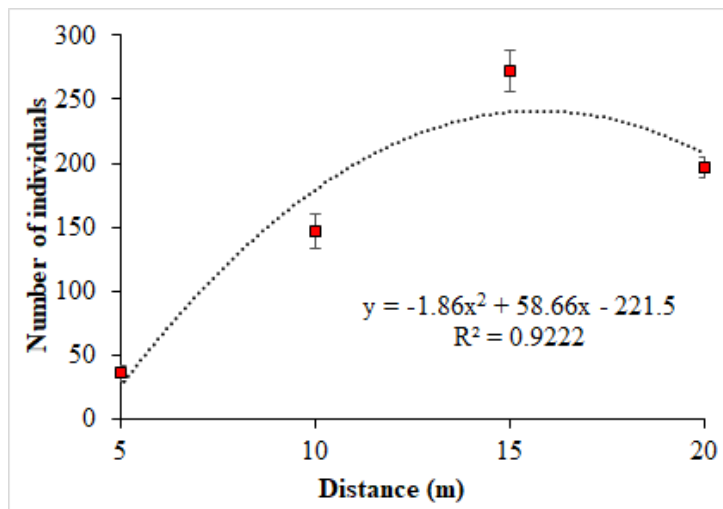
Figure 4: Density of NR under crowns of seed bearers of *Euxylophora paraensis* Huber in relation to the crown area in a forest fragment in the municipality of Paragominas – Pará, Brazil.



Source: Authors (2021).

The quadratic polynomial model provided the best fit to express how the density of natural regeneration per m² responds to the distance from the seed bearer (p = 0.001). As shown in Figure 5, the density increases with the distance, reaching the maximum value of 272 individuals at a 15.8 m distance.

Figure 5: Relationship between the density of *Euxylophora paraensis* Huber NR and distance from the seed bearer in a forest fragment in the municipality of Paragominas, state of Pará, Brazil.



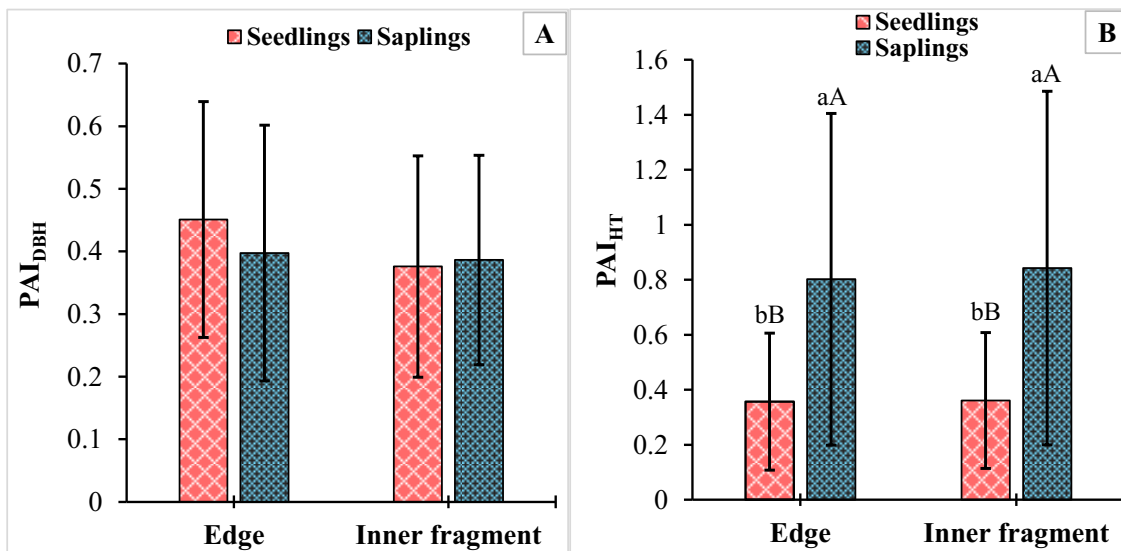
Source: Authors (2021).

3.3 Population dynamics

Fourteen ingrowths were registered in a single seed bearer, and 10 plants (2.3%) died during the measurement period. Periodic annual increment in diameter and height of *E. paraensis* was 0.41 cm year⁻¹ and 0.36 m year⁻¹ for seedlings and 0.39 cm year⁻¹ and 0.82 cm year⁻¹ for saplings, respectively (Figure. 6). No interaction was found between locations (edge or inner fragment) and the size of the NR (seedlings and saplings) for PAI_{DBH} and PAI_{HT} (p-value = 0.065). However, PAI_{DBH} showed a significant difference between the locations in the fragment (p-value = 0.006) (Figure 6A). The diameter increment of seedlings and saplings was higher at the edge of the fragment. PAI_{HT} was significant both for location (p-value =

0.001) and size of NR (p-value = 0.001). The higher increments occurred in NR located both at the edge (0.81 m year⁻¹) and in the inner fragment (0.84 m year⁻¹) (Figure 6B).

Figure 6: Periodic Annual Increment in DBH (PAIDBH) and height (PAIHT) of the natural regeneration of *Euxylophora paraensis* Huber in the municipality of Paragominas – Pará, Brazil.



Notes: Averages followed by the same letter do not differ statistically among themselves, lowercase letters represent the comparison between the sizes of the NR and capital letters, the comparison between locations by ANOVA with Tukey's post-hoc test at 5% probability. The bars represent standard deviations. Source: Authors (2021).

4. Discussion

4.1 Population structure

The NR of *E. paraensis* proved to be sensitive to fragmentation, as seen by the differences in density and growth of individuals between the fragment locations. An increase in NR density in the early stages was observed at the edge of the fragment. Studies have shown that some species are more vulnerable to microenvironments, such as those at the edge of forest fragments, because of their ecological responses to environmental changes. This effect confers some competitive advantage in light requirements to secondary species

(Nascimento & Laurance, 2006; Schwartz, et al., 2014; Duarte, et al., 2018). This is the case of *E. paraensis* which fits Budowski's (1965) classification of ecological groups as a light demanding species (Amaral, et al., 2009).

Individuals of the fragment border are smaller. High incidence of solar radiation in this environment may induce seedling germination and growth, especially in light-demanding species, which show higher photosynthetic rates than in shade-tolerant ones. This difference explains the large abundance of seedlings in the fragment edge (see also Nascimento & Laurance, 2006; Razafindratsima, et al., 2018; Benitez-Malvido, et al., 2018).

The low frequency of saplings (height > 300 cm) in the edge may be explained by the high mortality caused by falling branches, high wind turbulence, and low humidity. These environment features interfere with establishing seedlings in forest fragments (Marques, et al., 2010) and their growth into adulthood (Laurance, et al., 2018; Benítez-Malvido, et al., 2018).

Higher density of saplings in the inner fragment may be explained by natural openings in the forest canopy before the fragment was created. Canopy gaps created by the fall of dead trees are common small-scale disturbances that play an essential role in forest regeneration and dynamics (Whitmore, 1989; Schwartz, et al., 2014). On the other hand, openings created by major disturbances generally cause significant impacts on the forest environment and can modify the behavior of natural regeneration, growth, mortality, and recruitment of individuals (Schwartz, et al., 2014; Dionisio, et al., 2018).

The diameter distribution of *E. paraensis* natural regeneration was irregular, i.e., it did not follow the typical inverse J-curve distribution (Figure 5). At the species level, the diameter distribution may greatly differ from that shape due to the species' ecophysiological responses, and the changes occurred after disturbances over time (Reis, et al., 2014).

Fragmentation and habitat disturbance mainly affect younger individuals who have not yet been established. Instability in the fragments varies according to the nearby anthropic activities (Murcia, 1995; Blumenfeld, et al., 2016). The more intensive is the disturbance, the greater the damage to the remaining vegetation (Blumenfeld, et al., 2016).

4.2 Natural regeneration under the seed bearers

The high negative correlation between the crown area and the density of NR of *E. paraensis* individuals revealed the species' need for environments with high solar radiation. The environment under the crown is influenced by its area and architecture, which interferes

with the amount of light reaching the forest floor and, consequently, the germination and establishment of natural regeneration (Melo, et al., 2015).

The highest concentration of natural regeneration distant from the parent tree and outside the crown projection corroborates the escape hypothesis postulated by Janzen (1970) and Connel (1971). According to these authors, seeds under the crown or close to the parent tree suffer intense predation, and those far from it would have better survival chances. Seeds dispersal, far beyond the seed bearer, may represent high dispersive quality individuals, as they are more likely to survive into adulthood after escaping distance-dependent mortality (Bett & May, 2017).

Seed dispersal of *E. paraensis* is barochoric, but the seeds can also be found beyond the seed bearer, indicating a possible secondary type of dispersal (Melo, et al., 2015).

4.3 Population dynamics of *E. paraensis*

The short observation period of this study may explain low ingrowth and mortality. Longer-term monitoring periods would be necessary to understand the influence of forest fragmentation on the species natural regeneration. The periodic annual increment of diameter and height of the natural regeneration varied according to the location in the fragment and size of individuals. The ecological survival strategies of the species in fragmented areas result in the highest diameter and height increments of seedlings and saplings in the edge. The increase in diameter of the smallest individuals is most affected due to the damage caused by the natural fall of tree branches from the canopy upper stratum. The rapid height increase of individuals > 300 cm is probably an ecological response of secondary species to the environment fragmentation. After the opening of large gaps, individuals grow rapidly to reach the canopy (Schwartz, et al., 2014; Dionisio, et al., 2018).

Light-demanding species such as *E. paraensis* need a gap to reach the upper canopy. Gaps created in the forest canopy favor height growth but later, this growth decreases due to canopy closure by the lateral crown's expansion. *E. paraensis* occupies the upper stratum requiring full sunlight to grow (Brandão, et al., 2018).

Despite the positive response to changes in its natural habitat, it is crucial to evaluate the species' long-term ecological responses. Notwithstanding the increase in density of individuals in the fragment's edge, it is necessary to know if these individuals reach adulthood by resisting fragmentation. Species resistant to fragmentation have typical ecological characteristics, including non-selective pollinators, high reproductive capacity,

successful germination, both in fragments and closed forest, tolerance to stress in the seedling stage, high resistance to natural enemies, and physical damage.

Forest fragments act as drivers for recovering degraded landscapes. They are shelters for animals and allow movements between fragmented areas promoting the dispersal of fruits, seeds, and keeping soil humidity. As sources of diaspores, they are considered key factors in the vegetal colonization of degraded areas (Rodrigues, et al., 2004; Ribeiro, et al., 2019). Thus, mitigation and conservation of forest fragments associated with management efforts in fragmented tropical forests become necessary to promote actions such as natural regeneration management, enrichment planting, and reforestation of degraded landscapes, as is the case of mining areas.

5. Conclusions

Forest fragmentation has impacted the responses of natural regeneration of *Euxylophora paraensis* regarding the density of individuals and their growth dynamics. Seedlings were more abundant in the fragment's edge and showed high diameter and height increments. Saplings were denser in the inner fragment and had improved height increment independent of the fragmented environment.

There was variation in the abundance of the natural regeneration of *E. paraensis* regarding the canopy area and distance from the seed bearer. Trees with a smaller crown area had higher abundance of regenerating individuals, and the distance from the mother tree favored an increase in the density of regeneration.

The results demonstrate that forest fragmentation influences the natural regeneration of *E. paraensis* by favoring seedlings establishment. However, the disturbed environment hinders the development of saplings into the adult stage, therefore, we recommend studies with long-term monitoring of natural regeneration, especially of forest species at risk of extinction.

Acknowledgments

We are grateful for the support of Mineração Paragominas S.A. - Hydro, Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), and the Postgraduate Program in Forest Sciences (PPGCF-UFRA).

References

- Alvares, C. A., Stape J. L., Sentelhas P. C., Gonçalves J. L. M., Sparovek G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Z.* 22, 711-728. doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Amaral, D. D. D., Vieira, I. C. G., Almeida, S. S. D., Salomão, R. D. P., Silva, A. S. L. D., Jardim, M. A. G. (2009). Checklist da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil. *Bol. Mus. Para Emílio Goeldi Cienc. Nat.* 4(3), 231-289. Retrieved from http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-81142009000300002
- Benítez-Malvido, J., Lázaro, A., Ferraz, I. D. (2018). Effect of distance to edge and edge interaction on seedling regeneration and biotic damage in tropical rainforest fragments: A long-term experiment. *Journal of ecology*, 106(6), 2204–2217. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13003>
- Bett, L. A., May, D. (2017). Regeneração natural de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer (lauraceae) em floresta ombrófila mista, Paraná, Brasil. *Ciência Florestal*, 27, 707-717. doi: <https://doi.org/10.5902/1980509827756>
- Blumenfeld, E. C., Santos, R. F., Thomaziello, S. A., Ragazzi, S. (2016). Relações entre tipo de vizinhança e efeitos de borda em fragmento florestal. *Ciência Florestal* 26(4), 1301-1316. Retrieved from <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/25150>
- Brandão, A. D. S., Dionisio, L. F. S., Farias, P. R. S., Schwartz, G., Carvalho, J. O. P. (2018). Spatial distribution pattern of *Euxylophora paraensis* Huber in a natural managed forest in the Eastern Amazon. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13(3), 5545. doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i3a5545>
- Brasil. (2014). Portaria MMA N° 443 de 17 de dezembro de 2014 - Reconhecer como espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção aquelas constantes da "Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção". *Diário Oficial da União*, Brasília.
- Budowski, G. (1965). *Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional processes*. Turrialba, 15:40-42 .

Cheptou, P. O., Hargreaves, A. L., Bonte, D., Jacquemyn, H. (2017). Adaptation to fragmentation: evolutionary dynamics driven by human influences. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 372. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0037>

Connell, J. H. (1971). *On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees*. In: Boer PJ, Gradwell GR, editores. Dynamics of populations. Wageningen: Center for Agricultural Publishing and Documentation.

Costa, N. S. L., Jardim, F. C. S., Gomes, J. M., Dionisio, L. F. S., Schwartz, G. (2020). Responses in growth and dynamics of the shade-tolerant species *Theobroma subincanum* to logging gaps in the Eastern Amazon. *Forest Systems* 29, e003. doi: <https://doi.org/10.5424/fs/2020291-15832>

Dionisio, L. F. S., Schwartz, G., Lopes, J. C., Oliveira, F. A. (2018) Growth, mortality, and recruitment of tree species in an Amazonian rainforest over 13 years of reduced impact logging. *For Ecol Manag* 430, 150-156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.024>

Duarte, J. A. P., Ferreira, G. C., Ruschel, A. R., Mafra, N.A. (2018). Composição e estrutura florística de Florestas degradadas e secundárias da mesorregião Sudeste Paraense, PA, Brasil. *Biota Amazônia*. 8(2), 32-43, doi: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v8n2p32-43>

Freitas, L. J. M., Lopes, J., Bandão, A., Ferreira, J., Stucchi, G., Schwartz, G., Silva, A. (2019). *Silvicultura em clareiras: Estratégia de conservação in situ de Euxylophora paraensis (pau-amarelo) no Nordeste Paraense*. Documentos, Embrapa Amazônia Oriental, 21p. Retrieved from <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes>

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., Melbourne, B. A., Nicholls, A. O., Orrock, J. L., Song, D., Townshend, J. R. (2015) Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2):1-9. doi: 10.1126 / sciadv.1500052

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Manual técnico da vegetação*

brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro

Janzen, D. H. (1970). Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *American Naturalist* 104(940):501-528. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/2459010?seq=1>

Laurance, W. F., Camargo, J. L., Fearnside, P. M., Lovejoy, T. E., Williamson, G. B., Mesquita, R. C., Laurance, S. G. (2018). An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. *Biological Reviews* 93, 223-247. doi: <https://doi.org/10.1111/brv.12343>

Laurance, W. F., Nascimento, H. E., Laurance, S. G., Andrade, A. C., Fearnside, P. M., Ribeiro, J. E., Capretz, R. L. (2006) Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. *Ecology* 87, 469-482. doi: <https://doi.org/10.1890/05-0064>

Laurance, W. F., Vasconcelos, H. L. (2009). Consequências ecológicas da fragmentação. *Oecologia Brasiliensis* 13(3), 434-451. doi: <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1303.03>

Magnago, L. F. S., Magrach, A., Barlow, J., Schaefer, C. E. G. R., Laurance, W. F., Martins, S. V., Edwards, D. P. (2017). Do fragment size and edge effects predict carbon stocks in trees and lianas in tropical forests? *Functional ecology*, 31(2), 542-552. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12752>

Marini, L., Bruun, H. H., Heikkinen, R. K., Helm, A., Honnay, O., Krauss, J., Bommarco, R. (2012). Traits related to species persistence and dispersal explain changes in plant communities subjected to habitat loss. *Diversity and Distributions* 18(9), 898-908. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2012.00893.x>

Marques, T. E. D., Beijo, L. A., Ramos, F. N. (2010). Are biotic and abiotic factors and seedling mechanical damage in forest-edge fragments always different from the interior? *Australian Journal of Botany* 58, 241-247. doi: <https://doi.org/10.1071/BT09112>

Melo, A. C. G., Daronco, C., Ré, D. S., Durigan, G. (2015). Tree species attributes and facilitation of natural regeneration in heterogeneous planting of riparian vegetation. *Scientia forestalis* 43(106), 333-344. Retrieved from <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr106/cap09.pdf>

- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology e Evolution* 10, 58-62. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)
- Nascimento, H. E. M., Laurance, W. F. (2006). Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. *Acta Amazonica* 36(2), 183-192. doi: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000200008>
- Pereira A.S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., Shitsuka, R. (2018). Metodologia de pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB / NTE / UFSM. Retrieved from https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1
- Razafindratsima, O. H., Brown, K. A., Carvalho, F., Johnson, S. E., Wright, P. C., Dunham, A. E. (2018). Edge effects on components of diversity and above-ground biomass in a tropical rainforest. *Journal of Applied Ecology* 55, 977–985. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12985>
- Reis, L. P., Ruschel, A. R., Silva, J. N. M., Reis, P. C. M., Carvalho, J. O. P., Soares, M. H. M. (2014). Dinâmica da distribuição diamétrica de algumas espécies de Sapotaceae após exploração florestal na Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias* 57(3), 234-243. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.ao1401>
- Rodrigues, R. R., Martins, S. V., Barros, L. C. (2004). Tropical rain Forest regeneration in area degraded by mining in Mato Grosso State, Brazil. *For. Ecol. Manag.* 190, 323-333. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.10.023>
- Rodrigues, T. E., Silva, R. C., Silva, J. M. L., Oliveira Junior, R. C., Gama, J. R. N. F., Valente, M. A. (2003). *Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará*. Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 162. Retrieved from <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408067/caracterizacao-e-classificacao-dos-solos-do-municipio-de-paragominas-estado-do-para>
- Ribeiro, S. S., Oliveira, F. A., Ferreira, G. C., Santos, D. E., Cruz, D. C. (2019). Forest Restoration Evaluation Through Indicators in Areas of Bauxite Mining. *Floresta e Ambiente* 2019; 26(3), e20170812. doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.081217>

Schwartz, G., Falkowski, V., Peña-Claros, M. (2017). Natural regeneration of tree species in the Eastern Amazon: short-term responses after reduced-impact logging. *Forest Ecol Manage* 385, 97-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.036>

Schwartz, G., Lopes, J. C., Kanashiro, M., Mohren, G. M., Peña-Claros, M. (2014). Disturbance Level Determines the Regeneration of Commercial Tree Species in the Eastern Amazon. *Biotropica* 46(2), 148-156. doi: <https://doi.org/10.1111/btp.12096>

Whitmore, T. C. (1989). Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 70, 536-538 .

APÊNDICES

Análise de variância para fatorial 2x2 (ambiente: Borda e Interior; Tamanho: Mudanças e Arvores) da densidade da regeneração natural de *Euxylophora paraensis* Huber.

	Soma quadrática	GL	Quadrado Médio	F	p-valor
Ambiente	6699,86	1	6699,86	0,2423	0,6293
Tamanho	13792,3	1	13792,3	0,4987	0,4902
Interação	91505,7	1	91505,7	3,309	0,08768
Dentro dos grupos	442495	16	27655,9		
Total:	554493	19			

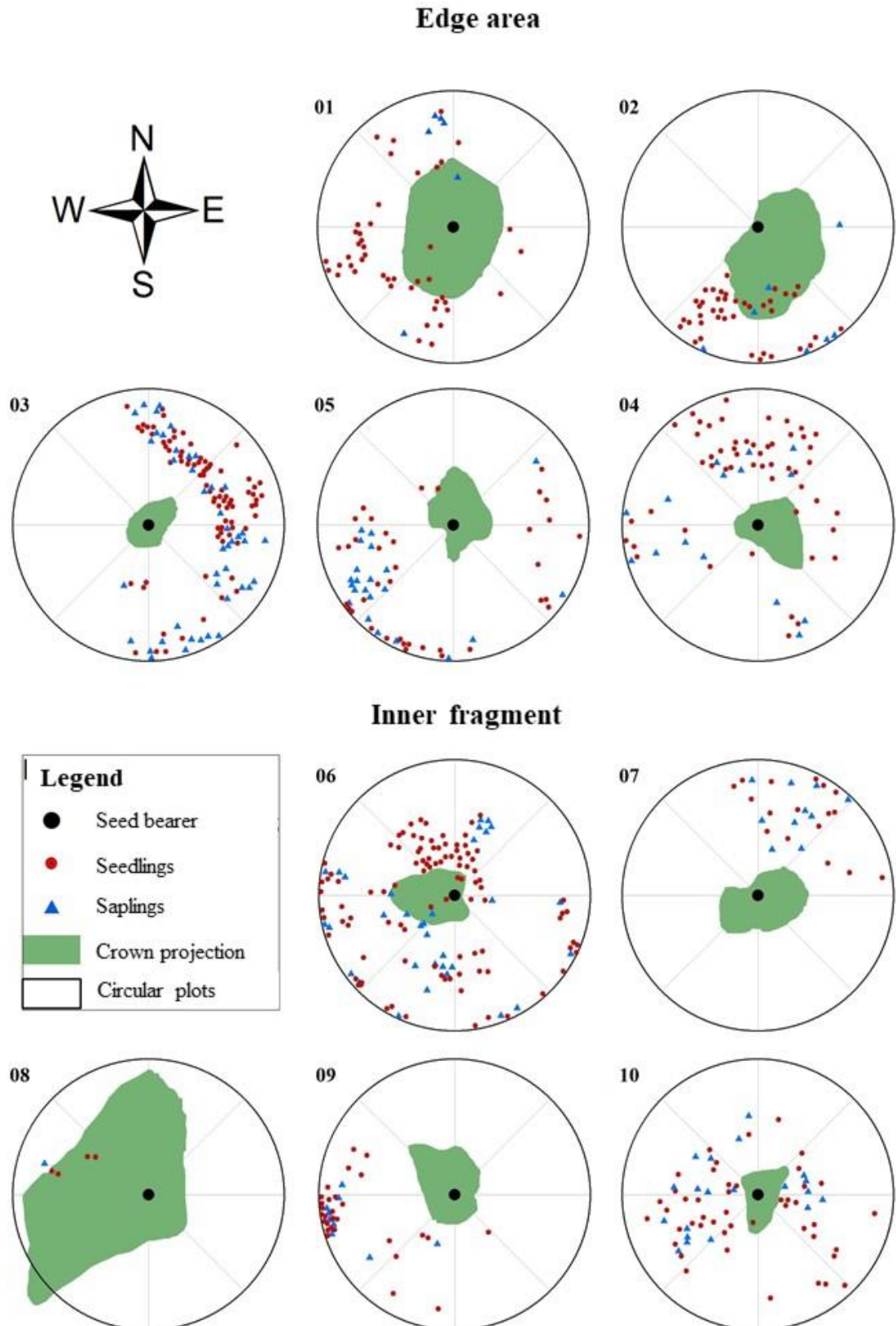
Análise de variância para a GLM (Modelo Linear Geral) do DAP das mudas e arvores da regeneração natural de *Euxylophora paraensis* Huber em ambiente de borda e interior do fragmento.

	GL	Desvio	GL res.	Des. Res.	p valor
NULO			494	42.787	
Ambiente	1	0,61783	493	42.170	0.00643**
Tamanho	1	0,14003	492	42.030	0.19452
Ambiente:Tamanho	1	0,28323	491	41.746	0.06503

Análise de variância para a GLM (Modelo Linear Geral) para altura das mudas e arvores da regeneração natural de *Euxylophora paraensis* Huber em ambiente de borda e interior do fragmento.

	GL	Desvio	GL res.	Des. Res.	p valor
NULO			593	215.60	
Ambiente	1	5.836	592	209.76	1.541e-05***
Tamanho	1	50.971	591	158.79	<2.2e-16***
Ambiente:Tamanho	1	0.025	590	158.77	0.7751

Location of natural regeneration and crown projection of the seed bearer of *Euxylophora paraensis* Huber in the border and inner fragment.



CONCLUSÕES GERAIS

O conhecimento sobre o comportamento reprodutivo de espécies arbóreas é uma das ferramentas que podem mensurar as respostas das plantas diante das alterações do ambiente. Com tais resultados é possível adotar estratégias de mitigação para a conservação e preservação das espécies. Diante disto, esta pesquisa possibilitou inferir que o comportamento reprodutivo da população de *Euxylophora paraensis*, no âmbito da fenologia e dinâmica da regeneração natural, está sofrendo mudanças, seja por conta dos efeitos de borda ou pelas alterações nos elementos climáticos.

A fenodinâmica de *E. paraensis* foi associada, principalmente, aos elementos climáticos em que o início e a duração dos eventos reprodutivos (Flor, Flores e Fruto) ocorreram durante o período seco. Quando o índice pluviométrico apresentava anomalias, como alta intensidade no curto período, a população de *E. paraensis* era afetada com queda intensa de folhas. Outra alteração no fator climático, como o longo período de estiagem, também interferiu na fenodinâmica da população de *E. paraensis*. Árvores que iniciaram a emissão de botão floral e abertura das flores não finalizaram o ciclo com a frutificação em períodos prolongados de seca. Apesar disto, a espécie apresentou respostas adaptativas diante dessas variações, como por exemplo, a intensa rebrota de folhas após a grande perda da cobertura folia e contínua emissão de folhas em períodos de seca, o que favoreceu a produção de fruto nesta estação. Outro resultado de grande relevância para este estudo foi a significância do fotoperíodo aos eventos reprodutivos. A diferença de meia hora do fotoperíodo foi crucial para a formação dos frutos, em que estes eram formados em períodos com dias mais longos. Este resultado ratifica o que algumas literaturas já vêm comprovando sobre a importância das pequenas mudanças do fotoperíodo para espécies de plantas tropicais.

Em relação a dinâmica da regeneração natural, os resultados mostraram que a densidade destas era maior com o distanciamento da árvore matriz, além de ter tido correlação negativa com a área de copa, ou seja, quanto menor a área de copa maior a densidade dos indivíduos. O maior crescimento diamétrico ocorreu em mudas e arvoretas presentes em área de borda e o maior incremento em altura nas arvoretas, tanto em borda quanto no interior do fragmento. Esse resultado foi o reflexo de que a espécie necessita de maior quantidade de

radiação solar para o seu desenvolvimento inicial, o que explica maior densidade de indivíduos mais jovens em área de borda e com maior crescimento diamétrico.

Ao contrário dos resultados de fenologia, a regeneração natural foi influenciada pelos processos de fragmentação florestal, onde houve o favorecimento da germinação das sementes e estabelecimento de mudas. No entanto, vale salientar, que o ambiente de borda favoreceu apenas o estabelecimento inicial e não o desenvolvimento desses indivíduos até a fase adulta.

Diante dessas conclusões sugerimos que as ações à conservação de *E. paraensis* sejam urgentes, principalmente as que envolvem a propagação destas. Os resultados de fenologia contidos neste trabalho podem promover o melhor planejamento para o período de coleta de sementes, tendo em vista a produção de mudas em larga escala. Além disso é possível desenvolver ações a partir do conhecimento sobre a dinâmica da regeneração de *E. paraensis* como o manejo adequado destes, o plantio de enriquecimento e o reflorestamento de paisagens degradadas, como é o caso das áreas de mineração.