



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

NAIR FERNANDA FELICIO MARCZUK

**FENOLOGIA E ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE FOLÍOLOS
DE *Guarea kunthiana* A. Juss. EM FRAGMENTOS DE
FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E EM
REFLORESTAMENTOS ADJACENTES, NO NORTE DO
PARANÁ, SUL DO BRASIL**

Londrina
2020

NAIR FERNANDA FELICIO MARCZUK

**FENOLOGIA E ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE FOLÍOLOS
DE *Guarea kunthiana* A. Juss. EM FRAGMENTOS DE
FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E EM
REFLORESTAMENTOS ADJACENTES, NO NORTE DO
PARANÁ, SUL DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Biodiversidade e Conservação de Habitats Fragmentados).

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Bianchini

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

M322f Marczuk, Nair Fernanda Felicio.
Fenologia e atributos funcionais de folíolos de *Guarea kunthiana* A. Juss. em fragmentos de floresta estacional semidecidual e em reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil / Nair Fernanda Felicio Marczuk. - Londrina, 2020.
91 f. : il.

Orientador: Edmilson Bianchini.
Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Meliaceae - Tese. 2. Análise foliar - Tese. 3. Plasticidade fenotípica - Tese. I. Bianchini, Edmilson. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 574

NAIR FERNANDA FELICIO MARCZUK

FENOLOGIA E ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE FOLÍOLOS DE *Guarea kunthiana* A. Juss. EM FRAGMENTOS DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E EM REFLORESTAMENTOS ADJACENTES, NO NORTE DO PARANÁ, SUL DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor/Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador: Prof. Dr. Edmilson Bianchini
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dra. Renata Stolf Moreira
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Cristiano Medri
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 15 de maio de 2020.

Dedico este trabalho a minha saudosa mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Edmilson Bianchini por sua dedicação. Por todas as correções e sugestões. Agradeço por ter acompanhado as idas a campo, ajudando em todos os processos. Sou grata não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade. Além de todo o conhecimento intelectual que transmitiu também me ensinou valores humanos que levarei comigo por toda minha vida.

Ao Prof. Dr. João Fernando Marques da Silva, que ajudou muito com seus conhecimentos estatísticos. Sem sua contribuição esse trabalho não seria possível.

Aos Profs. Drs. da banca de qualificação, José Antônio Pimenta, Alba Lúcia Cavalheiro e Edmilson Bianchini, e da banca de defesa Renata Stolf Moreira, Cristiano Medri, Waldemar Zangaro Filho e Marcio Seiji Suganuma, por todas correções e sugestões.

Agradeço a minha companheira de campo, Gislaine Camargo Chagas, por me ajudar nos momentos de dificuldade.

Ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP), por permitir a realização deste trabalho no Parque Estadual Mata dos Godoy.

Aos proprietários das fazendas em Rancho Alegre, Alvorada do Sul e Sertaneja onde este estudo foi desenvolvido, por permitirem a entrada em suas propriedades para acessar as áreas.

Um agradecimento especial a minha família, principalmente ao meu Pai, que sempre apoiou meus estudos.

Agradeço a Universidade Estadual de Londrina (UEL) por toda estrutura fornecida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Marczuk, Nair Fernanda Felicio. **Fenologia e atributos funcionais de folíolos de *Guarea kunthiana* A. Juss. em fragmentos de floresta estacional semidecidual e em reflorestamentos adjacentes no norte do Paraná, sul do Brasil.** 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado) em Ciências Biológicas – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO GERAL

As plantas respondem às variações das condições do ambiente, sendo que a folha é o órgão que mais apresenta plasticidade. Visando compreender as respostas de *Guarea kunthiana* A. Juss (Meliaceae) à diferenças abióticas e estruturais, este estudo avaliou a fenologia e os atributos funcionais de folíolos em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual e em reflorestamentos adjacentes no norte do Paraná, sul do Brasil. O clima da região é do tipo Cfa, com verões quentes e chuvosos e invernos amenos, não apresentando uma estação seca marcante, embora possam ser definidas duas estações: uma úmida e quente de outubro a março; e outra mais seca e fria, de abril a setembro. As observações fenológicas foram realizadas mensalmente, de setembro de 2018 a agosto de 2019, em 45 indivíduos distribuídos nos fragmentos florestais e 41 indivíduos nos reflorestamentos. As fenofases observadas foram: abscisão foliar; brotamento foliar; botões florais; antese; frutos imaturos e frutos maduros. Para a análise fenológica, foram elaborados fenogramas com as porcentagens de indivíduos (índice de atividade) e de intensidade (percentual de intensidade de Fournier) mensais, para cada fenofase e para cada fragmento florestal e reflorestamento. Adicionalmente, foi utilizada a estatística circular e o teste de Rayleigh (Z) para testar a sazonalidade de cada fenofase. Para testar a influência do ambiente (fragmento florestal vs. reflorestamento) sobre os atributos foliolares (área foliolar específica, suculência, massa seca por unidade de área, conteúdo relativo de água, índice de esclerofilia e densidade), quatro folíolos totalmente expandidos foram coletados, a cada estação, na porção mediana da copa de cinco indivíduos de *G. kunthiana*, selecionados aleatoriamente em cada área, totalizando 20 folíolos por área. Para a análise, foram aplicados Modelos Lineares Mistos Generalizados (GLMM) com distribuição gama, utilizando o software R v. 3.6.1. A abscisão e o brotamento foliar ocorreram anteriormente nos reflorestamentos em comparação aos fragmentos florestais. Ambas as fenofases vegetativas foram sazonais e apresentaram maiores picos de atividade e de intensidade nos reflorestamentos. As fenofases reprodutivas foram mais prolongadas e apresentaram maiores picos de atividade e de intensidade nos fragmentos florestais, no entanto, sempre com pequenos valores. A diferença no período de ocorrência das fenofases, provavelmente, está associada aos fatores abióticos e estruturais que diferem entre os ambientes, tais como, maior exposição à luz devido a menor complexidade do dossel; maior espaçamento entre os indivíduos arbóreos; maior ação dos ventos e conseqüentemente diminuição da umidade relativa do ar nos reflorestamentos. Todos os atributos foliolares avaliados demonstraram ser influenciados pelo tipo de ambiente em que a espécie se encontra, sendo constatados maiores valores de SUC, MFA, IE, DEN e menores valores de AFE e CRA nos reflorestamentos em comparação aos fragmentos florestais. Os resultados indicaram à

existência de plasticidade em *Guarea kunthiana*, refletindo adaptações a diferentes condições ambientais, presentes em fragmentos de floresta estacional semidecidual e em reflorestamentos adjacentes, corroborando a hipótese de que, nos reflorestamentos a espécie apresenta atributos foliares indicativos de maior exposição à luz, maiores taxas de brotamento foliar e de abscisão, comparados aos indivíduos dos fragmentos florestais.

Palavras-chave: Área foliar específica; Brotamento foliar; Deciduidade; Fatores abióticos; Meliaceae; Plasticidade fenotípica; Suculência foliar.

Marczuk, Nair Fernanda Felicio. **Phenology and functional attributes of leaflets of *Guarea kunthiana* A. Juss. in seasonal semi-deciduous forests remnants and in adjacent reforestations in northern Paraná, southern Brazil.** 2020. 99sf. Dissertation (Master in Biological Sciences) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

GENERAL ABSTRACT

Plants respond to variations in environmental conditions, with the leaf being the organ that has more plasticity. In order to understand the responses of *Guarea kunthiana* A. Juss (Meliaceae) to abiotic and structural differences, this study evaluated the phenology and functional attributes of leaflets in four fragments of semi-deciduous seasonal forest and in adjacent reforestation areas in northern Paraná, southern Brazil. The climate in this region is Cfa type, with hot rainy summers and mild winters, without presenting a considerable dry season, although two of which can be defined: a hot humid one from October to March; and a drier and colder one, from April to September. Phenological observations were made monthly from September 2018 to August 2019 among 45 individuals distributed in forest fragments and 41 individuals distributed in reforestation areas. The observed phenophases were: leaf abscission, leaf flushing, flower buds, anthesis, immature and ripe fruits. For phenological analysis, phenograms were made with the percentages of individuals (activity index) and intensity index (percentage of Fournier intensity) monthly, for each phenophase and for each forest fragment and reforested area. Additionally, circular statistics and the Rayleigh test (Z) were used to test the seasonality of each phenophase. To test the influence the type of environment (forest fragment vs. reforestation) can have on the leaflet attributes (specific leaflet area, succulence, dry mass per unit area, relative water content, sclerophylly index and density), we collected four fully expanded leaflets, in each season, in the median portion of the crown of five individuals of *G. kunthiana* randomly selected in each area, amounting to 20 leaflets per area. For the analysis, Generalized Linear Mixed Model (GLMM) were applied with gamma distribution employing R v. 3.6.1 software. Abscission and leaf sprouting occurred previously in reforestation compared to forest fragments. Both vegetative phenophases were seasonal and had the highest levels of activity and intensity in the reforestation areas. The reproductive phenophases were longer and showed higher peaks of activity and intensity in the forest fragments, but nevertheless, always with small values. The difference in the period of occurrence of the phenophases, is probably associated with abiotic and structural factors that differ between forest fragments and reforestation, such as greater exposure to light due to less complexity of the canopy, wider spacing between plant individuals, greater action of the winds and consequently a decrease in the relative humidity of the air in the reforestation areas. All the foliar attributes evaluated demonstrated to be influenced by the type of environment in which the species is found, with higher values of SUC, MFA, IE, DEN and lower values of AFE and CRA in reforestation areas compared to forest fragments. The results indicated the existence of plasticity in *Guarea kunthiana*, reflecting adaptations to different environmental conditions present in fragments of semi-deciduous seasonal forest and in adjacent reforested areas, corroborating the hypothesis that,

in reforestation, the species presents leaf attributes indicative of greater exposure to light, higher rates of leaf sprouting and abscission in comparison to individuals from forest fragments.

Key words: Abiotic factors; Deciduity; Leaf flushing; Leaf succulence; Meliaceae; Phenotypic plasticity; Specific leaf area.

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1. Indivíduo de *Guarea kunthiana* no reflorestamento da Fazenda Congonhas, Rancho Alegre, norte do Paraná, sul do Brasil. Fonte: da autora..... 21
- Figura 2. Folha composta pinada (A) e folíolos (B, C) de *Guarea kunthiana*. B - Face adaxial; C - Face abaxial. Fonte: da autora..... 22
- Figura 3. Gema apical de folha(A) e brotamento foliar (B) de *Guarea kunthiana*. A seta indica a gema apical da folha. Fonte: da autora 22
- Figura 4. Inflorescências axilares em ramos com folhas de *Guarea kunthiana*. Fonte: da autora..... 23
- Figura 5. Frutos (seta) de *Guarea kunthiana*. Fonte: da autora 24
- Figura 6. Localização dos fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes na região norte do Paraná, sul do Brasil. (A) Fragmento e reflorestamento da fazenda Congonhas, Rancho Alegre, PR; (B) Fragmento e reflorestamento da fazenda Santo Antonio, Sertaneja, PR; (C) Fragmento e reflorestamento da Matas do Cici, Alvorada do Sul, PR; (D) Fragmento e reflorestamento do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Fonte: Modificado de Maxar Technologies e do Google Earths. 25
- Figura 8. Reflorestamento da Fazenda Congonhas, Rancho Alegre, norte do Paraná, sul do Brasil, com indivíduo de *Guarea kunthiana* ao centro (seta). Fonte: da autora. 28

CAPÍTULO I

- Figura 1. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase abscisão foliar de *Guarea kunthiana*, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D), no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy. 47
- Figura 2. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase abscisão foliar, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de *Guarea kunthiana* amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ). 48
- Figura 3. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase brotamento foliar de *Guarea kunthiana*, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019 em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D), no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy. 49
- Figura 4. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase brotamento foliar, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de *Guarea kunthiana* amostradas em fragmentos de florestas estacional

semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B) no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).	50
Figura 5. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase botões florais de <i>Guarea kunthiana</i> , no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D) no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.	52
Figura 6. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase botões florais, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de <i>Guarea kunthiana</i> amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).	53
Figura 7. Porcentagens de indivíduos (A, C) e intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase antese de <i>Guarea kunthiana</i> , no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D) no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.	54
Figura 8. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase antese floral, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de <i>Guarea kunthiana</i> amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).	55
Figura 9. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase frutos imaturos de <i>Guarea kunthiana</i> no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D), no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.	56
Figura 10. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para fenofase frutos imaturos, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de <i>Guarea kunthiana</i> amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).	57
Figura 11. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para os frutos maduros de <i>Guarea kunthiana</i> registrados de setembro de 2018 a agosto de 2019 em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D) no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.	58
Figura 12. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase frutos maduros, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de <i>Guarea kunthiana</i> amostradas em fragmentos de florestas estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).	59
Figura 13. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) sobre a área foliolar específica (AFE) de <i>Guarea kunthiana</i> e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). A AFE foi menor em reflorestamentos do que em fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = -26,67; Std. error = 3,72; df = 15; t value = -7,16;	

p value < 0,001). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy. 62

Figura 14. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) na suculência (SUC) dos folíolos de *Guarea kunthiana* e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). A SUC foi maior em reflorestamentos do que em fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = 2,1; Std. error = 0,3908; df = 15; t value = 5,585; p value < 0,0001). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy. 63

Figura 16. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) no conteúdo relativo de água (CRA) nos folíolos de *Guarea kunthiana* e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). O CRA foi menor em reflorestamentos do que em fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = - 2,358; Std. error = 0,8657; df = 15, t value = - 2,723; p value = 0,0157). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy. 66

Figura 17. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) no índice de esclerofilia (IE) dos folíolos de *Guarea kunthiana* e dos efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). O IE foi maior em reflorestamento do que no fragmento florestal (glmmPQL: estimate = 0,066; Std. error = 0,12; df = 15; t value = 5,10; p value = 0,0001). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação proveniente dos indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy. 67

Figura 18. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) na densidade (DEN) foliolar de *Guarea kunthiana* e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). A DEN não diferiu entre reflorestamentos e fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = 1,83; Std. error = 0,61; df = 15; t value = 2,99; p value = 0,009). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação proveniente entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy. 68

LISTA DE TABELAS

INTRODUÇÃO GERAL

- Tabela 1. Área, localização e caracterização dos fragmentos de floresta estacional semidecidual estudados no norte do Paraná, sul do Brasil. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy; RL = Reserva legal; RPPN = Reserva Particular do Patrimônio Natural; UC = Unidade de conservação; m.s.n.m = Metros sobre o nível do mar. 27
- Tabela 2. Caracterização das áreas de reflorestamento estudadas, adjacentes aos fragmentos de floresta estacional semidecidual, norte do Paraná, sul do Brasil, descritos na tabela 1. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy. 27

CAPÍTULO I

- Tabela 1. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase abscisão foliar em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes no norte do Paraná, sul do Brasil. 48
- Tabela 2. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase brotamento foliar em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes no norte do Paraná, sul do Brasil. 50
- Tabela 3. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase botões florais em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil. 52
- Tabela 4. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase antese em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil. 54
- Tabela 5. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase frutos imaturos em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil. 57
- Tabela 6. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase frutos maduros em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil. 59

APÊNDICES

- Tabela 1. Altura, circunferência à altura do peito (CAP) e diâmetro à altura do peito (DAP) no fragmento florestal e reflorestamento da Fazenda Congonhas, Rancho Alegre, norte do Paraná, sul do Brasil. CAP = circunferência à altura do peito; DAP = diâmetro à altura do peito. 88
- Tabela 2. Altura, circunferência à altura do peito (CAP) e diâmetro à altura do peito (DAP) no fragmento florestal e reflorestamento da Fazenda Santo Antônio, Sertaneja, norte do Paraná, sul do Brasil. CAP = circunferência à altura do peito; DAP = diâmetro à altura do peito. 89

Tabela 3. Altura, circunferência à altura do peito (CAP) e diâmetro à altura do peito (DAP) no fragmento florestal e reflorestamento Matas do Cici, Alvorada do Sul, norte do Paraná, sul do Brasil. CAP = circunferência à altura do peito; DAP = diâmetro à altura do peito. 90

Tabela 4. Altura, circunferência à altura do peito (CAP) e diâmetro à altura do peito (DAP) no fragmento florestal e reflorestamento do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, norte do Paraná, sul do Brasil. CAP = circunferência à altura do peito; DAP = diâmetro à altura do peito. 91

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
<i>CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE</i>	<i>20</i>
<i>ÁREAS DE ESTUDO</i>	<i>24</i>
<i>Fragmentos florestais.....</i>	<i>26</i>
<i>Reflorestamentos</i>	<i>27</i>
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
CAPÍTULO I	36
RESUMO	37
ABSTRACT	37
INTRODUÇÃO	38
MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
<i>Análise dos dados.....</i>	<i>45</i>
RESULTADOS.....	46
<i>Fenologia</i>	<i>46</i>
<i>Ciclo de vida foliar e foliolar.....</i>	<i>59</i>
<i>Atributos foliulares.....</i>	<i>60</i>
DISCUSSÃO.....	67
CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICES.....	87

INTRODUÇÃO GERAL

A fenologia tem sido utilizada como ferramenta para entender as respostas das plantas às condições climáticas e edáficas do ambiente (Fournier 1974). Estudos fenológicos contribuem para o entendimento da regeneração e reprodução das plantas, da organização temporal dos recursos dentro das comunidades e da evolução da história de vida dos animais, que dependem de plantas, desempenhando o papel como herbívoros, polinizadores e dispersores (Morellato & Leitão-Filho 1992; 1996).

As fenofases brotamento e abscisão das folhas estão intimamente relacionadas com os processos de crescimento, estado hídrico e trocas gasosas na planta (Reich 1995), enquanto as fenofases floração e frutificação são cruciais para o sucesso reprodutivo, uma vez que determinam a sincronia reprodutiva entre parceiros potenciais e polinizadores e dispersores (Augspurger 1983).

Estudos fenológicos têm comparado populações de locais com características ambientais diferentes (Frankie *et al.* 1974; Borchert 1980, Goulart *et al.* 2005, Bianchini *et al.* 2006, Rosa *et al.* 2013, Moraes *et al.* 2017). Esta abordagem auxilia no entendimento sobre a variabilidade fenológica como estratégia de sobrevivência em ambientes diferentes, e como fatores abióticos influenciam nos padrões fenológicos (Goulart *et al.* 2005).

Diferenças na intensidade e duração da produção de folhas foram constatadas em *Myrcia amazonica* DC., em floresta de galeria e em campo rupestre, na Chapada Diamantina (Moraes *et al.* 2017). Os autores verificaram maior intensidade e menor duração desta fenofase no campo rupestre, ocorrendo durante a transição da estação seca para estação chuvosa. Na floresta de galeria, a produção ocorreu do início ao final da estação chuvosa. O estudo demonstrou que a espécie estudada exibiu alta plasticidade funcional e estrutural

dentro do seu espectro de adaptação para o estabelecimento bem sucedido e crescimento em ambientes com diferentes níveis de disponibilidade de água e irradiação (Moraes *et al.* 2017).

O tempo de vida das folhas também é uma característica importante na história de vida das plantas, em relação ao seu crescimento e a resposta à disponibilidade de recursos e a fatores de estresse (Monk 1966; Coley *et al.* 1985), sendo uma característica importante para a sobrevivência das espécies em diferentes habitats (Lima 2005). Em florestas tropicais secas, cerca de 80% das espécies perdem suas folhas aos oito meses de idade, enquanto nas florestas tropicais úmidas aproximadamente 2/3 das espécies possuem longevidade foliar superior a 16 meses (Reich 1995).

Em estudo comparativo de espécies arbóreas em floresta úmida e floresta seca na Costa Rica, a produção de novas folhas, na floresta úmida, ocorreu durante a primeira estação seca; enquanto na floresta seca, ocorreu após o início das primeiras chuvas, na estação chuvosa. O período de acentuada queda das folhas correspondeu as condições relativamente xéricas da primeira longa estação seca em ambas as florestas (Frankie *et al.* 1974). Em *Erythrina poeppigiana* O. F Cook, a senescência foliar, durante a estação seca, foi promovida por déficits de água nas árvores (Borchert 1980). Com a queda das folhas, o estresse hídrico foi reduzido e o brotamento foliar ocorreu, mesmo sob seca contínua. As árvores grandes em locais secos sofreram déficit de água, passando por mudanças de folhas no início da estação seca, enquanto árvores menores em locais úmidos, as mudanças ocorreram até três meses depois (Borchert 1980).

Em floresta estacional semidecidual (FES) no Rio de Janeiro, *Paratecoma peroba* (Record) Kuhl. apresentou abscisão foliar entre meados e final da estação seca (Lins & Nascimento 2010). Os autores sugeriram que a disponibilidade de água no ambiente seria responsável pela abscisão foliar e que a intensidade desta fenofase seria determinada pela

severidade da estação seca. Os autores também constataram elevada taxa de brotamento foliar no início da estação chuvosa e ressaltaram a importância das primeiras chuvas, após a estação seca, como fator desencadeador do brotamento foliar.

O habitat pode afetar as estratégias fenológicas das plantas em relação aos padrões de floração e frutificação (Croat 1975). Padrões temporais fenológicos de 1732 indivíduos em cinco habitats de floresta tropical, na Bolívia, revelaram variações sazonais nas flores, frutos imaturos e abundância de frutos maduros (Wallace & Painter 2002). Os amplos padrões temporais foram significativamente diferentes entre os habitats. Já a variação sazonal da abundância geral de folhas foi marcante apenas para áreas de cerrado (Wallace & Painter 2002). Assim, a compreensão da fenologia de espécies distribuídas em habitats distintos pode ajudar a explicar padrões de distribuição dessas espécies, bem como a estrutura de toda a comunidade.

A fenologia da espécie dióica *Mauritia flexuosa* L. F. (Arecaceae) foi avaliada em dois habitats: floresta estacional semidecidual e ecótono de floresta/savana, ambos sem histórico de perturbação, em Roraima, norte da Amazônia brasileira (Rosa *et al.* 2013). Em ambos os habitats, a floração ocorreu no período de transição da estação úmida para a seca, sendo que o início e o término da floração não diferiram significativamente entre os habitats, durante o período avaliado. A maturação dos frutos ocorreu durante a estação chuvosa, sendo que a precipitação e o amadurecimento dos frutos foram positivamente correlacionados. Rosa *et al.* (2013) concluíram que a floração é sazonal e síncrona, não diferindo entre os habitats.

Alguns estudos fenológicos foram desenvolvidos em FES no estado do Paraná (Mikich & Silva 2001; Bianchini *et al.* 2006; Pereira *et al.* 2007; Perina *et al.* 2019). Em *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl. (Sapotaceae), a abscisão foliar ocorreu durante o período seco, enquanto o brotamento, floração e dispersão dos frutos

ocorreram no início do período úmido (Bianchini *et al.* 2006). A espécie apresentou alta sincronia entre os indivíduos para todas as fenofases, exceto para a frutificação. Os autores concluíram que o padrão fenológico estava relacionado com a estacionalidade climática da região (Bianchini *et al.* 2006). Em quatro remanescentes de FES na região centro-oeste do estado do Paraná, foi avaliada a fenologia reprodutiva de 204 espécies zoocóricas, sendo que 74% eram espécies arbóreas (Mikich & Silva 2001). Os autores observaram floração sazonal, com pico no início da estação úmida, e dispersão distribuída ao longo do ano nas espécies arbóreas.

No norte do Paraná, *Ficus citrifolia* Mill. apresentou padrão vegetativo sazonal associado à sazonalidade climática da região (Pereira *et al.* 2007). Porém, as fenofases floração e frutificação apresentaram baixa sazonalidade, ocorrendo ao longo do ano, sugerindo a presença de outros fatores reguladores deste padrão, tais como a especificidade do polinizador (Pereira *et al.* 2007). Na FES do Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), a fenologia de 60 espécies arbóreas foi avaliada durante o período de três anos (Perina *et al.* 2019). A queda das folhas ocorreu predominantemente na estação seca, enquanto o brotamento foliar e a floração ocorreram no final da estação seca e no início da estação chuvosa. Os frutos maduros foram observados ao longo do ano. Para as fenofases analisadas, a porcentagem de espécies não diferiu entre os anos de estudo. A comunidade arbórea apresentou, no geral, padrões fenológicos poucos sazonais, sugerindo que pequenas variações interanuais na precipitação e temperatura não são relevantes para a fenologia das espécies arbóreas estudadas (Perina *et al.* 2019).

A fenologia de *Ficus adhatodifolia* Schott ex Spreng. e de *F. eximia* Schott foi analisada em remanescente de FES no norte do Paraná (Bianchini *et al.* 2015). Picos sazonais foram registrados para a abscisão e o brotamento foliar, para *F. eximia*; e brotamento foliar, para *F. adhatodifolia*. Os autores observaram que apesar da sazonalidade ambiental, houve

baixa variação sazonal na fenologia das duas espécies, especialmente na fenologia reprodutiva.

O desempenho das plantas difere de acordo com o ajustamento funcional em resposta às condições do ambiente (Webb *et al.* 2010), sendo a folha o órgão que mais responde às alterações ambientais (plasticidade), o que pode favorecer a economia de água, o desempenho fotossintético e o crescimento e sobrevivência em condições de estresse (Chaves *et al.* 2003). Em florestas sazonalmente secas, por exemplo, plântulas e juvenis de espécies lenhosas diferem em relação aos ajustes funcionais (Araujo *et al.* 2019). Modificações nas estruturas foliares ocorrem durante o desenvolvimento das folhas em resposta à variação na disponibilidade de água, nutrientes, intensidade luminosa e herbivoria (Prior *et al.* 2003). No entanto, características foliares devem ser consideradas como uma defesa tardia, isto é, só estão plenamente desenvolvidas nas folhas completamente expandidas (Rosado & Mattos 2007).

Atributos foliares têm sido considerados bons descritores das respostas ecofisiológicas de espécies vegetais frente à sazonalidade. Estas características estão intimamente relacionadas com a fisiologia e distribuição das espécies, sendo parte das respostas ecológicas exibidas pelas espécies em uma dada comunidade (Villar & Merino 2001; Carvalho *et al.* 2007; Rosado & Mattos 2007; Falcão *et al.* 2017; Johnson *et al.* 2018), determinando a capacidade competitiva e de convivência (Begon & Wall 1987), a capacidade de invasão (Richards *et al.* 2006) e, o funcionamento da comunidade tais como, dinâmica de nutrientes, resistência a perturbação e produtividade. Ordenar espécies em relação a um contínuo de variação de atributos foliares pode ser útil para inferir a suscetibilidade de recursos ou condições que ocorrem em diferentes escalas temporais (Garnier *et al.* 2001).

Plantas apresentam plasticidade fenotípica para processos relacionados à perda de água, como o incremento em suculência e a esclerofilia (Mantovani 1999). A menor disponibilidade hídrica no ambiente induz as espécies vegetais a apresentarem folhas mais espessas e coriáceas (Turner 1994; Fonseca *et al.* 2000) e maior concentração de nitrogênio por unidade de área foliar (Wright *et al.* 2001). Em média, espécies perenes em habitats secos e pobres em nutrientes, tendem a apresentar folhas mais espessas e mais resistentes (mais esclerófilas) do que aquelas que ocorrem em habitats com maior disponibilidade hídrica e nutrientes (Fonseca *et al.* 2000). Muitas plantas que crescem em habitats de alta irradiação também compartilham essas características (Ninemets 2001).

Em ambientes de alta luminosidade e escassez de água, espécies lenhosas tendem a aumentar o teor de água armazenada nas folhas e minimizar a sua utilização a fim de conservá-la (Chaves *et al.* 2003; Paz *et al.* 2015). Folhas menores apresentam maior eficiência no uso da água e de controle da temperatura, especialmente, sob alta radiação solar e baixa disponibilidade hídrica (Bastias *et al.* 2017). Em condições de estresse hídrico, frequentemente, são registrados valores baixos de área foliar específica (Chapin 1991), o que indica maior eficiência no uso da água (Wright *et al.* 2001). Vários fatores, tais como variações de precipitação inter-anuais, diferenças de idade e de estado de conservação das florestas podem gerar ajustes na folha, uma vez que estes ajustes são estimulados pela redução na disponibilidade de água (Falcão *et al.* 2015) e aumento da intensidade luminosa (Nobel *et al.* 1975; Givnish 1988; Marques *et al.* 2000; Lima *et al.* 2010).

Myrcia amazonia DC. ocorre em floresta de galeria e em campo rupestre, na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil, habitats com condições de irradiação e umidade contrastantes. A espécie apresentou maiores valores de suculência no campo rupestre, refletindo o armazenamento de água em suas folhas. Esta característica está associada à maior capacidade de estocagem de água quando os indivíduos estão se desenvolvendo no habitat com menor

disponibilidade hídrica (Moraes *et al.* 2017). Valores mais elevados de massa seca de folha por unidade de área (MFA), suculência (SUC), espessura (ESP) e densidade (DEN) nos meses mais secos do ano, foram constatados em dez espécies lenhosas do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Rio de Janeiro. O aumento dos valores dos atributos foliares na estação seca define o tipo de resposta à heterogeneidade temporal na disponibilidade de água (Rosado & Mattos 2007).

Plantas que investem em maior área foliar específica aumentam a eficiência de captura de luz, mas são mais vulneráveis à altas temperaturas, à seca, à limitação de nutrientes e à herbivoria (Westoby 1998). Por outro lado, o tamanho da folha está mais relacionado com a condutividade térmica da folha. Folhas menores ajudam a manter a temperatura e um maior controle hídrico, especialmente sob alta radiação solar e condições de baixa disponibilidade de água (Miller & Stoner 1979). Os folíolos de *Tapirira guianensis* Aubl. foram avaliados em indivíduos jovens no sub-bosque e em indivíduos adultos no dossel (Boeger *et al.* 1998). Os indivíduos adultos apresentaram folhas com menor área foliar e maior espessura em relação às classes etárias mais jovens. Os autores concluíram que fatores ambientais como luz, temperatura e umidade promoveram as diferentes respostas, em razão das diferenças ambientais entre sub-bosque e dossel (Boeger *et al.* 1998).

Atributos foliares de plântulas e juvenis de *Myracrodruon urundeuva* Allemão e *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnom & G. P. Lewis foram avaliados em floresta jovem (24 anos) e floresta madura (> 55 anos) (Araujo *et al.* 2019). Foram analisadas as relações dos atributos foliares (área foliar específica, massa foliar específica, teor de água na folha e número médio de folhas) com a taxa de crescimento da planta e com o tempo de sobrevivência. A maioria dos atributos foliares e as taxas de crescimento e de sobrevivência apresentaram valores mais elevados na floresta jovem, além de maior relação entre os atributos foliares e o tempo de sobrevivência, de acordo com a espécie e estágio ontogenético.

Os autores concluíram que ajustes foliares em resposta à redução da disponibilidade de recursos ambientais, podem refletir no desenvolvimento das espécies vegetais (Araujo *et al.* 2019).

Populações de plantas estabelecidas em ambientes com alta irradiação solar têm folhas mais espessas e com maiores taxas de trocas gasosas (Naramoto *et al.* 2006; Rossatto 2013; Vieira *et al.* 2015; Vitória *et al.* 2016). No entanto, em locais com alta irradiação e baixa disponibilidade de água, espécies podem promover o fechamento dos estômatos e a cessação da fotossíntese (Boyer 1976). Diversos estudos compararam atributos foliares sob diferentes intensidades de luminosidade, evidenciando as modificações na estrutura das folhas, tais como densidade estomática, espessura da cutícula, pubescência, entre outras (Asthon & Berlyn 1992; Sims & Pearcy 1992; Boeger & Wisniewski 2003). Os efeitos da disponibilidade de luz na morfologia e alocação de biomassa foram avaliados em mudas de *Pinus pinaster* Ait. (Rodríguez-García & Bravo 2013), usando gradientes de luz (luz solar completa = $337,1 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$; luz média = $120,6 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ e pouca luz = $30 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$). Os autores concluíram que a disponibilidade de luz foi um fator importante no controle da plasticidade fenotípica, observando que os efeitos do nitrogênio na plasticidade da espécie dependiam da disponibilidade de luz (Rodríguez-García & Bravo 2013).

Principal tipo florestal do norte do Paraná, a FES apresenta variações fisionômicas nas diferentes regiões em que está presente no Brasil. Sua área de ocorrência apresenta clima com duas estações definidas, uma chuvosa e outra seca, em latitudes menores, ou então, uma acentuada variação térmica, especialmente em latitudes maiores que 24°S . O sul do Brasil apresenta clima subtropical com um período de acentuada diminuição térmica ($\pm 15^\circ\text{C}$), sem período de seca pronunciado (Veloso *et al.* 1991). A região de Londrina apresenta o clima do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, com verões quentes e chuvosos e invernos amenos (IAPAR 2019).

Devido à grande expansão agropecuária ocorrida a partir do século 20, houve considerável diminuição da FES no sul e sudeste do Brasil, que se encontra limitada a fragmentos florestais de diferentes tamanhos, distribuídos irregularmente e envoltos por uma matriz agrícola (Medri *et al.* 2002). No Paraná, a FES ocorre no oeste, noroeste e norte do estado. Atualmente, estima-se que exista menos de 5% da área total originalmente ocupada por este tipo de floresta no Estado (SOS Mata Atlântica/INPE/ISA 1998). Os reflorestamentos têm sido uma forma de mitigar a devastação que ocorreu no passado, promovendo a redução das áreas degradadas e a recuperação de ecossistemas. Com o tempo, haverá o aumento da complexidade da vegetação, promovendo mudanças nas condições microclimáticas e o desenvolvimento das camadas de serapilheira e húmus (Parrota *et al.* 1997).

Fragmentos florestais e reflorestamentos são habitats com fatores abióticos contrastantes. Os fragmentos florestais apresentam dosséis mais densos e fechados, o que reduz a incidência de luz no interior do fragmento (Suganuma *et al.* 2008; Ferracin *et al.* 2010). Em contrapartida, os reflorestamentos apresentam dosséis menos densos e complexos, facilitando a entrada de luz, submetendo as plantas à maior luminosidade (Suganuma *et al.* 2008; Ferracin *et al.* 2010). O adensamento das plantas também é uma característica que difere entrefragmentos florestais e reflorestamentos, pois o maior espaçamento entre os indivíduos no reflorestamento propicia maior incidência de luz e maior ação dos ventos, resultando em menor umidade relativa do ar. Estas variações podem resultar em maiores taxas de transpiração (ver Bianchini *et al.* 2001), o que pode afetar o balanço hídrico das plantas.

Em estudo realizado na região norte do estado do Paraná, sul do Brasil, margem do rio Tibagi, município de Rancho Alegre, a cobertura do dossel em fragmento florestal (média de 96%) foi maior que a observada em reflorestamento adjacente (média de 86%) e a radiação fotossinteticamente ativa foi menor no fragmento florestal, tanto no inverno (0,62%) quanto no verão (0,44%), quando comparado ao reflorestamento (9,4% e 7,22%, respectivamente)

(Cury 2009). No verão, a temperatura do ar foi maior no reflorestamento, chegando até 5,75°C de diferença em relação ao fragmento florestal. No inverno, as mínimas ficaram em média 2°C menores no reflorestamento. A umidade relativa do ar foi maior no fragmento florestal em ambas as estações e a umidade do solo no reflorestamento foi menor (13,8%) do que no fragmento florestal (15,9%) (Cury 2009).

A produção anual estimada de serapilheira em fragmento florestal foi de 8.212 kg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto que a produção em reflorestamento adjacente foi de 5.341 kg ha⁻¹ ano⁻¹. O fragmento atingiu seus valores máximos de deposição de biomassa no fim do período seco, enquanto o reflorestamento não apresentou características sazonais na deposição (Pimenta *et al.* 2011). Os autores também observaram maiores taxas instantâneas de decomposição no fragmento, concluindo que, em razão das condições edáficas e atmosféricas do mesmo, este apresentaria eficiente deposição e decomposição de serapilheira. Já a menor decomposição no reflorestamento foi relacionada à maior luminosidade e a menor umidade relativa, em razão da maior abertura do dossel (Pimenta *et al.* 2011).

O presente estudo avaliou a fenologia e os atributos funcionais dos folíolos de *Guarea kunthiana* A. Juss (Meliaceae) em fragmentos florestais e reflorestamentos de FES. Foram levantadas as seguintes questões: os indivíduos do reflorestamento apresentam ciclo de vida foliar mais curto, maiores intensidades de brotamento e de abscisão foliar, em comparação aos indivíduos dos fragmentos florestais? Os indivíduos do reflorestamento apresentam atributos foliares indicativos de maior exposição à luz em comparação aos indivíduos dos fragmentos florestais?

Este estudo auxiliará na compreensão da adaptação da espécie em ambientes diferentes, sendo estas informações necessárias para a conservação e manejo da mesma. A análise dos dados contribuirá para o entendimento de como as espécies vegetais se estabelecem em habitats com fatores ambientais e disponibilidades de recursos distintas. Tais

informações contribuirão para a avaliação do funcionamento das comunidades que estão sendo restauradas, ou seja, o quanto elas se aproximam do seu ecossistema de referência, determinando assim a similaridade de aspectos estruturais e atributos funcionais entre áreas restauradas e fragmentos naturais.

CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

A família Meliaceae possui aproximadamente 50 gêneros e cerca de 550 espécies distribuídas em todo mundo, embora com maior riqueza na região pantropical. Suas espécies ocorrem em diversos habitats, desde florestas úmidas até ambientes semiáridos. No Brasil, são encontradas 84 espécies distribuídas em sete gêneros: *Cabrlea* A. Juss., *Carapa* Aubl., *Cedrela* P. Browne, *Guarea* F. Allam. ex L., *Melia* L. (subspontâneo), *Swietenia* Jacq. e *Trichilia* P. Browne (Flores *et al.* 2017), sendo os gêneros *Trichilia* (46 espécies) e *Guarea* (32 espécies) os mais representativos (Fernandes-Junior *et al.* 2017). O gênero *Guarea* é separado dos outros gêneros devido a diferenças morfo-anatômicas, especialmente, a combinação das folhas pinadas quase sempre com uma gema terminal que mostra períodos de crescimento entre períodos de dormência (Pennington & Clarkson 2013).

Guarea kunthiana A. Juss (Fig. 1) é uma espécie arbórea, popularmente, conhecida como figo-do-mato, peloteira, canjambo, mancore, jatuauba (Lorenzi 2009) e marinheiro. Ocorre em todo território nacional, em quase todas as formações florestais, em altitudes de até 2000 m. Ocorre, também, em outros países e na América do Sul e América Central (Lorenzi 2009).



Figura 1. Indivíduo de *Guarea kunthiana* no reflorestamento da Fazenda Congonhas, Rancho Alegre, norte do Paraná, sul do Brasil. Fonte: da autora

A espécie é perenifólia, esciófita e seletiva higrófito (Souza *et al.* 2002). Seus indivíduos medem até 23 m de altura, dotados de copa oval e tronco cilíndrico, que pode atingir até 70 cm de diâmetro em indivíduos adultos (Lorenzi 2009). Possui casca rugosa cinzento-marrom, lisa em plantas jovens, mas tornando-se escamosa em exemplares mais velhos (Klein 1984). As folhas são compostas pinadas (Fig. 2A), com pecíolo semicilíndrico, pubérulo ou pubescente, raque canaliculada, esparsamente a denso pubescente (Fig. 2A). Apresenta de 2 a 10 folíolos, alternos a opostos (Fig. 2A), peciólulo curto, lâmina largo elíptica a lanceolada, ápice agudo, base atenuada (Fig. 2B), face adaxial glabra, face abaxial glabra, esparsamente pubérula ou densamente pubescente, nervura principal proeminente na face abaxial (Fig. 2C) e, impressas na face adaxial, nervuras secundárias proeminentes na face abaxial e impressas na face adaxial (Flores *et al.* 2017).

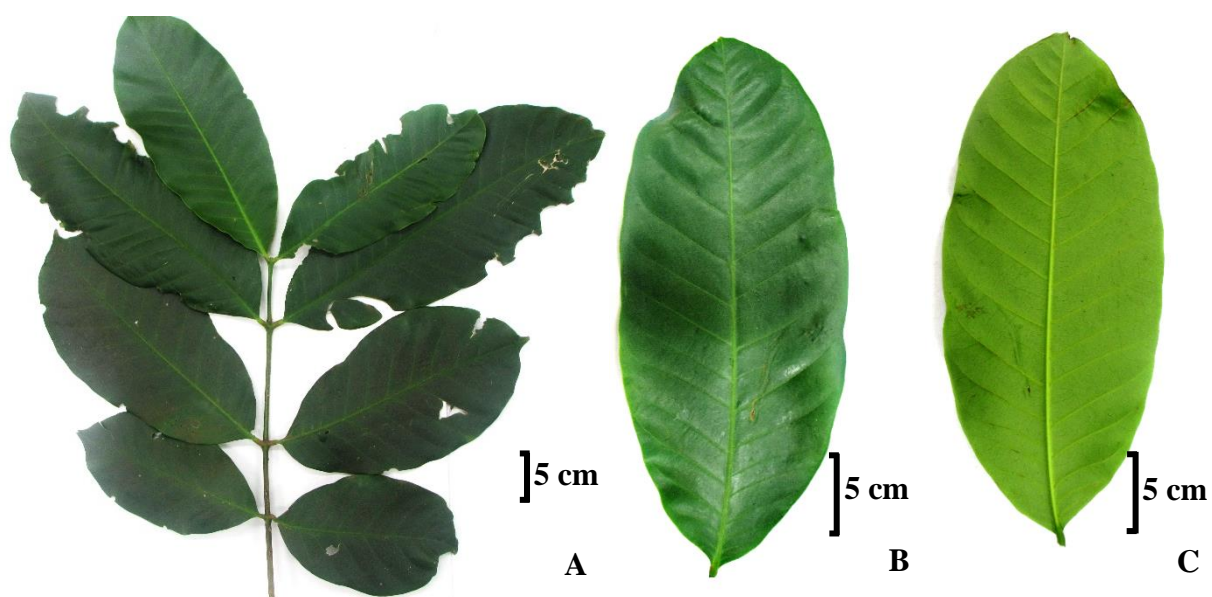


Figura 2. Folha composta pinada (A) e folíolos (B, C) de *Guarea kunthiana*. B - Face adaxial; C - Face abaxial. Fonte: da autora

As folhas de *G. kunthiana* apresentam gema terminal que acrescentam periodicamente, novos folíolos aos já existentes (Fig. 3), apresentando assim, crescimento intermitente (Flores *et al.* 2017).

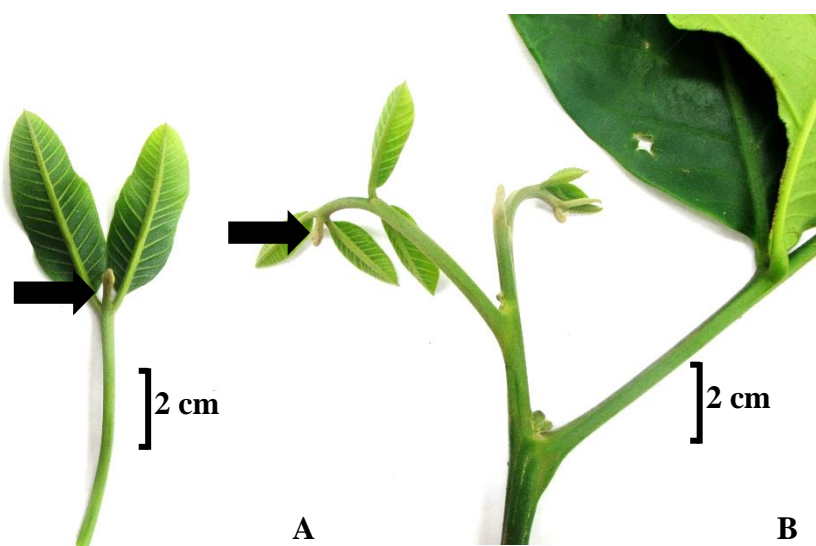


Figura 3. Gema apical de folha(A) e brotamento foliar (B) de *Guarea kunthiana*. A seta indica a gema apical da folha. Fonte: da autora

As flores da espécie são reunidas em inflorescências do tipo panícula (Fig. 4). Essas inflorescências são axilares, podendo ser observadas nos ramos com ou sem folhas. Os ramossecundários das panículas podem ser simples, bipartidos ou tripartidos. As inflorescências podem apresentar crescimento intermitente, que pode ser longo, chegando a durar vários meses. Nessa espécie é possível encontrar frutos maduros na base do eixo da inflorescência e flores abertas no ápice. As flores possuem cálice verde e corola rósea. As flores são actinomorfas, diclamídeas, hipóginas, unissexuadas, sendo os indivíduos unissexuais (espécie dióica). A floração ocorre de agosto a novembro, embora se observem espécimes com poucos botões e flores durante quase todo ano (Souza *et al.* 2002), podendo apresentar floração ainda quando pequena arvoreta (Klein 1984).



Figura 4. Inflorescências axilares em ramos com folhas de *Guarea kunthiana*. Fonte: da autora

O fruto (Fig. 5) é uma cápsula glabra, deiscente e com duas a quatro sementes ariladas, tendo o amadurecimento a partir de agosto (Lorenzi 2009). Há uma grande variação individual no tamanho e forma do fruto, alongando-se de acordo com o número de sementes que desenvolve (Klein 1984).



Figura 5. Frutos (seta) de *Guarea kunthiana*. Fonte: da autora

Guarea kunthiana é uma espécie recomendável para a composição de reflorestamentos heterogêneos destinados à recuperação de áreas degradadas, pois seus frutos são fonte de recursos para avifauna (Lorenzi 2009). No Paraná é uma das espécies indicadoras de terras férteis (Klein 1984).

ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi realizado em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual e em reflorestamentos adjacentes a estes fragmentos, no norte do Paraná, sul do Brasil. As áreas selecionadas foram: Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), no município de Londrina; fragmentos florestais da fazenda Congonhas, em Rancho Alegre e fazenda Santo Antonio, em Sertaneja; e a RPPN Matas do Cici, na fazenda Alvorada, em Alvorada do Sul (Fig. 6).

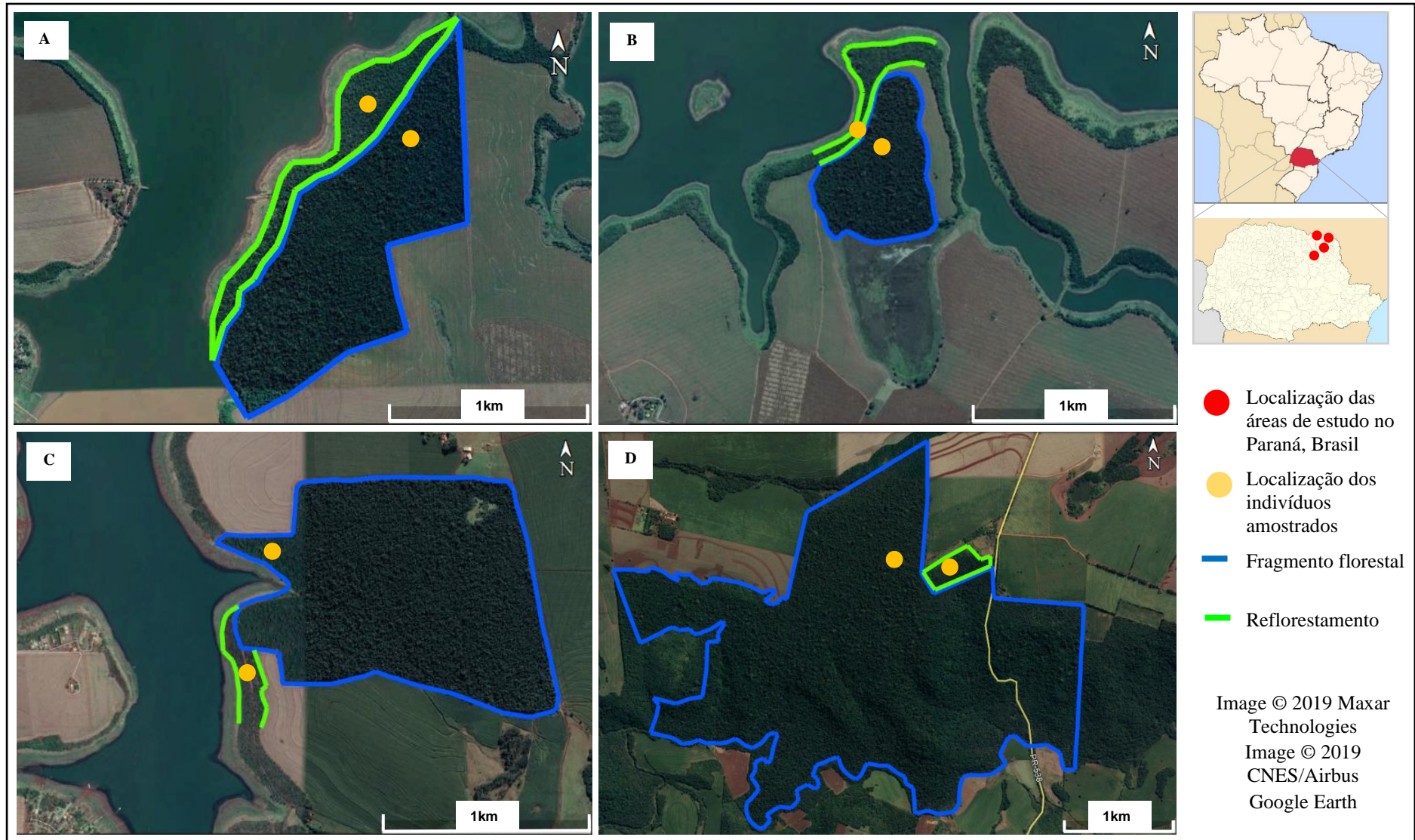


Figura 6. Localização dos fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes na região norte do Paraná, sul do Brasil. (A) Fragmento e reflorestamento da fazenda Congonhas, Rancho Alegre, PR; (B) Fragmento e reflorestamento da fazenda Santo Antonio, Sertaneja, PR; (C) Fragmento e reflorestamento da Matas do Cici, Alvorada do Sul, PR; (D) Fragmento e reflorestamento do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Fonte: Modificado de Maxar Technologies e do Google Earths.

A vegetação original do norte do Paraná é classificada como floresta estacional semidecidual submontana (Veloso *et al.* 1991). Os tipos de solos predominante são Latossolo Vermelho Escuro Eutroférico, Nitossolo Eutroférico e Neossolos Litólicos (Bhering *et al.* 2007). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa – clima subtropical úmido.

Fragmentos florestais

O PEMG é uma unidade de conservação (UC), criado em 1989, com área de 680 ha legalmente protegidos (Silveira 2006). Com o crescimento de capoeiras desde 1980, atualmente está conectado a outros fragmentos florestais, constituindo um fragmento maior, com cerca de 2800 ha (Vicente 2006). É considerado um dos remanescentes mais importantes do estado do Paraná, devido seu estado de conservação, sendo uma das últimas reservas naturais de florestas nativas desta região. Está circundado por áreas ocupadas por agricultura e agropecuária, sujeito a pressões antrópicas (Bianchini *et al.* 2003, 2006). É utilizado como ecossistema de referência para restauração de outras áreas e para recomposição de florestas ciliares (Vicente 2006).

Os fragmentos florestais das fazendas Alvorada, Congonhas e Santo Antonio (Tab. 1) são florestas secundárias, que sofreram ação antrópica ao longo do tempo, sendo atualmente, áreas de reserva legal, e consideradas também, como ecossistemas de referência para restauração ecológica na região do Norte do Paraná. Apresentam histórico de exploração madeireira, principalmente a extração de peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron* Mull. Arg) (Arcanjo 2017).

Tabela 1. Área, localização e caracterização dos fragmentos de floresta estacional semidecidual estudados no norte do Paraná, sul do Brasil. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy; RL = Reserva legal; RPPN = Reserva Particular do Patrimônio Natural; UC = Unidade de conservação; m.s.n.m = Metros sobre o nível do mar.

Fragmentos florestais	Área total (ha)	Município	Categoria	Altitude (m.s.n.m)	Coordenadas
PEMG	680	Londrina	UC	600	23°36'30.10"S 51°14'57.08"O
Matas do Cici	122	Alvorada do Sul	RPPN	340	22°49'01.12"S 51°11'35.23"O
Congonhas	108	Rancho Alegre	RL	350	22°59'54.75"S 50°56'29.90"O
Santo Antonio	32	Sertaneja	RL	350	22°56'23.28"S 50°57'04.51"O

Reflorestamentos

A área de reflorestamento do PEMG (Tab. 2) começou a ser implantado em 1990, quando mudas foram plantadas em um pasto abandonado, e o controle de gramíneas foi realizado até 1994. Atualmente o sub-bosque do reflorestamento é dominado, em muitos locais, pela gramínea invasora *Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W. L. Jacobs (Poaceae) (Fig. 7), conhecida por retardar a sucessão ecológica em áreas de restauração (Mantoani & Torezan 2016).

Tabela 2. Caracterização das áreas de reflorestamento estudadas, adjacentes aos fragmentos de floresta estacional semidecidual, norte do Paraná, sul do Brasil, descritos na tabela 1. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

Reflorestamento	Área total (ha)	Município	Idade (anos)	Altitude	Coordenadas
PEMG	40	Londrina	22	600	23°26'36.64"S 51°14'43.65"S
Alvorada	11	Alvorada do Sul	14	340	22°49'18.78"S 51°11'40.94"O
Congonhas	21	Rancho Alegre	16	350	22°59'49.11"S 50°56'37.10"O
Santo Antonio	15	Sertaneja	14	337	22°56'21.08"S 50°57'09.89"O



Figura 7. *Megathyrsus maximus*, espécie invasora no reflorestamento do Parque Estadual Mata dos Godoy, norte do Paraná, sul do Brasil. Fonte: da autora

Os reflorestamentos das fazendas Congonhas (Fig. 8), Alvorada e Santo Antonio (Tab. 2) estão localizados às margens do reservatório da usina hidrelétrica de Capivara (Fig. 6) e são adjacentes aos três fragmentos florestais descritos anteriormente; todos apresentam gramíneas invasoras (Arcanjo 2017).



Figura 8. Reflorestamento da Fazenda Congonhas, Rancho Alegre, norte do Paraná, sul do Brasil, com indivíduo de *Guarea kunthiana* ao centro (seta). Fonte: da autora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo VKR, Silva GB, Araújo EL, Pimentel EMM, Silva KA. 2019. Spatio-temporal variation in leaf morphofunctional attributes and relation to growth and survival of young woody plants. *Brazilian Journal of Botany* 42(1): 1-11.
- Arcanjo FA. 2017. Biomassa arbórea em sítios de restauração e remanescentes de Mata Atlântica do Sul do Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- Asthor PMS, Berlyn GP. 1992. Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. *New Phytologist* 121(4): 587-596.
- Augspurger CK. 1983. Phenology, flowering synchrony, and fruit set of six neotropical shrubs. *Biotropica* 15(4): 257-267. doi: 10.2307/2387650.
- Bastias CC, Fortunel F, Valladares F, *et al.* 2017. Intraspecific leaf trait variability along a boreal-to-tropical community diversity gradient. *Plos One* 12(2): e0172495.
- Begon M, Wall R. 1987. Individual variation and competitor coexistence: a model. *Functional Ecology* 1(3): 237-241.
- Bhering SB, Santos HG, Manzatto CV, *et al.* 2007. Mapa de solos do estado do Paraná. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 73 p.
- Bianchini E, Pimenta JA, Santos FAM. 2001. Spatial and temporal variation in the canopy cover in a tropical semi-deciduous forest. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 44(3): 269-276.
- Bianchini E, Pimenta JA, Santos FAM. 2006. Fenologia de *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl. (Sapotaceae) em floresta semidecídua do Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 29(4): 595-602.
- Bianchini E, Emmerick JM, Messetti AVL, Pimenta JA. 2015. Phenology of two *Ficus* species in seasonal semi-deciduous forest in Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 75(4): 206-214.
- Bianchini E, Popolo RS, Dias MC, Pimenta JA. 2003. Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, Sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 17(3): 405-419.
- Boeger MRT, Wisniewski C. 2003. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 26(1): 61-72.

- Boeger MR, Alves LC, Negrelle RRB. 1998. Variações morfo-anatômicas dos folíolos de *Tapirira guianensis* Aubl. em relação a diferentes estratos da floresta. *Biotemas* 11(2): 27-38.
- Borchert R. 1980. Phenology and ecophysiology of tropical trees: *Erythrina poeppigiana* O. F. Cook. *Ecology* 61(5): 1065-1074. doi:10.2307/1936825.
- Boyer J. 1976. Photosynthesis at low water potentials. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 273(927): 501-512.
- Carvalho APF, Bustamante MMC, Kozovits AR, Asner GP. 2007. Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies de cerrado com diferentes estratégias fenológicas. *Brazilian Journal of Botany* 30(1): 19-27.
- Chapin FS. 1991. Integrated responses of plants to stress: a centralized system of physiological responses. *BioScience* 41(1): 29-36.
- Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS. 2003. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* 30: 239-264.
- Coley PD, Bryant JP, Chapin FS. 1985. Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science* 230(4728): 895-899. doi: 10.1126/science.230.4728.895.
- Croat, TB. 1975. Phenological behavior of habit and habitat classes on Barro Colorado Island (Panama Canal zone). *Biotropica* 7(4): 270-277.
- Cury RTS. 2009. Limitações para a emergência e o estabelecimento de plântulas: remoção de sementes e microclima. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Londrina, Londrina PR.
- Falcão HM, Medeiros CD, Almeida-Cortez JS, Santos MG. 2017. Leaf construction cost is related to water availability in three species of different growth forms in a Brazilian tropical dry forest. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 29: 95-108. doi:10.1007/s40626-017-0087-9.
- Falcão HM, Medeiros CD, Silva BLR, Sampaio EVSB, Almeida-Cortez JS, Santos MG. 2015. Phenotypic plasticity and ecophysiological strategies in a tropical dry forest chronosequence: a study case with *Poincianella pyramidalis*. *Forest Ecology and Management* 340: 62-69. doi: 10.1016/j.foreco.2014.12.029.
- Fernandes-Júnior AJ, Nunes CS, Gil ASB. 2017. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Meliaceae. *Rodriguésia* 68 (3 special): 1035-1039. doi: 10.1590/2175-7860201768337
- Ferracin TP, Silva VT, Medri PS, Bianchini E, Pimenta JA, Torezan JMD. 2010. Comparação de parâmetros bióticos e abióticos entre fragmento de floresta secundária nativa e um reflorestamento de *Pinus taeda* L. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde* 31(2): 179-188.

Flores TB, Souza VC, Coelho, RLG. 2017. Flora do Espírito Santo: Meliaceae. *Rodriguésia* 68(5): 1693-1723. doi: 10.1590/2175-7860201768512.

Fournier LA 1974. Um método quantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba* 24: 422-423.

Fonseca CR, Overton JM, Collins B, Westoby M. 2000. Shifts in trait-combinations along rainfall and phosphorus gradients. *Journal of Ecology* 88(6): 964-977. doi: 10.1046/j.1365-2745.2000.00506.x.

Frankie GW, Baker HG, Opler PA. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 62(3): 881-919.

Garnier E, Laurent G, Bellman A; Debain S, Berthelie P, Ducout B, Roumet C, Navas ML. 2001. Consistency of species ranking based on functional leaf traits. *New Phytologist* 152(1): 69-83.

Givnish 1988. Adaptations to sun shade: a whole-plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* 15(2): 63-92.

Goulart MF, Lemos Filho JP, Lovato MB. 2005. Phenological variation within and among populations of *Plathymenia reticulata* in Brazilian Cerrado, the AtlanticForest and transitional sites. *Annals of Botany* 96(3): 445–455. doi:10.1093/aob/mci193.

Iapar (Instituto Agronomico do Paraná). 2019. Agrometeorologia. <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2603>. Acesso em: 25 de novembro de 2019.

Johnson DM, Berry ZC, Baker KV, Smith DD, McCulloh, Domec JC. 2018. Leaf hydraulic parameters are more plastic in species that experience a wider range of leaf water potentials. *Functional Ecology* 32(4): 894-903.

KleinRM. 1984. Meliáceas, I parte. In: Reitz, R. (ed.) *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues. p. 96-99.

Lima ALS. 2005. Relação entre longevidade foliar, nitrogênio e compostos secundários em folhas de leguminosas arbóreas. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Lima ALS, Zanella F, Castro LDM. 2010. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. *Acta Amazonica* 40(1): 43-48.

Lins BLA, Nascimento MT. 2010. Fenologia de *Paratecoma peroba* (Bignoniaceae) em uma floresta estacional semidecidual do norte fluminense, Brasil. *Rodriguésia* 61(3): 559-568.

- Lorenzi H. 2009. Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Vol 2, 3ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum.
- Marques AR, Garcia QS, Rezende JLP, Fernanda GW. 2000. Variations in leaf characteristics of two species of *Miconia* in the Brazilian cerrado under different light intensities. *Tropical Ecology* 41(1): 47-60.
- Mantoani MC, Torezan JMD. 2016. Regeneration response of Brazilian Atlantic Forest woody species to four years of *Megathyrus maximus* removal. *Forest Ecology and Management* 359: 141-146.
- Mantovani. 1999. Leaf morfo-physiology and distribution of epiphytic aroids along a vertical gradient in a Brazilian rain forest. *Selbyana* 20(2): 241-249.
- Medri ME, Bianchini E, Pimenta JA, Colli S, Müller C. 2002. Estudos sobre a tolerância ao alagamento em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. In: Medri ME; Bianchini E, Shibata AO, Pimenta JA. (eds.) A bacia do rio Tibagi. Londrina, Edição dos Editores. p.133-172.
- Mikich SB, Silva SM. 2001. Composição florística e fenologia das espécies zoocóricas de remanescentes de floresta estacional semidecidual no centro-oeste do Paraná. *Acta Botanica Brasilica* 15(1): 89-113.
- Miller PC, Stoner WA. 1979. Canopy structure and environmental interactions. In: Solbrig OT, Jain S, Johnson GB, Raven PH. (eds.) Topics in plant population biology. New York, Columbia University Press. p. 428-458.
- Monk CD. 1966. An ecological significance of ever-greenness. *Ecology* 47(3): 504-505. doi:10.2307/1932995.
- Moraes ACS, Vitoria AP, Rossato DR, Miranda LP, Fuch LS. 2017. Leaf phenology and morphofunctional variation in *Myrcia amazonica* DC. (Myrtaceae) in gallery forest and “campo rupestre” vegetation in the Chapada Diamantina, Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 40(2): 439-450.
- Morellato LPC, Leitão Filho HF. 1992. Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi. In: Morellato L.P.C. (coord.) História natural e preservação de uma área florestal no sudoeste do Brasil. Campinas, Editora da Unicamp. p. 111-140.
- Morellato LPC, Leitão Filho HF. 1996. Reproductive phenology of climbers in a Southeastern Brazilian Forest. *Biotropica* 28: 180-191.
- Naramoto M, Katahata S, Mukai Y, Karubari Y. 2006. Photosynthetic acclimation and photoinhibition on exposure to high light in shade-developed leaves of *Fagus crenata* seedlings. *Flora - Morphology Distribution Functional Ecology of Plants* 201(2):120-126. doi: 10.1016/j.flora.2005.04.008

- Niinemets U. 2001. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology* 82(2): 453-469.
- Nobel PS, Zaragoza LJ, Smith WK. 1975. Relation between mesophyll surface area, photosynthetic rate, and illumination level during development for leaves of *Plectranthus parviflorus* Henckel. *Plant Physiology* 55: 1067-1070.
- Parrota JA; Knowles OH; Wunderle Jr JM. 1997. Development of floristic diversity in 10-year-old restoration forest on a bauxite mined site in Amazônia. *Forest Ecology and Management* 99(1-2): 21-42.
- Paz H, Pineda-García F, Pinzón-Pérez LF. 2015. Root depth and morphology in response to soil drought: comparing ecological groups along the secondary succession in a tropical dry forest. *Oecologia* 179(2): 551-61. doi: 10.1007/s00442-015-3359-6.
- Pennington TDP, Clarkson JJ. 2013. A revision of *Guarea* (Meliaceae). *Edinburgh Journal of Botany* 70(2): 179–362. doi:10.1017/S0960428613000036.
- Pereira R, Augusto S, Rodrigues E, Menezes AO. 2007. Phenological patterns of *Ficus citrifolia* (Moraceae) in a seasonal humid-subtropical region in Southern Brazil. *Plant Ecology* 188: 265-275. doi: 10.1007/s11258-006-9161-0.
- Perina BB, Liboni AP, Montanher DR, Messetti AVL, Pimenta JA, Bianchini E. 2019. Phenology of the tree community in a seasonal forest in southern Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 42(1): 1-11. doi: 10.1007/s40415-019-00545-y.
- Pimenta JA, Rossi LB, Torezan JMD, Cavalheiro AL, Bianchini E. 2011. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 25(1): 53-57.
- Prior L, Eamus D, Bowman DMJS. 2003. Leaf attributes in the seasonally dry tropics: a comparison of four habitats in northern Australia. *Functional Ecology* 17(4): 504-515.
- Reich PB. 1995. Phenology of tropical forest: patterns, causes and consequences. *Canadian Journal of Botany* 73(2): 164-174.
- Richards CL, Bossdorf O, Muth NZ, Gurevitch J, Pigliucci M. 2006. Jack of all trades, master or some? On the role phenotypic plasticity in plant invasions. *Ecology Letters* 9(8): 981-993.
- Rodríguez-García E, Bravo F. 2013. Plasticity in *Pinus pinaster* populations of diverse origins: comparative seedling responses to light and nitrogen availability. *Forest Ecology and Management* 307: 196-205.
- Rosa RK, Reinaldo IB, Suzanne K. 2013. How do habitat and climate variation affect phenology of the Amazonian palm, *Mauritia flexuosa*? *Journal of Tropical Ecology* 29(3): 255-259. doi:10.1017/S0266467413000242.

- Rosado BH, Mattos EA. 2007. Variação temporal de características morfológicas de folhas em dez espécies do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 21(3): 741-752.
- Rossatto DR. 2013. Seasonal patterns of leaf production in co-occurring trees with contrasting leaf phenology: time and quantitative divergences. *Plant Species Biology* 28(2): 138-145. doi:1111/j.1442-1984.2012.00373.x.
- Sims DA, Pearcy RW. 1992. Response of leaf anatomy and photosynthetic capacity in *Alocasia macrorrhiza* (Araceae) to a transfer from low to high light. *American Journal of Botany* 79(4): 449-455.
- Silveira MA. 2006. Vegetação do Parque Estadual Mata dos Godoy. In: Torezan JMD. (org.) *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. Londrina, Itedes. p.19-27.
- SOS Mata Atlântica/INPE/ISA – Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Instituto Socioambiental. 1998. Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio Mata Atlântica no período de 1990-1995. São Paulo, SOS Mata Atlântica/INPE/ISA. p.54. <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/13D00121.pdf>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2019.
- Souza LA, Moscheta IS, Mourão KSM, Rosa SM. 2002. Morfo-anatomia da flor de *Guarea kunthiana* A. Juss. e de *Guarea macrophylla* Vahl. (Meliaceae). *Acta Scientiarum* 24(2): 591-600.
- Suganuma MS, Torezan JMD, Cavalheiro ALV, André LL, Benato T. 2008. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. *Revista Árvore* 32(2): 377-385.
- Turner IM. 1994. Sclerophylly: primarily protective? *Functional Ecology* 8(6): 669-675.
- Veloso, HP, Rangel Filho ALR, Lima JCA. 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 124p.
- Vicente RF. 2006. O Parque Estadual Mata dos Godoy. In: Torezan JMD. (org.) *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. Londrina, Itedes. p.13-18.
- Vieira TO, Degli-Esposti MSO, Souza GM, Rabelo GR, Cunha MDA, Vitória AP. 2015. Photoacclimation capacity in seedling and sapling of *Siparuna guianensis* (Siparunaceae): response to irradiance gradient in tropical forest. *Photosynthetica* 53(1): 11–22.
- Villar R, Merino J. 2001. Comparison of leaf construction costs in woody species with differing leaf life-spans in contrasting ecosystems. *New Phytologist* 151(1): 213-226.

Vitória, AP, Vieira TO, Camargo PB, Santiago LS. 2016. Using leaf $\delta^{13}\text{C}$ and photosynthetic parameters to understand acclimation to irradiance and leaf age effects during tropical forest regeneration. *Forest Ecology and Management* 379:50-60.doi:10.1016/j.foreco.2016.07.048.

Wallace RB, Painter L. 2002. Phenological patterns in a southern Amazonian tropical forest: implications for sustainable management. *Forest Ecology and Management* 160(1-3): 19-33.

Webb CT, Hoeting JA, Ames GM, Pyne MI, Poff NL. 2010. A structured and dynamic framework to advance traits - based theory and prediction in ecology. *Ecology Letters* 13(3): 267-283.

Westoby M. 1998. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil* 199: 213-227.

Wright IJ, Reich PB, Westoby M. 2001. Strategy-shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high and low rainfall, and high and low nutrient habitats. *Functional Ecology* 15(4): 423-434.

CAPÍTULO I

FENOLOGIA E ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE FOLÍOLOS DE *Guarea kunthiana* A. Juss. EM FRAGMENTOS DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E EM REFLORESTAMENTOS ADJACENTES, NO NORTE DO PARANÁ, SUL DO BRASIL

RESUMO

Este estudo foi conduzido em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná. Objetivou-se comparar a fenologia e os atributos funcionais de folíolos de *Guarea kunthiana* A. Juss, buscando compreender as respostas sobre a adaptação da mesma em ambientes contrastantes. As populações foram acompanhadas mensalmente, de setembro de 2018 a agosto 2019, registrando-se as seguintes fenofases: abscisão foliar, brotamento foliar, floração e frutificação. Folíolos foram coletados sazonalmente determinando os atributos: área foliolar específica, suculência, massa seca por unidade de área, conteúdo relativo de água, índice de esclerofilia e densidade. A função glmmPQL foi utilizada para análise dos atributos foliolares. A espécie apresentou sazonalidade nas fenofases, porém, diferenças nos picos de atividade e intensidade foram identificados entre os ambientes, revelando maiores taxas vegetativas nos reflorestamentos e, nos fragmentos florestais, maiores taxas reprodutivas. Os folíolos dos indivíduos do reflorestamento apresentaram características de maior exposição à luz e menor disponibilidade hídrica. Os resultados corroboram a hipótese de que os indivíduos do reflorestamento apresentariam atributos foliares indicativos de maior exposição à luz em comparação aos indivíduos dos fragmentos florestais. A plasticidade morfológica e fisiológica indicaram a capacidade desta espécie de se adaptar em diferentes ambientes.

Palavras-chave: abscisão foliar, brotamento, Meliaceae, plasticidade fenotípica, sazonalidade

ABSTRACT

This study was conducted in fragments of seasonal semi-deciduous forest and adjacent reforestation areas, in northern Paraná. The objective was to compare the phenology, and the functional attributes of the leaflets of *Guarea Kunthiana* A. Juss, attempting to understand the answers about the adaptation of the species in contrasting environments. The populations were monthly monitored from September 2018 up to August 2019 recording the following phenophases: leaf abscission; leaf sprouting; flowering and fruiting. Leaflets were seasonally collected, and the functional attributes were determined: specific leaflet area, succulence, dry mass per unit area, relative water content, sclerophylly index and density. The glmmPQL function was used to analyze the leaflet attributes. The species showed seasonality in the phenophases, nonetheless, differences in peak activity and intensity between environments were noticed, revealing higher vegetative rates in reforestation areas whereas in the forest fragments, higher reproductive rates. The leaflets of individuals from reforestation showed characteristic of greater exposure to light and less water availability. The results corroborate the hypothesis that individuals from reforested areas would present leaf attributes indicative of greater exposure to light compared to individuals from forest fragments. Morphological and physiological plasticity indicate the ability of this species to adapt to different environments.

Keywords: flushing, leaf abscission, Meliaceae, phenotypic plasticity, seasonality

INTRODUÇÃO

A fenologia e os atributos funcionais de plantas têm sido avaliadas em várias espécies em diferentes ambientes (Goulart *et al.* 2005; Bianchini *et al.* 2006; Naramoto *et al.* 2006; Sinclair *et al.* 2008; Rosa *et al.* 2013; Puglielli *et al.* 2015; Vieira *et al.* 2015; Moraes *et al.* 2017), de modo que têm sido utilizadas como preditores do desempenho e adaptação das plantas. Estas características estão intimamente relacionadas com a fisiologia e distribuição das espécies, sendo importantes respostas exibidas pelas espécies nas comunidades de plantas (Villar & Merino 2001; Carvalho *et al.* 2007; Rosado & Mattos 2007; Falcão *et al.* 2017; Johnson *et al.* 2018).

Adeciduidade dentro e entre populações de *Plathymenia reticulata* Benth. (Leguminosae), foi avaliada em áreas de cerrado e de floresta estacional semidecidual (Goulart *et al.* 2005). Os autores constataram queda foliar antecipada no cerrado, quando comparado à floresta. A queda das folhas é resultante do estado hídrico das plantas e da disponibilidade de água no solo e na atmosfera (Reich 1995). Portanto, as diferenças no tempo de queda das folhas observadas em *P. reticulata* foram relacionadas com as diferenças na disponibilidade de água entre os locais (Goulart *et al.* 2005). Em estudo comparativo de espécies arbóreas em floresta úmida e floresta seca na Costa Rica, a produção de novas folhas, na floresta úmida, ocorreu durante a primeira estação seca, enquanto na floresta seca ocorreu após o início das primeiras chuvas, na estação chuvosa. O período de acentuada abscisão foliar correspondeu às condições relativamente xéricas da primeira longa estação seca em ambas as florestas (Frankie *et al.* 1974).

Estudos apontam que áreas expostas a maiores perturbações, apresentam diferentes condições de microclima, com maior incidência de luz, variação na temperatura, menor umidade do ar e do solo, ocasionando algum tipo de estresse para as plantas, favorecendo a

herbivoria (Murcia 1995; Cobb *et al.* 1997; Kollmann & Buschor 2003). Processos prematuros de abscisão foliar podem ocorrer como resposta da defesa da planta, a pressão de fatores bióticos como a herbivoria (Coley & Barone 1996), sendo a abscisão foliar uma estratégia de reduzir o gasto energético de recuperação das folhas que sofreram herbivoria (Schowalter *et al.* 1986).

Diferenças na intensidade e na duração da produção foliare nos atributos de folhas de *Myrcia amazonica* DC. foram avaliados em habitats com condições contrastantes de irradiação e umidade (floresta de galeria e campo rupestre), na Chapada Diamantina, Brasil (Moraes *et al.* 2017). A produção de folhas, em ambas as populações, foi anual, porém com maior intensidade e menor duração no campo rupestre. Os indivíduos do campo rupestre apresentaram folhas com maiores espessura e suculência foliar e os autores concluíram que, em razão da menor disponibilidade de água e maior irradiação no campo rupestre, as alterações nos atributos foliares estariam associadas à conservação de água, incluindo maior eficiência do uso da água. Este estudo demonstrou que a espécie estudada exibiu alta plasticidade funcional e estrutural, o que permite o estabelecimento e o crescimento de indivíduos em ambientes com diferentes níveis de disponibilidade de água e irradiação (Moraes *et al.* 2017). Em outro estudo, espécies de floresta de galeria apresentaram maior área foliar específica (AFE) que espécies de savana (Hoffmann *et al.* 2005). Os autores correlacionaram o aumento da AFE com maiores concentrações de nutrientes nas folhas. Em diferentes comunidades arbustivas, ao longo de um gradiente de elevação na Sardenha (Itália), foram registrados menores valores de AFE na área mais seca e aumento significativo nos valores de AFE, com o aumento da disponibilidade de água (Campetella *et al.* 2019).

A plasticidade morfológica e fisiológica das plantas permite que as espécies ocupem uma gama de locais com disponibilidade de recursos e condições ambientais distintas. Deste modo, a sobrevivência das espécies vegetais está intimamente relacionada à capacidade de se

adaptarem às diferentes condições proporcionadas pelo ambiente onde estão inseridas (Moraes *et al.* 2017).

Fragmentos florestais e reflorestamentos são habitats com fatores bióticos e abióticos diferentes. Os fragmentos florestais apresentam dosséis mais densos e fechados, o que reduz a incidência de luz no interior do fragmento (Suganuma *et al.* 2008; Ferracin *et al.* 2010). Em contrapartida, os reflorestamentos apresentam dosséis menos densos e menos complexos, facilitando a entrada de luz e submetendo a vegetação abaixo do dossel à maior luminosidade (Suganuma *et al.* 2008; Ferracin *et al.* 2010). A intensidade luminosa, portanto, pode afetar diretamente os indivíduos (aumentando a taxa fotossintética, por exemplo) ou indiretamente, determinando a umidade relativa do ar e do solo (Suganuma *et al.* 2008), o que pode afetar o desenvolvimento, estabelecimento e sobrevivência de espécies vegetais (Alvarenga *et al.* 2003). O adensamento das plantas também é uma característica que difere fragmentos florestais de reflorestamentos. O maior espaçamento entre os indivíduos no reflorestamento propicia maior incidência de luz e maior ação dos ventos, resultando em menor umidade relativa do ar. Estas variações podem resultar em maiores taxas de transpiração (ver Bianchini *et al.* 2001), o que pode afetar o balanço hídrico das plantas.

O presente estudo avaliou a fenologia e os atributos funcionais de folíolos de *Guarea kunthiana* A. Juss (Meliaceae) em fragmentos florestais e reflorestamentos adjacentes no norte do Paraná, sul do Brasil. Foram levantadas as seguintes questões: os indivíduos do reflorestamento apresentam maiores taxas de brotamento e de abscisão foliar, em comparação aos indivíduos dos fragmentos florestais? Os indivíduos do reflorestamento apresentam atributos foliares indicativos de maior exposição à luz em comparação aos indivíduos dos fragmentos florestais?

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidualsubmontana e em reflorestamentos adjacentes a estes fragmentos, no Norte do Paraná, Sul do Brasil. As áreas selecionadas foram 1) Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), unidade de conservação localizada no município de Londrina, que apresenta fragmento florestal com 680 ha e reflorestamento adjacente com 40 ha e 22 anos desde o plantio; 2) fazenda Congonhas, localizada no município de Rancho Alegre, com fragmento florestal com 108 ha de reserva legal e reflorestamento adjacente com 21 ha e 16 anos; 3) fazenda Santo Antonio, no município de Sertaneja, com fragmento florestal com 32 ha de reserva legal e reflorestamento com 15 ha e 14 anos; 4) fazenda Alvorada, no município de Alvorada do Sul, com fragmento florestal estabelecido como reserva particular do patrimônio natural (RPPN) Matas do Cici, de 122 ha e reflorestamento adjacente com 11 ha e 14 anos.

Os tipos de solos predominantes são Latossolo Vermelho Escuro Eutroférico, Nitossolo Eutroférico e Neossolos Litólicos (Bhering *et al.* 2007). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa – clima subtropical úmido, com chuvas distribuídas irregularmente ao longo do ano e concentradas principalmente no verão. A estação inverno apresenta a menor concentração de chuvas, porém, não há caracterização de um período realmente seco (IAPAR 2019).

A espécie *Guarea kunthiana* A. Juss (Meliaceae) é uma árvore, popularmente, conhecida como figo-do-mato e peloteira (Lorenzi 2009). A espécie é perenifólia, esciófita e seletiva higrófito (Souza *et al.* 2002). As folhas de *G. kunthiana* são compostas pinadas, com folíolos alternos a opostos, apresentando gema terminal em suas folhas, que acrescentam periodicamente novos folíolos aos já existentes, apresentando assim, crescimento intermitente (Flores *et al.* 2017). As flores da espécie são reunidas em inflorescências do tipo panícula, sendo os indivíduos unissexuais. A floração ocorre de agosto a novembro, embora se

observem espécimes com poucos botões e flores durante quase todo ano (Souza *et al.* 2002), podendo apresentar floração ainda quando pequena arvoreta (Klein 1984). O fruto é uma cápsula glabra, deiscente, de forma e tamanho muito variáveis, tendo amadurecimento a partir de agosto (Lorenzi 2009).

Foram marcados de 9 a 12 indivíduos de *G. kunthiana* em cada área (fragmentos florestais e reflorestamentos), que foram acompanhados mensalmente durante o período de setembro de 2018 a agosto de 2019, totalizando um ano de estudo. Foram incluídos na amostragem indivíduos que apresentavam boa visibilidade da copa para observação. Nos fragmentos florestais, os indivíduos foram selecionados evitando a borda do fragmento, buscando locais onde o dossel apresentava-se mais denso e, conseqüentemente, com menor luminosidade no sub-bosque. Nos reflorestamentos, como o dossel é menos estruturado, os indivíduos foram selecionados de acordo com o aparecimento. Nos fragmentos florestais, a altura dos indivíduos variou entre 3 e 8,20 m; e o diâmetro do caule à altura do peito (DAP), entre 3,18 e 15,76 cm. Já nos reflorestamentos, a altura variou entre 2,40 e 8 m; e DAP, entre 2,38 e 10,19 cm. Os indivíduos selecionados foram numerados com plaquetas de plástico e marcados com fita zebra para facilitar sua localização em campo.

Foram registradas as fenofases: brotamento foliar (presença de ápices vegetativos em desenvolvimento e com coloração verde clara e avermelhada); abscisão foliar (presença de folhas senescentes em tons amarelados, alaranjados ou avermelhados, que caem facilmente com a ação do vento, galhos sem folhas ou folhas com ausência de folíolos e pela observação da quantidade de folhas no chão, abaixo da copa do indivíduo); floração (dividida em botões florais e antese); e frutificação (dividida em frutos imaturos e frutos maduros) (Morellato *et al.* 2000, Bianchini *et al.* 2006).

As fenofases foram registradas qualitativamente (presença ou ausência) e quantitativamente. O índice de atividade estima a presença ou a ausência da fenofase,

indicando a porcentagem de indivíduos amostrados que está manifestando determinado evento fenológico (Bencke & Morellato 2002). O índice de intensidade das fenofases foi estimado utilizando o método semiquantitativo de Fournier (Fournier 1974), composto por cinco categorias (0 a 4) com intervalos de 25% entre elas, sendo: 0 = ausência da fenofase; 1 = presença da fenofase com magnitude entre 1% e 25%; 2 = presença da fenofase entre 26% e 50%; 3 = presença da fenofase entre 51% e 75% e 4 = presença da fenofase entre 76% e 100%. Este método possibilita estimar a porcentagem de intensidade da fenofase em cada indivíduo e para a população. No método percentual de intensidade de Fournier (Fournier 1974), em cada mês, é feita a soma dos valores de intensidade obtidos para todos os indivíduos da espécie em cada ambiente (fragmento e reflorestamento) e dividido pelo valor máximo possível (número de indivíduos multiplicado por quatro). O valor obtido, que corresponde a uma proporção, é multiplicado por 100, para transformá-lo em um valor percentual (Bencke & Morellato 2002).

Em cada área (fragmento e reflorestamento), dos indivíduos marcados para a fenologia, cinco foram selecionados para determinar o tempo de vida foliar e foliolar. Em cada indivíduo selecionado foi marcado, com fita plástica, um galho com boa visibilidade e possibilidade de acompanhamento e contagem das folhas e dos folíolos. As folhas maduras e em expansão, dos galhos selecionados, foram esboçadas em papel sulfite. Censos mensais foram realizados para registrar novas folhas e folíolos e a eventual abscisão de folhas ou de folíolos (Moraes *et al.* 2017). Para determinar o ciclo de vida, a idade das folhas e dos folíolos foi calculada (em meses) utilizando o intervalo entre o brotamento e queda de folhas e folíolos (Moraes *et al.* 2017).

A cada estação (aproximadamente 90 dias), foram selecionados, aleatoriamente, cinco indivíduos de *G. kunthiana* em cada área. De cada indivíduo foram coletados quatro folíolos totalmente expandidos, na porção mediana da copa, totalizando 20 folíolos por área.

Padronizou-se a coleta do segundo ou do terceiro folíolo a partir do ápice. Os folíolos foram embalados em sacos plásticos umedecidos e imediatamente armazenados em caixa térmica com gelo para evitar a desidratação (Araujo *et al.* 2019). As medições dos atributos foliulares foram realizadas no mesmo dia em laboratório.

Foram determinadas a massa fresca de cada folíolo, utilizando balança digital, e a área foliolar (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013) utilizando o medidor de área LI -3000C (Licor biosciences, Lincoln, NE, USA). Posteriormente, os folíolos foram submersos em água destilada em recipientes plásticos, que foram mantidos em um local escuro e em temperatura ambiente por 4 horas (Boyer *et al.* 2008). Após este período, os folíolos foram avaliados novamente para a obtenção da massa saturada (g) e da espessura da folha (mm), obtida com um paquímetro digital (Moraes *et al.* 2017).

Em seguida, os folíolos foram armazenados em saco de papel e colocados em estufa à 70°C por 72 horas, para obtenção da massa seca (Rosado & Mattos 2007; Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013). A partir desses valores foram calculados: a área foliolar específica (AFE $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), obtida através da divisão entre a área foliolar e a massa seca do folíolo (Araujo *et al.* 2019); a suculência (SUC mg cm^{-2}), que é o resultado entre a massa saturada menos a massa seca do folíolo dividida pela área foliolar (Rosado & Mattos 2007); a massa seca por unidade de área (MFA mg cm^{-2}), resultante da divisão da massa seca pela área foliolar (Salazar *et al.* 2018); o conteúdo relativo de água (CRA %), que foi estimado pela razão entre massa fresca menos a massa seca pela massa túrgida menos a massa seca do folíolo multiplicado por 100 para se chegar na porcentagem (Smart & Bingham 1974); o índice de esclerofilia (IE g dm^{-2}), que resulta da divisão da massa seca do folíolo (g) pela área duplicada (duas superfícies) em dm^2 (Rizzini 1997); e a densidade (DEN mg mm^{-2}), obtida pela divisão da MFA pela espessura do folíolo (Moraes *et al.* 2017; Witkowski & Lamont 1991).

Análise dos dados

Para a análise fenológica, foram confeccionados fenogramas com as porcentagens de indivíduos (índice de atividade) e de intensidade (percentual de intensidade de Fournier) mensais, para cada fenofase e para cada fragmento florestal e reflorestamento. Adicionalmente, foi utilizada a estatística circular e o teste de Rayleigh (Z) para testar a sazonalidade de cada fenofase (Morellato *et al.* 1989; Zar 1999). Os parâmetros foram calculados através do software Oriana 4 (Kovach 2004). Para isto, as áreas de cada ambiente (fragmento florestal e reflorestamento) foram agrupadas e o índice de intensidade mensal de cada fenofase foi plotado em histograma circular, com os 365 dias do ano correspondendo aos 360° da circunferência. Os meses foram convertidos em ângulos, sendo 15° = setembro de 2018, sucessivamente até 345° = agosto de 2019, em intervalos de 30°, e foram calculados o ângulo médio, o desvio padrão angular e o comprimento do vetor r . Esta análise permite testar se as datas não estão distribuídas uniformemente ao redor do ano, pois se há um ângulo médio significativo, conseqüentemente, há sazonalidade. Se esta hipótese for aceita, ou seja, se o ângulo médio for significativo, a intensidade da concentração em torno do ângulo médio, representada por r , pode ser considerada uma medida do grau ou intensidade da sazonalidade. O vetor r não apresenta unidade e pode variar de 0 (não sazonal) a 1 (altamente sazonal), indicando a intensidade da fenofase em cada evento fenológico do ano (Morellato *et al.* 2000).

Para testar a influência que o tipo de ambiente (fragmento florestal vs. reflorestamento) pode ter nos atributos foliulares (área foliar específica, suculência, massa seca por unidade de área, conteúdo relativo de água, índice de esclerofilia e densidade), foram utilizados Modelos Lineares Mistos Generalizados (GLMM) com distribuição gama (distribuição assimétrica de valores positivos). As variáveis respostas foram modeladas como uma função do efeito fixo “Ambiente”. Considerando o padrão aninhado do desenho

amostral, foi incluída a variável “Indivíduo”, aninhada em “Ambiente”, que por sua vez estava aninhada em “Área”, como efeitos aleatórios. Como cada interação “Ambiente x Área” foi amostrada quatro vezes ao longo do ano, a variável “Estação” também foi incluída como o nível mais externo de agrupamento dos efeitos aleatórios. A análise de dados foi realizada no software R v. 3.6.1 (R Core Team 2019). Os modelos foram ajustados utilizando a função *glmmPQL* do pacote *MASS* (Venables & Ripley 2002), com o teste *t* fornecido pela função *summary*, e previsões das ações dos efeitos aleatórios foram obtidas com a função *predict*. Estimativas do tamanho de efeito e intervalo de confiança do efeito fixo foram calculadas com o pacote *effects* (Fox & Weisber 2019).

RESULTADOS

Durante o período de estudo a temperatura média anual foi 21,1°C e a temperatura máxima 30°C foi registrada no verão e, a precipitação anual da região foi de 1310 mm (IAPAR 2019).

Fenologia

Os indivíduos amostrados em cada ambiente (fragmentos florestais e reflorestamentos) mantiveram suas copas enfolhadas, corroborando a afirmação que *G. kunthiana* é uma espécie perenifólia. Os fragmentos florestais apresentaram início da abscisão foliar no mês de agosto com os picos de atividade (Fig. 1A) e de intensidade (Fig. 1B) em setembro. Nos reflorestamentos da fazenda Santo Antônio e PEMG, a abscisão foliar teve início em maio, enquanto nos demais reflorestamentos, o início ocorreu em junho, com picos de atividade (Fig. 1C) e de intensidade (Fig. 1D) ocorrendo em agosto. Portanto, os reflorestamentos apresentaram o pico de atividade e de intensidade de abscisão foliar anteriores aos fragmentos florestais.

Os fragmentos florestais e os reflorestamentos apresentaram padrões sazonais para a abscisão foliar (Tab. 1), pois ângulo médio e, conseqüentemente, há sazonalidade. Nos fragmentos florestais, a data média (mês) de abscisão foliar ocorreu em setembro e, nos reflorestamentos, em agosto (Fig. 2).

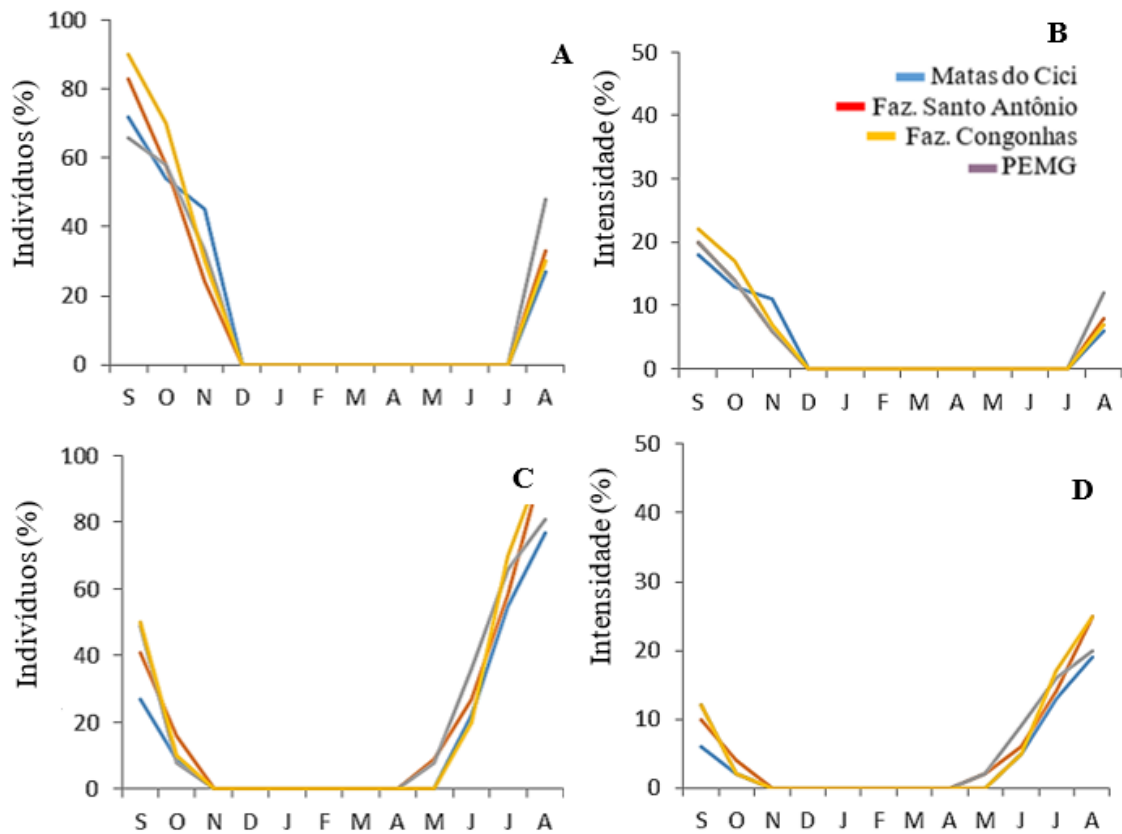


Figura 1. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase abscisão foliar de *Guarea kunthiana*, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D), no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

Tabela 1. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase abscisão foliar em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes no norte do Paraná, sul do Brasil.

Abscisão foliar	Fragmentos florestais	Reflorestamentos
Data média (mês)	Setembro	Agosto
Ângulo médio(μ)	33,516 °	337,277°
Comprimento do vetor r	0,924	0,868
Desvio padrão angular	22,742°	30,519°
Teste de Rayleigh (z)	82,006	103,158
Teste de Rayleigh (p)	<0,001	<0,001

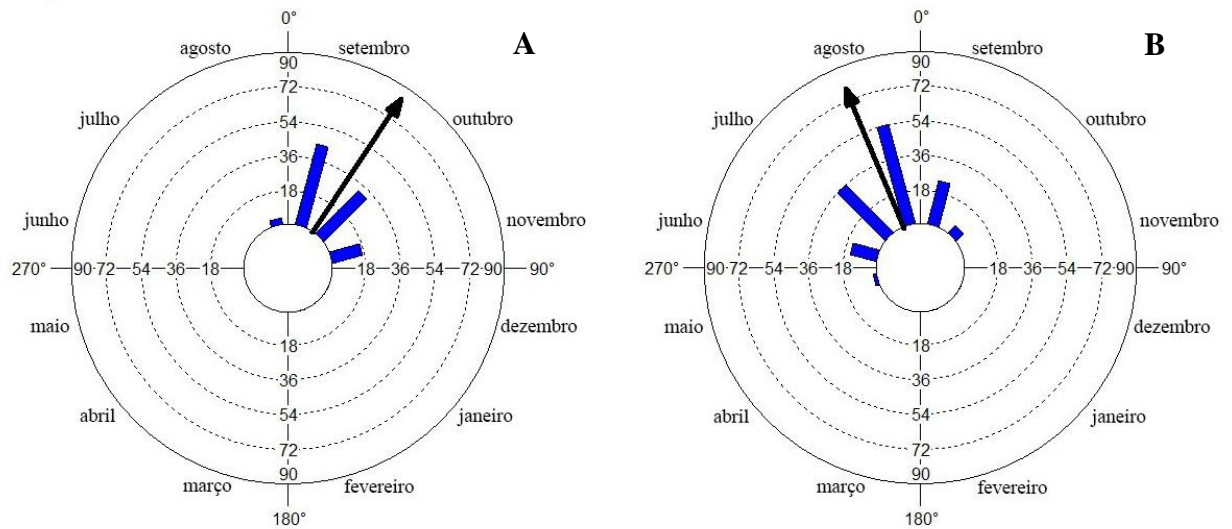


Figura 2. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase abscisão foliar, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de *Guarea kunthiana* amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).

O brotamento foliar, nos fragmentos florestais, teve início em agosto, apresentando pico de atividade (Fig. 3A) e de intensidade (Fig. 3B) em outubro. Nos reflorestamentos da Matas do Cici e fazenda Congonhas, a fenofase iniciou em julho, enquanto nos demais reflorestamentos, o início foi em agosto, com picos de atividade (Fig. 3C) e de intensidade (Fig. 3D) em setembro. Portanto, o início (nos reflorestamentos da fazenda Congonhas e

Matas do Cici) e o pico do brotamento foliar ocorreram anteriormente nos reflorestamentos, quando comparados aos fragmentos florestais.

Os testes de sazonalidade mostraram que os padrões encontrados para ambos os ambientes são sazonais (Tab. 2), com data média de ocorrência em outubro nos fragmentos florestais, e setembro nos reflorestamentos (Fig. 4).

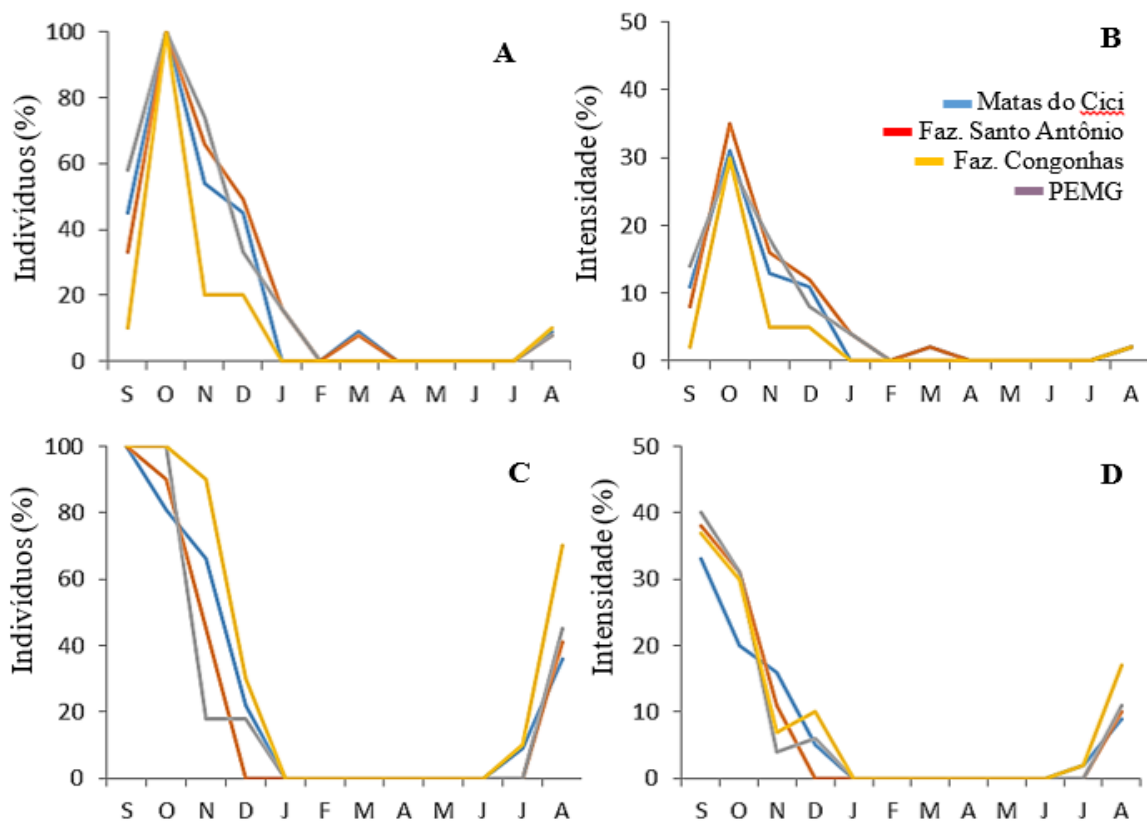


Figura 3. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase brotamento foliar de *Guarea kunthiana*, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019 em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D), no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

Tabela 2. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase brotamento foliar em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes no norte do Paraná, sul do Brasil.

Brotamento foliar	Fragmentos florestais	Reflorestamentos
Data média (mês)	Outubro	Setembro
Ângulo médio(μ)	57,808 °	30,128°
Comprimento do vetor r	0,862	0,872
Desvio padrão angular	31,25°	29,953°
Teste de Rayleigh (z)	105,462	169,672
Teste de Rayleigh (p)	<0,001	<0,001

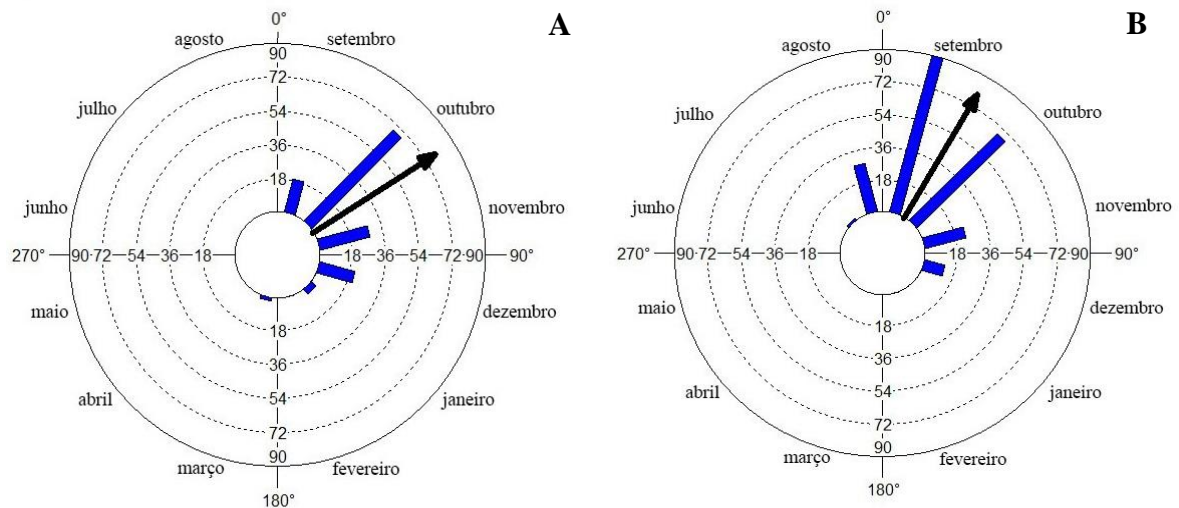


Figura 4. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase brotamento foliar, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de *Guarea kunthiana* amostradas em fragmentos de florestas estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B) no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).

Todos os fragmentos florestais apresentaram as fenofases floração e frutificação, enquanto nos reflorestamentos, elas não ocorreram na fazenda Santo Antonio. As maiores porcentagens de atividade e de intensidade de Fournier ocorreram nos fragmentos florestais (Figs. 5A, B, 7A, B, 9A, B, 11A, B), quando comparados aos reflorestamentos (Figs. 5C, D, 7C, D, 9C, D, 11C, D), porém sempre com pequenos valores.

O aparecimento dos botões florais, nos fragmentos florestais, teve início no mês de julho no PEMG; e em agosto, na fazenda Congonhas (Fig. 5A, B). Os picos de atividade (Fig. 5A) e de intensidade (Fig. 5B) ocorreram no mês de setembro (fazenda Santo Antonio e PEMG) ou outubro (fazenda Congonhas e Matas do Cici). No mês de novembro, apenas o PEMG apresentou a fenofase. Nos reflorestamentos, esta fenofase ocorreu em baixa porcentagem de indivíduos, tendo início no mês de julho na Matas do Cici e em agosto na fazenda Congonhas (Fig. 5C, D), enquanto os picos de atividade e de intensidade (Fig. 5C, D) ocorreram em julho e agosto (Matas do Cici) ou setembro (PEMG e fazenda Congonhas). Os picos de atividade e de intensidade foram anteriores nos reflorestamentos (julho a setembro) quando comparado aos fragmentos florestais (setembro a outubro). No entanto, a fenofase foi mais prolongada nos fragmentos florestais. A fenofase foi sazonal em ambos os ambientes (Tab. 3), sendo que nos fragmentos florestais, a data média (mês) ocorreu em setembro, enquanto nos reflorestamentos a data média ocorreu em agosto, (Fig. 6).

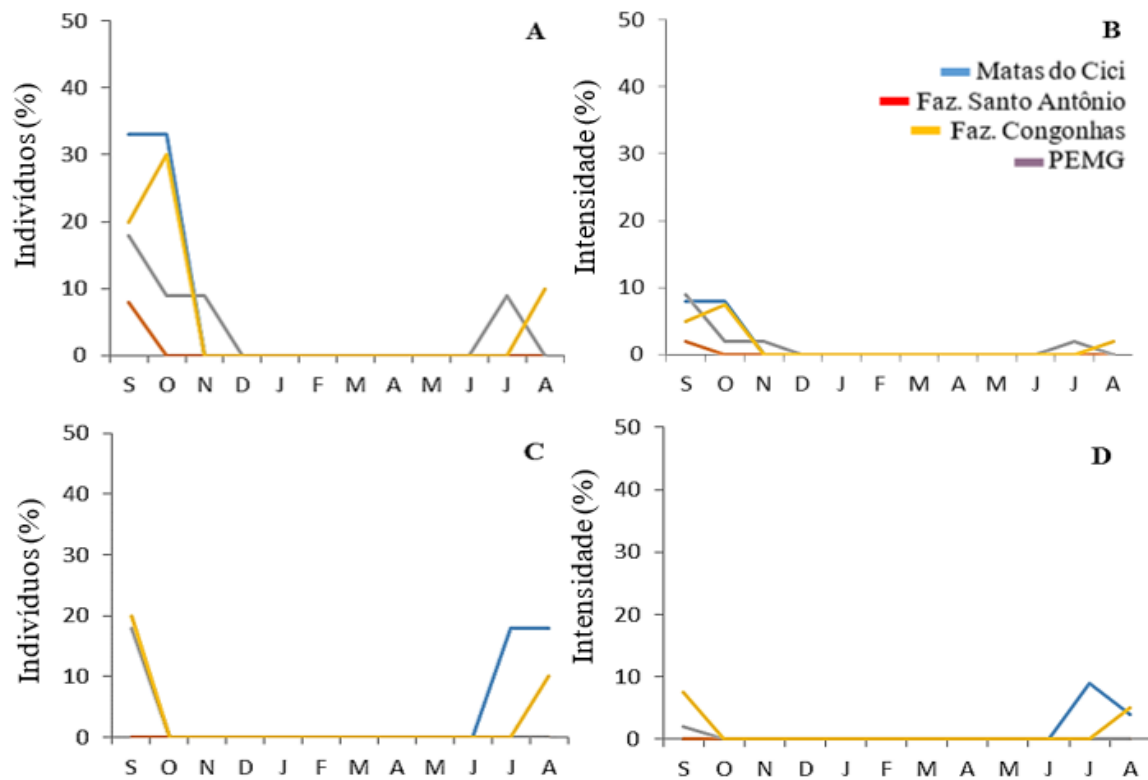


Figura 5. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase botões florais de *Guarea kunthiana*, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D) no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

Tabela 3. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase botões florais em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil.

Botões florais	Fragmentos florestais	Reflorestamentos
Data média (mês)	Setembro	Agosto
Ângulo médio(μ)	25,011°	345°
Comprimento do vetor r	0,931	0,921
Desvio padrão angular	21,662°	23,219°
Teste de Rayleigh (z)	21,67	12,219
Teste de Rayleigh (p)	<0,001	<0,001

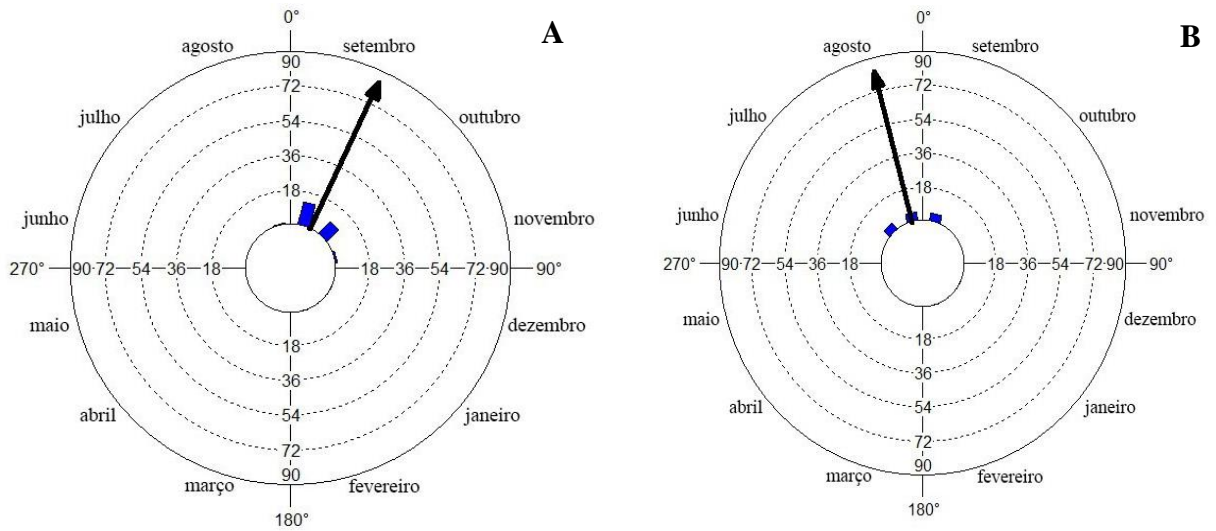


Figura 6. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase botões florais, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de *Guarea kunthiana* amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).

A antese floral, nos fragmentos florestais, teve início no mês de agosto na fazenda Santo Antonio (Fig. 7A, B), com picos de atividade (Fig. 7A) e de intensidade (Fig. 7B) em setembro, em todos os fragmentos. O PEMG apresentou a fenofase até o mês de novembro. Nos reflorestamentos, a fenofase iniciou no mês de agosto na Matas do Cici, apresentando picos de atividade (Fig. 7C) e de intensidade (Fig. 7D) no mês de setembro. Portanto, estafenofase não diferiu entre os ambientes, em relação ao período de ocorrência. Os testes de sazonalidade indicaram que o ritmo da fenofase antese foi sazonal para ambos os ambientes (Tab. 4). Nos fragmentos florestais e nos reflorestamentos a data média (mês) de ocorrência foi setembro (Fig. 8).

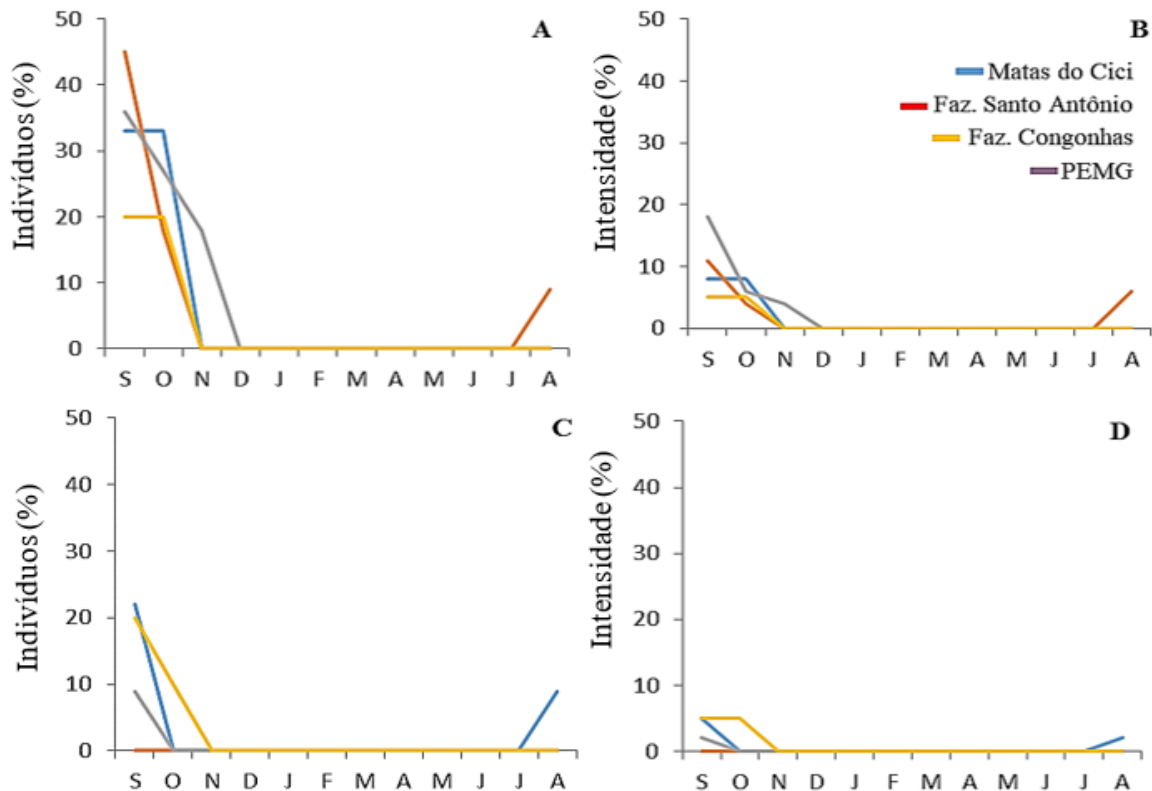


Figura 7. Porcentagens de indivíduos (A, C) e intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase antese de *Guarea kunthiana*, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D) no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

Tabela 4. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase antese em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil.

Antese	Fragmentos florestais	Reflorestamentos
Data média (mês)	Setembro	Setembro
Ângulo médio (μ)	21,928°	20,459°
Comprimento do vetor r	0,968	0,967
Desvio padrão angular	14,627°	14,93°
Teste de Rayleigh (z)	26,233	10,278
Teste de Rayleigh (p)	<0,001	<0,001

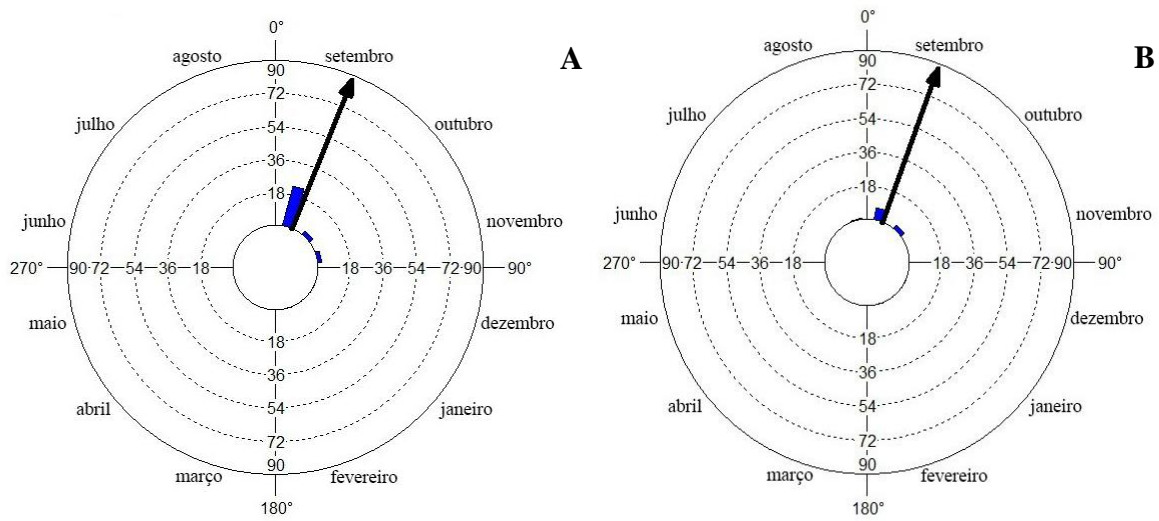


Figura 8. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase antese floral, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de *Guarea kunthiana* amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).

A fenofase frutos imaturos nos fragmentos florestais foi observada no mês de novembro (Fig. 9A, B). Nos reflorestamentos teve início no mês de setembro na fazenda Congonhas, apresentando picos de atividade (Fig. 9C) e de intensidade (Fig. 9D) no mês de outubro em todos os reflorestamentos, exceto a fazenda Santo Antonio que não apresentou esta fenofase.

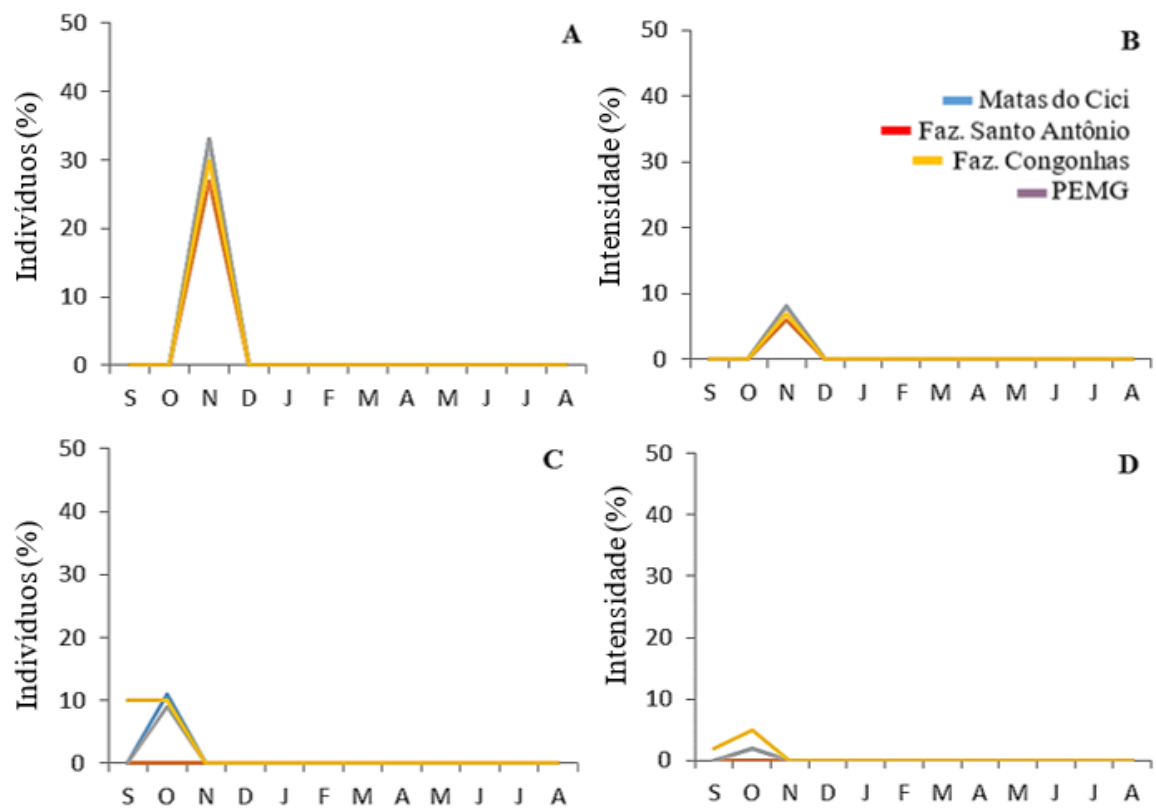


Figura 9. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para a fenofase frutos imaturos de *Guarea kunthiana* no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D), no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

Os testes de sazonalidade demonstraram que ambos os ambientes apresentaram sazonalidade para a fenofase frutos imaturos (Tab. 5). Nos fragmentos florestais a data média (mês) da fenofase ocorreu no mês de novembro, com o comprimento do vetor r no valor de 1, que demonstra alta sazonalidade em torno do ângulo médio de 75° . Nos reflorestamentos a data média ocorreu no mês de outubro (Fig. 10).

Tabela 5. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase frutos imaturos em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil.

Frutos imaturos	Fragmentos florestais	Reflorestamentos
Data média (mês)	Novembro	Outubro
Ângulo médio (μ)	75°	40,128°
Comprimento do vetor r	1	0,993
Desvio padrão angular	-	7,023°
Teste de Rayleigh (z)	15	5,911
Teste de Rayleigh (p)	<0,001	<0,001

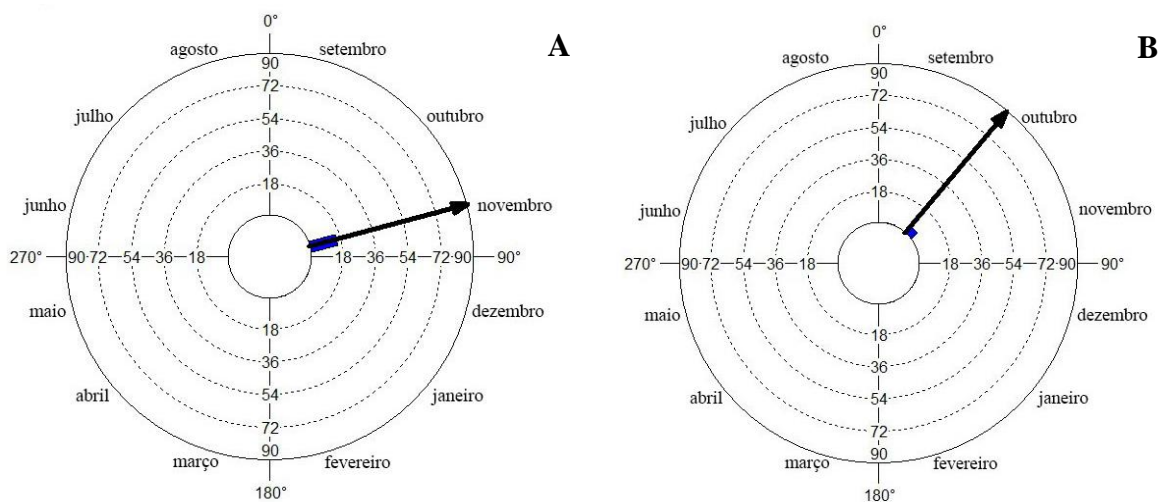


Figura 10. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para fenofase frutos imaturos, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de *Guarea kunthiana* amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).

A fenofase frutos maduros nos fragmentos florestais ocorreu no mês de dezembro. Na fazenda Congonhas a fenofase também foi observada em janeiro (Fig. 11A, B). Os reflorestamentos Matas do Cici e PEMG apresentaram o pico desta fenofase (Fig. 11C, D) em novembro, e a fazenda Congonhas apresentou a fenofase também em dezembro. Os reflorestamentos apresentaram, portanto, pico de maturação dos frutos anterior aos

fragmentos florestais, exceto o reflorestamento da fazenda Santo Antonio que não apresentou esta fenofase.

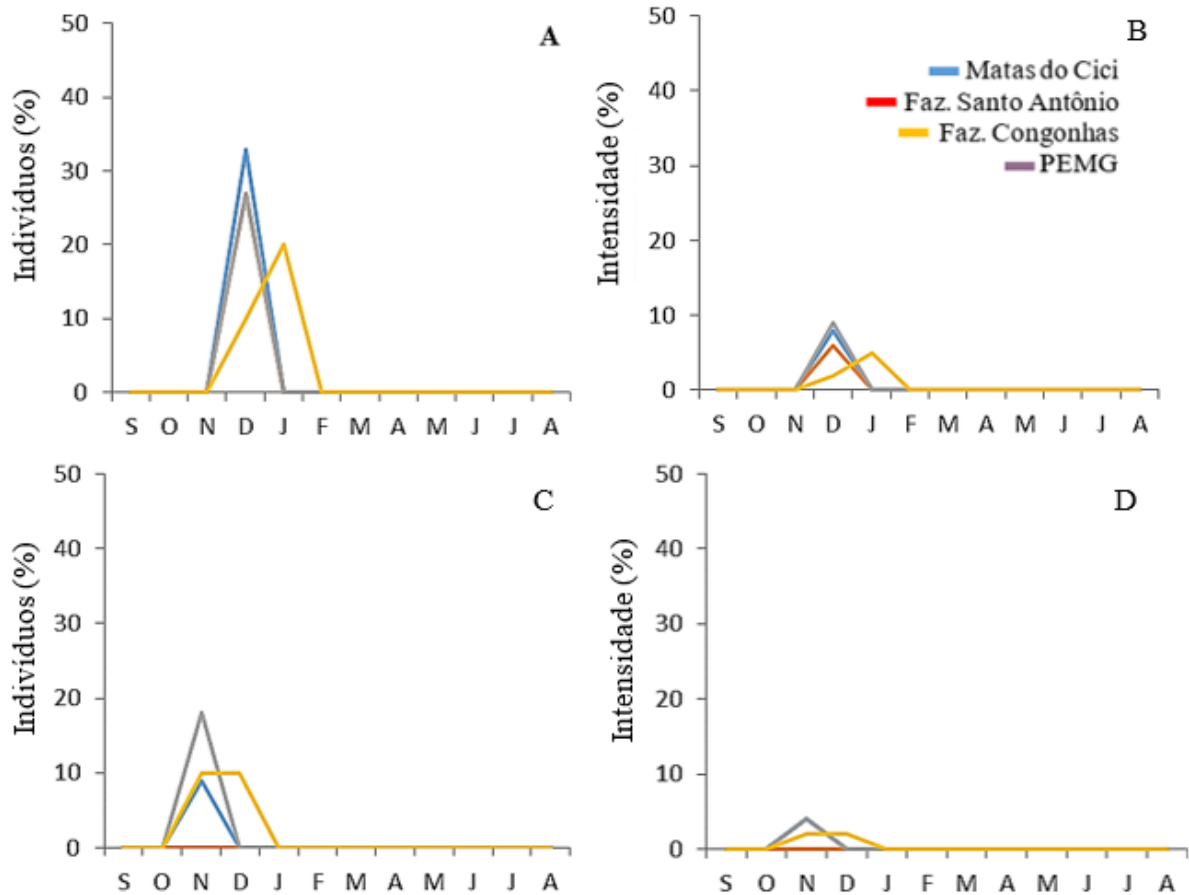


Figura 11. Porcentagens de indivíduos (A, C) e de intensidade de Fournier (B, D) para os frutos maduros de *Guarea kunthiana* registrados de setembro de 2018 a agosto de 2019 em quatro fragmentos de floresta estacional semidecidual (A, B) e em reflorestamentos adjacentes (C, D) no norte do Paraná, sul do Brasil. Faz = Fazenda; PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

Nos reflorestamentos, o comprimento do vetor r , em torno do ângulo médio, corresponde a data média (mês) de novembro (Fig. 12), também confirmando sua sazonalidade. Nos fragmentos o comprimento do vetor r demonstrou alta concentração de dados em torno do ângulo médio, que corresponde a data média (mês) de dezembro. O teste de Rayleigh (Tab. 6) confirmou a sazonalidade da fenofase.

Tabela 6. Análise circular para testar a sazonalidade da fenofase frutos maduros em fragmentos de floresta estacional semidecidual e reflorestamentos adjacentes, no norte do Paraná, sul do Brasil.

Frutos maduros	Fragmentos florestais	Reflorestamentos
Data média (mês)	Dezembro	Novembro
Ângulo médio (μ)	108,883°	79,165°
Comprimento do vetor r	0,996	0,995
Desvio padrão angular	5,299°	5,86°
Teste de Rayleigh (z)	14,872	6,927
Teste de Rayleigh (p)	<0,001	<0,001

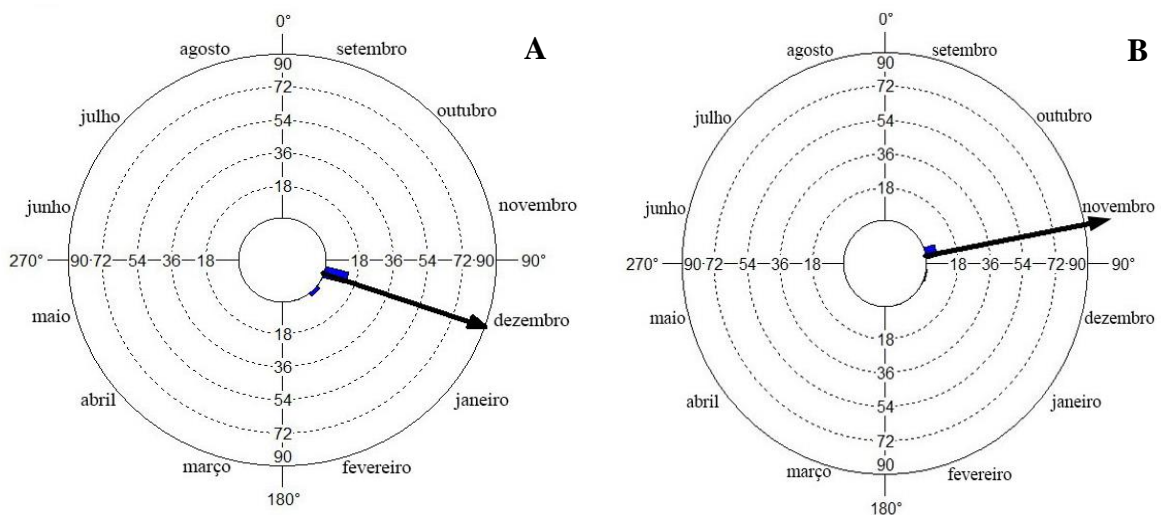


Figura 12. Histogramas circulares com a porcentagem de intensidade de Fournier para a fenofase frutos maduros, no período de setembro de 2018 a agosto de 2019, para as populações de *Guarea kunthiana* amostradas em fragmentos de florestas estacional semidecidual (A) e em reflorestamentos adjacentes (B), no norte do Paraná, sul do Brasil. A seta representa o vetor r e indica o ângulo médio (μ).

Ciclo de vida foliar e foliolar

O ciclo de vida foliar e foliolar dos indivíduos selecionados de *Guarea kunthiana*, em fragmentos de floresta estacional semidecidual e em reflorestamentos adjacentes, apresentou intervalo entre o brotamento e queda de folhas e de folíolos superior ao tempo de

observação (> 12 meses). Portanto, não foi possível avaliar se houve diferença no tempo de vida deste órgão entre os ambientes.

Atributos foliulares

Os atributos funcionais área foliolar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) (Fig.13), suculência (mg cm^{-2}) (Fig.14), massa seca por unidade de área (mg cm^{-2}) (Fig. 15), conteúdo relativo de água (%) (Fig. 16), e o índice de esclerofilia (g dm^{-2}) e densidade (mg mm^{-2}) (Fig.17) dos folíolos de *G. kunthiana*, foram influenciados pelo tipo de ambiente (fragmento florestal e reflorestamento) em que a espécie se encontrava. A densidade (Fig. 18) não apresentou diferença entre os ambientes.

Nos fragmentos florestais, foi registrada área foliolar específica média [intervalo de confiança] de $148 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ [$141 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$; $154 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$], enquanto nos reflorestamentos este valor diminuiu para $121,13 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ [$115 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$; $128 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$] (glmmPQL: estimate = -26,7, Std. error = 3,72, df = 15, t value = -7,16, p value < 0,001), ou seja, a AFE registrada nos reflorestamentos foi $26,7 \pm 3,72 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ menor do que a registrada nos fragmentos florestais.

Os menores valores de AFE foram constatados no inverno em ambos os ambientes, sendo que o reflorestamento do PEMG apresentou o menor valor de todos. Os maiores valores de AFE foram encontrados no fragmento florestal do PEMG na primavera (Fig. 13). A análise do desvio padrão dos efeitos aleatórios permite observar a variação dos atributos foliulares em cada nível. Portanto, considerando as diferenças entre as estações, o atributo AFE apresentou um desvio padrão de $4,11 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$.

Considerando o quanto cada estação altera o valor esperado do efeito fixo, foi constatado que o inverno diminuiu a AFE em $5,18 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ($148 - 5,18 = 143 \text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ nos

fragmentos florestais e $121 - 5,18 = 116 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ nos reflorestamentos), enquanto a primavera aumentou a AFE em $2,59 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ($148 + 2,59 = 150 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ e $121 + 2,59 = 124 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ nos fragmentos florestais e reflorestamentos, respectivamente).

Analisando a interação área/estação, foi possível verificar se alguma área apresentou valor de AFE diferente em alguma estação. A diferença entre as áreas em cada estação apresentou um desvio padrão de apenas $0,02 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (fragmentos florestais $148 \pm 0,02$ e reflorestamento $121 \pm 0,02$) denotando um comportamento semelhante entre as áreas no decorrer das estações.

Já a interação ambiente/área/estação apresentou um desvio padrão de $7,68 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (fragmento florestal $148 \pm 7,68$ e reflorestamento $121 \pm 7,68$). O fragmento florestal do PEMG na primavera teve um valor de AFE de $11,88 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ maior do que o esperado na primavera de outros fragmentos (fragmento florestal na primavera é esperado média de $148 + 2,59 = 150 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$). O fragmento do PEMG apresentou média de $162 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ($148 + 2,59 + 11,88$), enquanto o reflorestamento do PEMG, no inverno, apresentou um valor $12,82 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ menor em relação às outras áreas ($121 - 5,18 - 12,82 = 103 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$). Os indivíduos apresentaram desvio padrão de $13,35 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$.

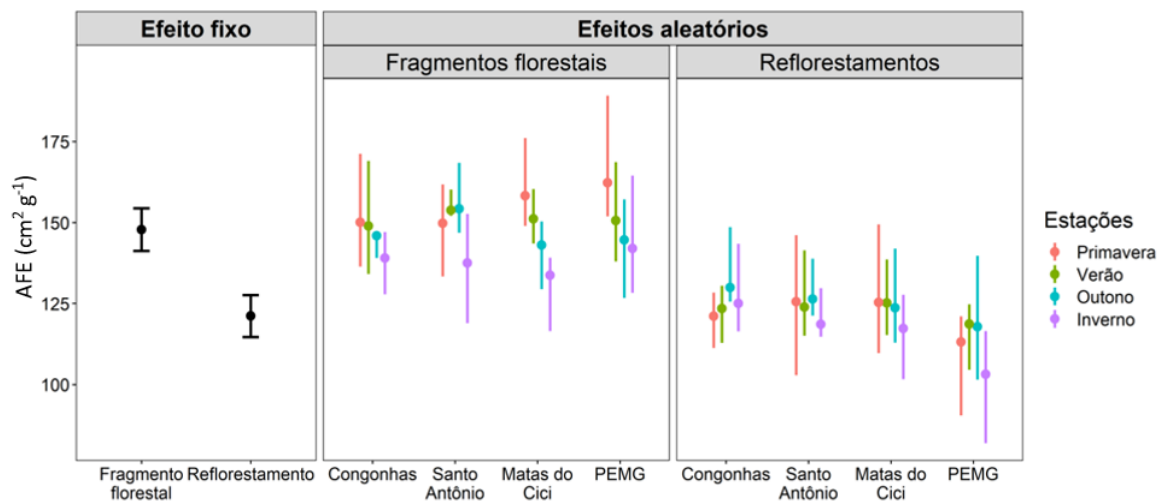


Figura 13. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) sobre a área foliar específica (AFE) de *Guarea kunthiana* e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). A AFE foi menor em reflorestamentos do que em fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = -26,67; Std. error = 3,72; df = 15; t value = -7,16; p value < 0,001). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

O atributo foliolar suculência demonstrou ser influenciado pelo tipo de ambiente onde a espécie se encontra (Fig. 14). Em fragmentos florestais foi encontrada suculência média de 23 mg cm⁻² [21 mg cm⁻²; 24 mg cm⁻²], enquanto nos reflorestamentos esta média aumentou para 25 mg cm⁻² [25 mg cm⁻²; 26 mg cm⁻²] (glmmPQL: estimate = 2,1, Std. error = 0,3908, df = 15, t value = 5,585, p value < 0,0001), ou seja, o reflorestamento tem um valor de 2,1 mg cm⁻² de maior suculência do que o fragmento florestal, sendo essa diferença significativa.

As estações não alteraram o valor esperado do efeito fixo. Considerando a interação área/estação, foi obtido um desvio padrão de 0,7 mg cm⁻², (fragmento florestal 23 mg cm⁻² ± 0,7 e reflorestamento 25 mg cm⁻² ± 0,7). O fragmento florestal da fazenda Santo Antonio na primavera foi o que apresentou menor valor (22 mg cm⁻²).

Analisando a interação ambiente/área/estação foi constatado um desvio padrão de 0,6 mg cm⁻² (fragmento florestal 23 ± 0,6 e reflorestamento 25 ± 0,6). Os reflorestamentos da

fazenda Congonhas no verão, do PEMG e das Matas do Cici, na primavera, apresentaram os maiores valores de suculência. O desvio padrão dos indivíduos é de $1,4\text{mg cm}^{-2}$.

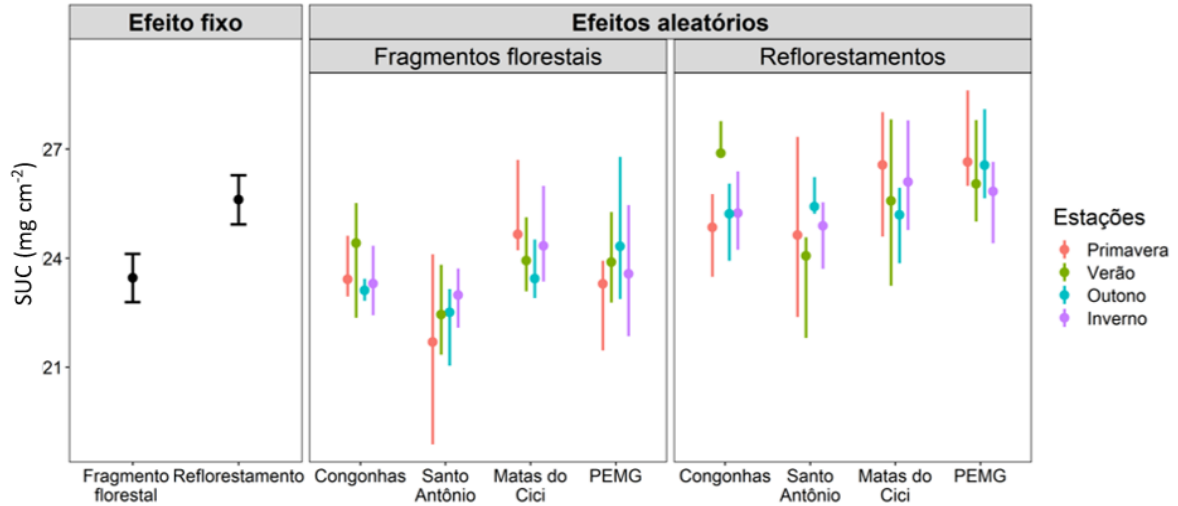


Figura 14. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) na suculência (SUC) dos folíolos de *Guarea kunthiana* e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). A SUC foi maior em reflorestamentos do que em fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = 2,1; Std. error = 0,3908; df = 15; t value = 5,585; p value < 0,0001). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

A massa seca por unidade de área (MFA) também demonstrou ser influenciada pelo tipo de ambiente onde a espécie se encontra (Fig. 15). Em fragmentos florestais foi registrada a média de $6,8\text{mg cm}^{-2}$ [$6,49\text{mg cm}^{-2}$; $7,19\text{mg cm}^{-2}$], enquanto nos reflorestamentos este valor aumentou para $8,3\text{mg cm}^{-2}$ [$7,69\text{mg cm}^{-2}$; $8,67\text{mg cm}^{-2}$] (glmmPQL: estimate = 1,47; Std. error = 0,21; df = 15; t value = 6,7; p value = 0), ou seja, o reflorestamento apresenta valor de $1,47 \pm 0,21\text{mg cm}^{-2}$ a mais que o fragmento florestal.

Considerando a variação sazonal, o atributo MFA apresentou um desvio padrão de $0,18\text{mg cm}^{-2}$ (fragmento florestal com $6,8 \pm 0,18$ e reflorestamento $8,3 \pm 0,18$). No inverno, foi registrada maior média de MFA ($6,8 + 0,20 = 7\text{mg cm}^{-2}$ nos fragmentos florestais e $8,3 + 0,20 = 8,5\text{mg cm}^{-2}$ nos reflorestamentos), enquanto no verão a média foi de $0,07\text{mg cm}^{-2}$

menor, e a primavera e outono foram de $0,06 \text{ mg cm}^{-2}$ menor. A interação área/estação apresentou valores todos abaixo de zero, demonstrando que não houve diferença nesta interação.

Na interação ambiente/área/estação o desvio padrão foi de $0,46 \text{ mg cm}^{-2}$ (fragmento florestal $6,8 \pm 0,46$ e reflorestamento $8,3 \pm 0,46$). O fragmento do PEMG apresentou o menor valor na primavera ($6,8 - 0,06 - 0,61 = 6,13 \text{ mg cm}^{-2}$) e, o fragmento da Matas do Cici no inverno o maior valor neste ambiente ($6,8 + 0,20 + 0,55 = 7,55 \text{ mg cm}^{-2}$). Nos reflorestamentos, o maior valor foi constatado no PEMG no inverno ($8,3 + 0,20 + 1,04 = 9,54 \text{ mg cm}^{-2}$) e na primavera ($8,3 - 0,06 + 0,68 = 8,92 \text{ mg cm}^{-2}$). Os indivíduos apresentaram desvio padrão de $0,75 \text{ mg cm}^{-2}$.

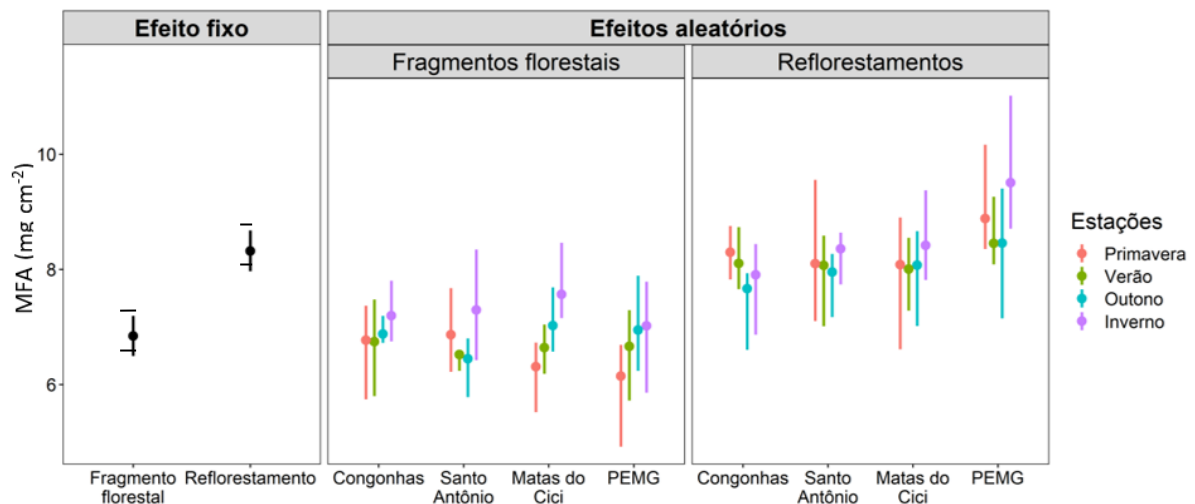


Figura 15. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) na massa seca por unidade de área foliar (MFA) de *Guarea kunthiana* e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). A MFA foi maior em reflorestamentos do que em fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = 1,47; Std. error = 0,21; df = 15; t value = 6,7; p value = 0). As barras indicam o intervalo de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios (ausentes) indicam a variação entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

O conteúdo relativo de água (CRA) demonstrou ser influenciado pelo tipo de ambiente (Fig. 16). Nos fragmentos florestais a média deste atributo foliolar foi de 84,5%, enquanto nos reflorestamentos este valor diminuiu para 82,1% (glmmPQL: estimate = - 2,358; Std. error = 0,8657; df = 15; t value = -2,723; p value = 0,0157).

A variação sazonal apresentou um desvio de 0,0075, sendo que, em geral, o verão e o inverno apresentaram os menores valores de CRA. A interação área/estação apresentou um desvio padrão de 4,5 (84,5 ± 4,5% nos fragmentos florestais e nos reflorestamentos 82,1 ± 4,5%). Os maiores valores de CRA foram registrados na fazenda Congonhas, na primavera, tanto no fragmento florestal (84,5 + 7,5 = 91,9%) quanto no reflorestamento (82,1 + 7,5 = 89,6%); e na fazenda Santo Antonio (84,5 + 6 = 90,5% no fragmento florestal e 82,1 + 6 = 88,1% no reflorestamento).

A interação ambiente/área/estação apresentou um desvio padrão de 1,7. O reflorestamento da Matas do Cici apresentou os menores valores de CRA, tanto na primavera (82,2 - 7,5 = 74,7 %) como no inverno (82,2 - 7,7 = 74,5 %). Já os fragmentos florestais da fazenda Congonhas e da fazenda Santo Antonio, na primavera, apresentaram os maiores valores (84,5 + 1,1 = 85,6 % e 84,5 + 1,7 = 86,2% respectivamente).

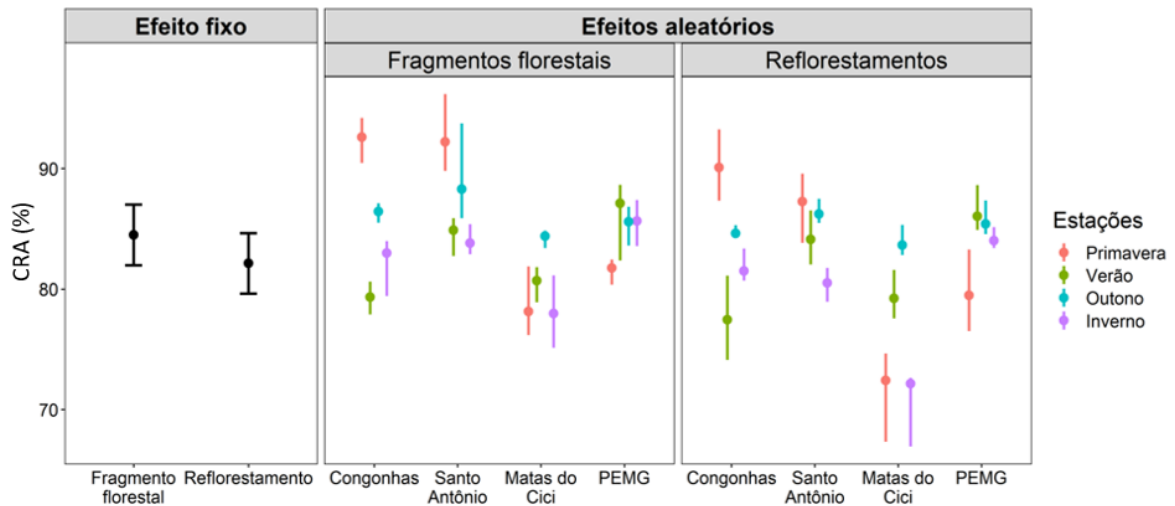


Figura 16. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) no conteúdo relativo de água (CRA) nos folíolos de *Guarea kunthiana* e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). O CRA foi menor em reflorestamentos do que em fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = - 2,358; Std. error = 0,8657; df = 15, t value = - 2,723; p value = 0,0157). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

O índice de esclerofilia demonstrou ser influenciado pelo tipo de ambiente (Fig. 17). Em fragmentos florestais, a média foi de $0,34 \text{ g dm}^{-2}$ [$0,32 \text{ g dm}^{-2}$; $0,36 \text{ g dm}^{-2}$], enquanto em reflorestamentos a média foi de $0,40 \text{ g dm}^{-2}$ [$0,39 \text{ g dm}^{-2}$; $0,42 \text{ g dm}^{-2}$] (glmmPQL: estimate = 0,066 ;Std. error = 0,12; df = 15; t value = 5,10; p value = 0,0001) (Fig. 17).

Os desvios padrões entre as estações e na interação área/estação foram todos igual a zero, demonstrando que não houve influência nessas interações.

Na interação ambiente/área/estação, o desvio padrão foi de $0,024 \text{ g dm}^{-2}$. O reflorestamento do PEMG foi o que apresentou maiores valores de índice de esclerofilia, apresentando o maior valor no inverno ($0,40 + 0,050 = 0,45 \text{ g dm}^{-2}$). O fragmento florestal do PEMG, na primavera, apresentou o menor valor ($0,34 - 0,025 = 0,31 \text{ g dm}^{-2}$) seguido pelo fragmento da Matas do Cici, na primavera ($0,34 - 0,019 = 0,32 \text{ g dm}^{-2}$).

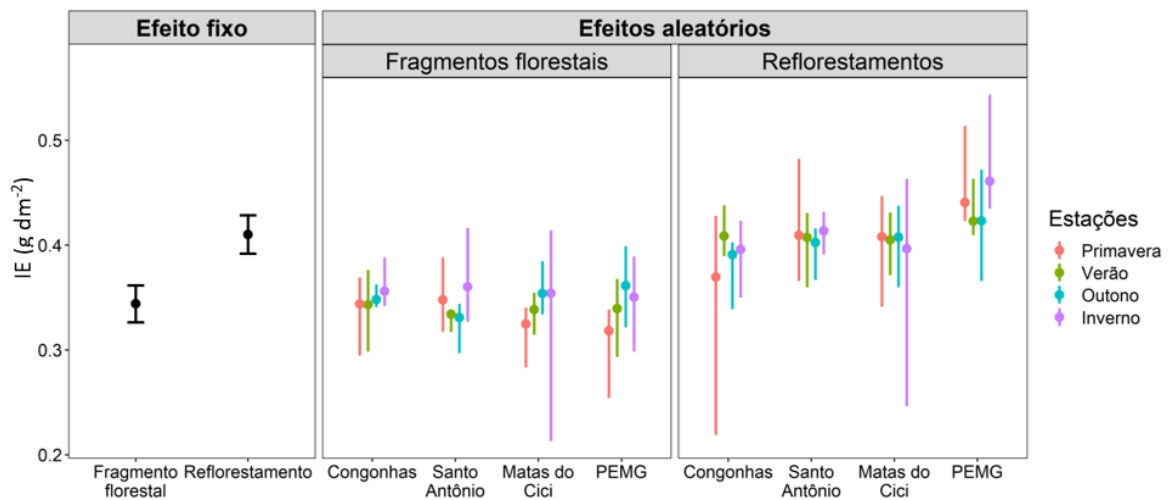


Figura 17. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) no índice de esclerofilia (IE) dos folíolos de *Guarea kunthiana* e dos efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). O IE foi maior em reflorestamento do que no fragmento florestal (glmmPQL: estimate = 0,066; Std. error = 0,12; df = 15; t value = 5,10; p value = 0,0001). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação proveniente dos indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

A densidade (DEN) também demonstrou ser influenciada pelo tipo de ambiente (Fig. 18). Em fragmentos florestais o valor médio foi de $23,27 \text{ mg mm}^{-2}$ [$21,50 \text{ mg mm}^{-2}$; $25,03 \text{ mg mm}^{-2}$], enquanto que em reflorestamentos este valor foi de $25,1 \text{ mg mm}^{-2}$ [$23,32 \text{ mg mm}^{-2}$; $26,87 \text{ mg mm}^{-2}$] (glmmPQL: estimate = 1,83; Std. error = 0,61; df = 15; t value = 2,99; p value = 0,009) (Fig. 18).

Os ambientes apresentaram variações nos efeitos aleatórios. Considerando a variação sazonal, a DEN apresentou desvio de $1,57 \text{ mg mm}^{-2}$ em seu valor ($23,27 \pm 1,57 \text{ mg mm}^{-2}$ nos fragmentos florestais e $25,1 \pm 1,57 \text{ mg mm}^{-2}$ e nos reflorestamentos). O inverno resultou em aumento da DEN em $1,58 \text{ mg mm}^{-2}$ (fragmentos florestais $23,27 + 1,58 = 24,85 \text{ mg mm}^{-2}$ e reflorestamentos $25,1 + 1,58 = 26,68 \text{ mg mm}^{-2}$) e o verão em diminuição de $2,41 \text{ mg mm}^{-2}$ (fragmentos florestais $23,27 - 2,41 = 20,86 \text{ mg mm}^{-2}$ e reflorestamentos $25,1 - 2,41 = 22,69 \text{ mg mm}^{-2}$).

Na interação área/estação, os valores são próximos de zero, demonstrando que não há diferença entre as áreas em cada estação. A interação ambiente/área/estação apresentou um desvio padrão de 1,14 mg mm⁻². O reflorestamento do PEMG, apresentou maior DEN na primavera (25,1 + 0,41 + 1,91 = 27,42 mg mm⁻²), seguido pelos reflorestamentos do PEMG (25,1+ 1,57 + 0,62 = 27,29 mg mm⁻²) e Matas do Cici (25,1 + 1,58 + 0,54 = 27,22 mg mm⁻²) ambos no inverno. Os fragmentos da fazenda Congonhas e fazenda Santo Antonio apresentaram o menor valor de DEN no verão (23,27 - 2,41 - 0,68 = 20,18 mg mm⁻²).

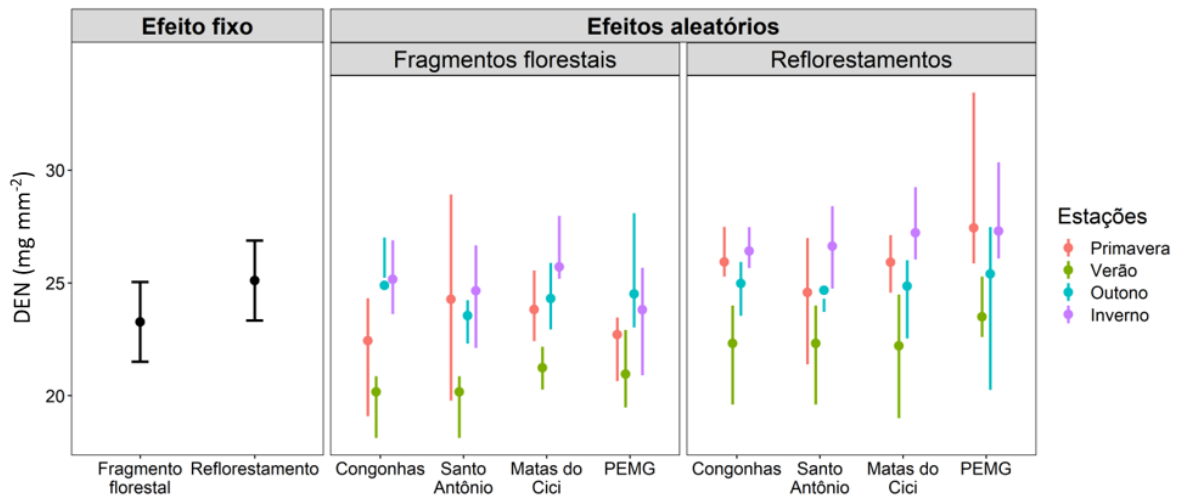


Figura 18. Interação mostrando o efeito do ambiente (efeito fixo) na densidade (DEN) foliar de *Guarea kunthiana* e os efeitos aleatórios (indivíduo aninhado em ambiente e então em área e em estação). A DEN não diferiu entre reflorestamentos e fragmentos florestais (glmmPQL: estimate = 1,83; Std. error = 0,61; df = 15; t value = 2,99; p value = 0,009). Pontos representam a média e barras indicam os intervalos de confiança de 95%. A ação dos efeitos aleatórios foi obtida pela função *predict* do pacote MASS. As barras dos efeitos aleatórios indicam a variação proveniente entre os indivíduos amostrados. PEMG = Parque Estadual Mata dos Godoy.

DISCUSSÃO

A espécie *Guarea kunthiana* apresentou diferentes respostas em fragmentos de floresta estacional semidecidual, quando comparada aos reflorestamentos adjacentes, o que

certamente, favoreceu a adaptação da mesma em ambientes que apresentam fatores bióticos e abióticos diversos.

A abscisão foliar ocorreu no período mais seco e frio, que acontece de abril a setembro. Em florestas estacionais, a abscisão de folhas geralmente ocorre durante o período seco (Frankie *et al.* 1974; Reich & Borchert 1984; Morellato & Leitão Filho 1990; Justiniano & Fredericksen 2000; Singh & Kushwaha 2006, Perina *et al.* 2019). Provavelmente, a ocorrência desta fenofase foi resultante da redução da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, da disponibilidade de água no solo para as plantas em ambos os ambientes. A deciduidade é uma estratégia que reduz a área foliar em contato com a atmosfera, permitindo um controle mais eficiente na abertura estomática e diminuição na transpiração e utilização da água (Braga *et al.* 2016).

Os reflorestamentos apresentaram maiores taxas de abscisão foliar do que os fragmentos florestais. Bianchini *et al.* (2006) observaram a fenologia de *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl. em áreas alagáveis e não alagáveis no fragmento do PEMG, constatando maior taxa de abscisão foliar na área alagável. Os autores relacionaram os resultados à maior abertura do dossel na área alagável durante o período seco. A menor cobertura do dossel na área inundável foi resultante das características estruturais, como maior espaçamento entre os indivíduos, menor complexidade do dossel e maior grau de abscisão foliar (Bianchini *et al.* 2001). A maior taxa de abscisão foliar nos reflorestamentos pode estar relacionada à maior exposição à luz devido à menor complexidade do dossel, maior espaçamento entre os indivíduos arbóreos, maior ação dos ventos e, conseqüente diminuição da umidade relativa do ar.

Foi observado queda foliar antecipada no reflorestamento em relação ao fragmento florestal. Provavelmente este descompasso está associado ao estado de água nos indivíduos de *G. kunthiana*, que segundo Reich (1995) depende da disponibilidade de água no solo e na

atmosfera. Florestas jovens, comparadas a florestas maduras, podem apresentar modificações, tais como, maior incidência de luz e temperatura, e menor disponibilidade de água nas camadas superficiais do solo (Araujo *et al.* 2017). Em razão da maior abertura do dossel no reflorestamento, provavelmente este ambiente apresentaria a camada superficial do solo mais ressecada durante este período. Estas características do ambiente podem diminuir a disponibilidade de água para as raízes absorventes que se encontram nas primeiras camadas do solo (Zangaro & Andrade 2002). Em estudo realizado com *Plathymenia reticulata* na Mata Atlântica, cerrado e ecótono, foram constatadas diferenças no início da abscisão foliar. No cerrado, a espécie começou a perder as folhas mais cedo do que na Mata Atlântica, enquanto o ecótono exibiu padrão intermediário (Goulart *et al.* 2005). Os autores relacionaram estas diferenças às diferenças no estado hídrico entre os locais, uma vez que a abscisão ocorreu mais cedo em áreas secas (cerrado) e depois na área mais úmida (Mata Atlântica). Outros trabalhos com a mesma espécie evidenciaram os mesmos aspectos fenológicos (Bulhão & Figueiredo 2002; Funch *et al.* 2002).

Os indivíduos dos fragmentos florestais, em comparação aos dos reflorestamentos, apresentaram maior AFE, corroborando à afirmação que plantas mais sombreadas investem em estratégias para uma melhor captura de luz (Sarijeva *et al.* 2007). No inverno, foram registrados os menores valores de AFE em ambos os ambientes, período de maior deciduidade da vegetação e dos indivíduos da própria espécie, o que conseqüentemente, possibilita uma maior luminosidade no sub-bosque devido à diminuição da cobertura proporcionada pelo dossel. Hernandez *et al.* (2004), avaliando a transmissão de radiação solar para o interior de floresta estacional semidecidual, constataram variação na mesma de acordo com a época do ano, variando de 3,3% no verão para 8,2% no inverno. Menores valores de AFE estariam associados à estratégia da espécie para a diminuição na captura de luz, o que propicia uma menor vulnerabilidade a altas temperaturas e a seca (Westoby 1998).

O reflorestamento do PEMG apresentou a menor AFE dentre todas as áreas estudadas. Uma possível causa desta diferença entre reflorestamentos é a localização dos reflorestamentos das fazendas Congonhas, Santo Antonio e Alvorada próxima ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Capivara. Possivelmente, a umidade relativa do ar nestes reflorestamentos seja mais elevada em comparação ao reflorestamento do PEMG. Diferentes comunidades arbustivas mediterrâneas ao longo de um gradiente de elevação na ilha de Sardenha (Itália) apresentaram valores mais baixos de AFE na área mais seca (Campetella *et al.* 2019), o que reflete o aumento da utilização de água em ambiente mais árido (Wright *et al.* 2001; Wellstein *et al.* 2017). Espécies que se desenvolvem sob alta intensidade luminosa tendem a apresentar folhas com áreas menores, o que geralmente contribui para menor AFE e proporciona aumento na convecção de calor dissipado, de modo a evitar o superaquecimento do mesófilo foliar e impedir a desidratação pelas altas taxas de transpiração (Klich 2000).

A fase de brotamento foliar ocorreu logo em seguida à abscisão foliar, apresentando pico em outubro no fragmento florestal, no início do período mais úmido e quente. No reflorestamento, o pico da fase de brotamento ocorreu em setembro. Segundo Borchert (2000), a abscisão das folhas senescentes pode ocasionar a reidratação da planta e isto seria uma ação indutora da ativação das gemas, o que pode explicar a presença da fase de brotamento antecipada nos reflorestamentos. Morellato (1991) concluiu que, para espécies arbóreas em floresta estacional semidecidual, a precipitação, após período de menor disponibilidade hídrica, seria o fator desencadeador para o brotamento foliar. Outros autores correlacionam a indução da fase de brotamento ao aumento do fotoperíodo e da temperatura, que funcionaria como um sinal (gatilho) para as plantas, indicando a proximidade das chuvas ou ainda do período de maior irradiação, na qual a fotossíntese pode ser favorecida em árvores tropicais (Talora & Morellato 2000; Bollen & Donati 2005).

As maiores taxas de suculência constatada nos reflorestamentos demonstram a estratégia da espécie de armazenar água em suas folhas, característica essa, presente em plantas que investem na manutenção de um balanço hídrico positivo e altas taxas de aquisição de carbono (Rosado & Mattos 2007). De acordo com Mantovani (1999), habitats com menor disponibilidade hídrica tendem a apresentar maiores taxas de suculência. Moraes *et al.* (2017) verificaram maiores valores de suculência no campo rupestre em relação à floresta de galeria, refletindo sobre o armazenamento de água em folhas de *Myrcia amazônica*, característica essa associada à maior capacidade de estocagem de água em habitat com menor disponibilidade hídrica (Moraes *et al.* 2017). Outro estudo também constatou aumento de suculência ao longo dos meses mais secos em dez espécies arbóreas de restinga (Rosado & Mattos 2007). Os fragmentos florestais apresentaram maior conteúdo relativo de água (CRA) em comparação aos reflorestamentos. O conteúdo relativo de água é um indicador útil do balanço hídrico das plantas (González & Gonzáles-Vilar 2001), pois, reflete o equilíbrio entre o suprimento de água para o tecido foliar e a taxa de transpiração e, segundo Smart & Bingham (1974), folhas transpirantes e totalmente túrgidas apresentam CRA em torno de 98% e, estados de dessecação são constatados em CRA menores que 40%. No período mais seco, florestas jovens podem apresentar restrições em relação à disponibilidade de água em comparação as florestas mais desenvolvidas (Rossi *et al.* 2007). Os reflorestamentos, por apresentarem maiores temperaturas devido à maior incidência de luminosidade no solo e menor umidade relativa do ar podem apresentar menor disponibilidade de água para as plantas, o que pode afetar o balanço hídrico, resultando assim, em uma menor porcentagem de CRA comparado aos fragmentos florestais.

Nos reflorestamentos, a massa seca por unidade de área (MFA) apresentou maiores valores, o que poderia ser uma adaptação para proteger a função das folhas em condições de menor disponibilidade hídrica, conforme sugerido por Niinemets (2001). Em uma espécie a

massa seca da folha por unidade de área está geralmente associada à capacidade fotossintética por unidade de área foliar (Niinemets 1999), podendo ser composta pelas variáveis espessura e densidade foliar (Niinemets2001). Mas espessura e densidade não estão necessariamente correlacionadas (Witkowski & Lamont 1991; Niinemets 1999), sugerindo que o controle dessas variáveis pode ser exercido por diferentes mecanismos.

Foram constatados menores valores de DEN nos fragmentos florestais, o que provavelmente pode ser resultado do maior teor de água e menor incremento em tecido mecânico no mesofilo foliar (Cabral et al. 2018). A DEN está associado a disponibilidade hídrica, na qual influência diretamente na produção de um mesofilo menos ou mais denso (Marschner 1996).

O índice de esclerofilia foi maior no reflorestamento, quando comparado ao fragmento florestal, porém os valores ficaram abaixo de 0,6, que, segundo Rizzini (1997), é o quociente mínimo que caracteriza as folhas esclerófilas. Portanto, os folíolos de *G. kunthiana* não são esclerófilos. A esclerofilia pode ser considerada uma adaptação para conservação de água e, de nutrientes em solos oligotróficos e prevenção contra possíveis perdas foliares em decorrência tanto de fatores abióticos, como o vento, o sol, a chuva, quanto de fatores bióticos como os patógenos e os herbívoros (Turner *et al.* 1994). Folhas esclerofilas possuem cutícula e parede celular externa da epiderme grossas e abundante esclerificação do revestimento dos feixes vasculares e da margem da folha (Turner *et al.* 1993). Possivelmente, o maior valor de IE no reflorestamento esteja relacionado a estes fatores. Segundo Rizzini & Garay (2003), a propriedade de esclerofilia resulta de características morfológicas e fisiológicas das plantas e, espécies perenifólias apresentam folhas mais duras, pesadas e grossas, quando comparada a espécies caducifólias. Em um estudo com espécies arbóreas em três estádios sucessionais distintos (inicial, intermediário e avançado) de uma floresta ombrófila densa, crescendo sob solo arenoso e oligotrófico, no litoral do estado do Paraná, constatou-se maior grau de

escleromorfismo no estágio inicial em comparação aos outros estádios. Os autores concluíram que as variações na morfologia foliar ao longo do gradiente sucessional são relacionadas às mudanças microclimáticas e aos processos de interação planta/solo que se intensificam nos estádios mais avançados (Boeger & Wisniewski 2003).

O ciclo de vida foliar de *G. kunthiana* foi superior ao tempo de observação (>14 meses), não sendo possível analisar se há diferença entre os dois ambientes avaliados. Indivíduos de uma mesma população e também folhas de uma mesma planta diferem em relação ao tempo de vida (Chabot & Hicks 1982). Uma vida útil mais longa das folhas é vantajosa porque prolonga o tempo em que os altos custos de construção de carbono podem ser recuperados (Poorter *et al.* 2006). A heterogeneidade ambiental pode ser uma fonte significativa de variação na vida útil das folhas, tanto entre os tipos de habitat quanto entre microambientes dentro de um habitat, devido a diferenças na estrutura do dossel da floresta, microtopografia ou tamanho de árvore, que influenciam o acesso a recursos subterrâneos (Weiner *et al.* 1990). O tempo de vida da folha de *Myrcia amazonica* diferiu significativamente entre ambientes com características abióticas distintas (Moraes *et al.* 2017). Na floresta de galeria variou entre 14 e 19 meses (média de $16 \pm 2,6$ meses), enquanto no campo rupestre variou entre 13 e 21 meses (média de $18 \pm 3,1$ meses).

A floração de *G. kunthiana* na estação chuvosa está de acordo com os registros de Morellato *et al.* (2000), que sugeriram que, na Mata Atlântica, a floração, em geral, é altamente sazonal e concentrada no período da estação mais úmida. Embora não seja uma regra, a disponibilidade de água é um fator desencadeador da floração em muitas espécies em FES (Perina *et al.* 2019). Em florestas sazonais tropicais, a variação na precipitação tem sido considerada um fator importante para a floração (Rubim *et al.* 2010), enquanto que em florestas temperadas, as espécies respondem mais à temperatura e ao fotoperíodo (Hülber *et al.* 2010). A redução do estresse hídrico (Borchert 1983, 2000; Singh & Kushwaha 2006) ou

as primeiras chuvas (Opler *et al.* 1976; Singh & Kushwaha 2006) podem influenciar o início das fenofases reprodutivas. De acordo com a classificação de Newstrom *et al.* (1994), a floração de *G. kunthiana* pode ser classificada como anual, regular, de fluxo intermediário. Houve sincronia entre os indivíduos dos fragmentos florestais e entre os indivíduos dos reflorestamentos, favorecendo a alogamia (polinização cruzada), conforme sugerido por Adler & Kielinski (2000). Os maiores picos de atividade e intensidade das fenofases reprodutivas ocorreram nos fragmentos florestais. Uma possível explicação para esta diferença é que, nos reflorestamentos, muitos indivíduos eram imaturos reprodutivamente. Em florestas tropicais sazonais, muitas espécies zoocóricas apresentam o pico de maturação de frutos no período chuvoso (Adler & Kielinski 2000; Justiniano & Fredericksen 2000; Pedroni *et al.* 2002; Singh & Kushwaha 2006), o que possibilita maior sucesso na germinação das sementes e no estabelecimento das plântulas, estando de acordo com o que foi observado no presente estudo.

Os reflorestamentos podem ser considerados ambientes mais "estressantes" do que os fragmentos florestais, uma vez que, são caracterizados por uma maior incidência luminosa e menor umidade relativa do ar, fatores esses que podem ter culminado com uma menor ocorrência das fenofases reprodutivas. Outra possível explicação é, que os indivíduos dos reflorestamentos talvez não tenham atingido a maturidade reprodutiva, o que explica as diferenças entre reflorestamentos e fragmentos florestais. Estudos sobre fenologia e dinâmica de populações, de médio a longo prazo, poderão indicar se os indivíduos se reproduzirão e permanecerão nos reflorestamentos.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam a existência de plasticidade em *Guarea kunthiana*, refletindo as respostas fenológicas e de atributos funcionais dos folíolos da espécie às características

ambientais presentes em fragmentos de floresta estacional semidecidual e em reflorestamentos adjacentes.

Os reflorestamentos apresentaram maiores taxas de abscisão e de brotamento foliar e atributos foliolares indicativos de maior exposição à luz e menor disponibilidade hídrica, com maiores valores de SUC, MFA e IE, e menores valores de AFE e CRA, em comparação aos fragmentos florestais.

Estudos fenológicos e de atributos funcionais auxiliam na compreensão da adaptação da espécie em resposta as alterações no ambiente, sendo estas informações necessárias para a sua conservação e manejo. Tais informações contribuirão para a avaliação do funcionamento das comunidades que estão sendo restauradas, ou seja, o quanto elas se aproximam do seu ecossistema de referência, determinando assim a similaridade de aspectos estruturais e atributos funcionais entre fragmentos florestais e reflorestamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adler GH, Kielpinski KA. 2000. Reproductive phenology of a tropical canopy tree, *Spondias mombin*. *Biotropica* 32(4): 686-692.

Alvarenga AA, Castro EM, Junior ECL, Magalhães MM. 2003. Effect of different light levels on initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. *Revista Árvore* 27(1): 53-57.

Araujo VKR, Santos JMFF, Araújo EL, Pimentel RMM, Silva KA. 2017. Influence of leaf morphometric variations on the growth of seedlings and juveniles of woody species in a semiarid environment. *Brazilian Journal of Botany* 40(4): 1019-1028.

- Araujo VKR, Silva GB, Araújo EL, Pimentel EMM, Silva KA. 2019. Spatio-temporal variation in leaf morphofunctional attributes and relation to growth and survival of young woody plants. *Brazilian Journal of Botany* 42(1): 1-11.
- Bencke CSC, Morellato PC. 2002. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Revista Brasileira de Botânica* 25(3): 269-275.
- Bhering SB, Santos HG, Manzatto CV, *et al.* 2007. Mapa de solos do estado do Paraná. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 73 p.
- Bianchini E, Pimenta JA, Santos FAM. 2001. Spatial and temporal variation in the canopy cover in a tropical semi-deciduous forest. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 44(3): 269-276.
- Bianchini E, Pimenta JA, Santos FAM. 2006. Fenologia de *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl. (Sapotaceae) em floresta semidecídua do Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 29(4): 595-602.
- Boeger MRT, Wisniewski. 2003. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 1(26): 61-72.
- Bollen A, Donati G. 2005. Phenology of the littoral forest of Sainte Luce, Southeastern Madagascar. *Biotropica* 37(1): 32-43.
- Borchert R. 1983. Phenology and control of flowering in tropical trees. *Biotropica* 15(2):81-89.

Borchert R. 2000. Organismic and environmental controls of bud growth in tropical trees. In: Viomont JD, Crabbo J (eds.) Dormancy in plants: from whole plant behavior to cellular control. Wallingford, CAB International. p.87-107.

Boyer JS, James RA, Munns R, Condon TAG. 2008. Osmotic adjustment leads to anomalously low estimates of relative water content in wheat and barley. *Functional Plant Biology* 35(11): 1172-1182.

Braga NS, Vitória AP, Souza GM, Barros CF, Freitas L. 2016. Weak relationships between leaf phenology and isohydric and anisohydric behavior in lowland wet tropical forest trees. *Biotropica* 48(4): 453-464. doi:10.1111/btp.12324.

Bulhão CF, Figueiredo PS. 2002. Fenologia das leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. *Revista Brasileira de Botânica* 25(3): 361-369.

Cabral RDC, Melo Junior JCF, Matilde-Silva M. 2018. Plasticidade morfoanatômica foliar em *Smilax campestris* (Smilacaceae) em gradiente ambiental de restinga, SC, Brasil. *Hoehnea* 45(2):173–183.

Campetella G, Chelli S, Wellstein C, *et al.* 2019. Contrasting patterns in leaf traits of Mediterranean shrub communities along an elevation gradient: measurements matter. *Plant Ecology* 220(7/8): 765-776.

Carvalho APF, Bustamante MMC, Kozovits AR, Asner GP. 2007. Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies de cerrado com diferentes estratégias fenológicas. *Brazilian Journal of Botany* 30(1): 19-27.

Chabot BF, Hicks DJ. 1982. The ecology of leaf life spans. *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 229-259.

Cobb NS, Mopper S, Gehring CA, Caouette M, Christensen KM, Whitham TG. 1997. Increased moth herbivory associated with environmental stress of pinyon pine at local and regional levels. *Oecologia* 109: 389-397.

Coley PD, Barone JA. 1996. Herbivory and plant defenses in tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 305-335.

Falcão HM, Medeiros CD, Almeida-Cortez JS, Santos MG. 2017. Leaf construction cost is related to water availability in three species of different growth forms in a Brazilian tropical dry forest. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 29: 95-108. doi:10.1007/s40626-017-0087-9.

Falcão HM, Medeiros CD, Silva BLR, Sampaio EVSB, Almeida-Cortez JS, Santos MG. 2015. Phenotypic plasticity and ecophysiological strategies in a tropical dry forest chronosequence: a study case with *Poincianella pyramidalis*. *Forest Ecology and Management* 340: 62-69. doi: 10.1016/j.foreco.2014.12.029.

Ferracin TP, Silva VT, Medri PS, Bianchini E, Pimenta JA, Torezan JMD. 2010. Comparação de parâmetros bióticos e abióticos entre fragmento de floresta secundária nativa e um reflorestamento de *Pinus taeda* L. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde* 31(2): 179-188.

Flores TB, Souza VC, Coelho, RLG. 2017. Flora do Espírito Santo: Meliaceae. *Rodriguésia* 68(5): 1693-1723. doi: 10.1590/2175-7860201768512.

Fournier LA. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba* 24: 422-423.

Fox J, Weisber S. 2019. *An R Companion to Applied Regression*, 3rd edition. Sage, Thousand Oaks CA.

Frankie GW, Baker HG, Opler PA. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 62(3): 881-919.

Funch LS, Funch R, Barroso GM. 2002. Phenology of gallery and montane forest in the Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. *Biotropica* 34(1): 40–50.

González L, González-Vilar M. 2001. Determination of Relative Water Content. In: Reigosa Roger MJ (ed.) *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*. Springer, Dordrecht. p. 207-212.

Goulart MF, Filho JPL, Lovato MB. 2005. Phenological variation within and among populations of *Plathymenia reticulata* in Brazilian Cerrado, the Atlantic Forest and transitional sites. *Annals of Botany* 96(3): 445-455. doi:10.1093/aob/mci193.

Hernandes JL, Pedro Júnior MJ, Bardin L. 2004. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua. *Revista Árvore* 28(2):167-172. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000200002>.

Hoffmann WA, Franco AC, Moreira MZ, Haridasan M. 2005. Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and Forest trees. *Functional Ecology* 19(6): 932-940. doi:10.1111/j.1365-2435.2005.01045.x.

Hülber K, Winkler M, Grabherr G. 2010. Intraseasonal climate and habitat - specific variability controls the flowering phenology of high alpine plant species. *Functional Ecology* 24(2): 245-252.

Iapar (Instituto Agronômico do Paraná). 2019. Agrometeorologia. <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2603>. Acesso em: 25 de novembro de 2019.

Johnson DM, Berry ZC, Baker KV, Smith DD, McCulloh A, Domec J. 2018. Leaf hydraulic parameters are more plastic in species that experience a wider range of leaf water potentials. *Functional Ecology* 32(4): 894-903.

Justiniano MJ, Fredericksen TS. 2000. Phenology of tree species in Bolivian dry forests. *Biotropica* 32(2): 276-281.

Klein RM. 1984. Meliáceas, I parte. In: Reitz, R (ed.) *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues. p. 96-99.

Klich MR. 2000. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environmental and Experimental Botany* 44(3): 171-183.

Kollmann J & Buschor M. 2003. Edge effects on seed predation by rodents in deciduous forests of northern Switzerland. *Plant Ecology* 164(2): 249-261.

Kovach. 2004. Oriana for Windows. Wales, Kovach Computing Services.

Lorenzi H. 2009. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Vol 2, 3ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum.

Mantovani A. 1999. Leaf morpho-physiology and distribution of epiphytic aroids along a vertical gradient in a Brazilian rain forest. *Selbyana* 20(2): 241-249.

Marschner H. 1996. *Mineral nutrition of higher plants*. second edition. 889 pp. London: Academic Press (paperback). *Annals of Botany* 78:523–528.

Moraes AS, Vitoria AP, Rossato DR, Miranda LP, Fuch LS. 2017. Leaf phenology and morphofunctional variation in *Myrcia amazonica* DC. (Myrtaceae) in gallery forest and

“campo rupestre” vegetation in the Chapada Diamantina, Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 40(2): 439-450.

Morellato LPC, Rodrigues RR, Leitão Filho HF, Joly CA. 1989. Estudo comparativo da fenologia de espécies arbóreas de floresta de altitude e floresta mesófila semidecídua na Serra do Japi, Jundiaí. *Revista Brasileira de Botânica* 1/2(12): 85-98.

Morellato LPC. 1991. Fenologia de árvores, arbustos e lianas em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Morellato LPC, Leitão Filho HF. 1990. Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta mesófila na Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo. *Revista Brasileira de Biologia* 50: 163-173.

Morellato LP, Talora DC, Takahasi A, Bencke CC, Romera EC, Valescka BZ. 2000. Phenology of Atlantic Rain Forest trees: a comparative study. *Biotropica* 32(4b): 811-823.

Murcia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Tree* 2(10): 58-62.

Naramoto M, Katahata S, Mukai Y, Karubari Y. 2006. Photosynthetic acclimation and photoinhibition on exposure to high light in shade-developed leaves of *Fagus crenata* seedlings. *Flora* 201(2): 120-126. doi: 10.1016/j.flora.2005.04.008.

Newstrom LE, Frankie GW, Baker HG. 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26(2): 141-159.

NiinemetsU. 1999. Research review. Components of leaf dry mass per area - thickness and density - alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. *New Phytologist* 144(1): 65-47.

NiinemetsU. 2001. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology* 82(2): 453-469.

Opler PA, Frankie GW, Baker HG. 1976. Rainfall as a factor in the release, timing and synchronization of anthesis by tropical trees and shrubs. *Journal of Biogeography* 3(3):231-236.

Pedroni F, Sanchez M, Santos FAM. 2002. Fenologia de copaífera (*Copaifera langsdorffii* Desf. Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 25(2):183-194.

Pérez-Harguindeguy N, Díaz S, Garnier E, *et al.* 2013. New handbook for standardized measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61: 167-234.

Perina BB, Liboni AP, Montanher DR, Messetti AVL, Pimenta JA, Bianchini E. 2019. Phenology of the tree community in a seasonal Forest in southern Brazil. *Brazilian Journal of Botany* 42: 477-490.

Poorter H, Pepin S, Rijkers T, *et al.* 2006. Construction costs, chemical composition and payback time of high-and-low-irradiance leaves. *Journal of Experimental Botany* 57(2): 355-371.

Puglielli G, Crescente M, Frattaroli A, Gratani L. 2015. Leaf mass per area (LMA) as a possible predictor of adaptive strategies in two species of *Sesleria* (Poaceae): analysis of

morphological, anatomical and physiological leaf traits. *Annales Botanici Fennici* 52(1/2): 135-143.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Reich PB. 1995. Phenology of tropical forest: patterns, causes and consequences. *Canadian Journal of Botany* 73(2): 164-174.

Reich PB, Borchert R. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Botany* 72(1): 61-74.

Rizzini CT. 1997. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Âmbito Cultural Ltda, Rio de Janeiro. p. 154.

Rizzini CM & Garay I. 2003. A esclerofilia foliar como indicador funcional do status da biodiversidade em Floresta Atlântica de Tabuleiros. In: Garay I, Rizzini CM. (eds). *A Floresta Atlântica de Tabuleiros: diversidade funcional da cobertura arbórea*. Petrópolis, Rio de Janeiro. p. 35-49.

Rosa RK, Reinaldo IB, Suzanne K. 2013. How do habitat and climate variation affect phenology of the Amazonian palm, *Mauritia flexuosa*? *Journal of Tropical Ecology* 29(3): 255-259. doi:10.1017/S0266467413000242.

Rosado BH, Mattos EA. 2007. Variação temporal de características morfológicas de folhas em dez espécies do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 21(3): 741-752.

Rossi LMB, Koehler HS, Arce J, Sanquetta CR. 2007. Modelagem de recrutamento em florestas. *Revista Floresta* 37(3): 453-467.

Rubim P, Nascimento HEH, Morellato LPC. 2010. Interannual variation in the phenology of a tree community in a semideciduous seasonal Forest in southeast Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 24(3): 756-762.

Salazar PC, Navarro-Cerrillo RM, Cruz G, Villar R. 2018. Intraspecific leaf functional trait variability of eight *Prosopis pallida* tree populations along a climatic gradient of the dry forests of northern Peru. *Journal of Arid Environments* 152: 12-20.

Sarijeva G, Knapp M, Lichtenthaler HK. 2007. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll an carotenoid levels, and chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of *Gingo* and *Fagus*. *Journal of Plant Physiology* 164(7): 950-955.

Schowalter TD, Hargrove WW, Crossley Jr DA. 1986. Herbivory in forested ecosystems. *Annals Review of Entomology* 31: 177-196.

Sinclair TR, Zwieniecki MA, Holbrook NM. 2008. Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean. *Physiologia Plantarum* 132(4): 446-51. doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.01028.x.

Singh KP, Kushwaha CP. 2006. Diversity of flowering and fruiting phenology of trees in a tropical deciduous forest in India. *Annals of Botany* 97(2): 265-276.

Smart RE, Bingham GE. 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology* 53: 258-260.

Souza LA, Moscheta IS, Mourão KSM, Rosa SM. 2002. Morfo-anatomia da flor de *Guarea kunthiana* A. Juss. e de *Guarea macrophylla* Vahl. (Meliaceae). *Acta Scientiarum* 24(2): 591-600.

Suganuma MS, Torezan JMD, Cavalheiro ALV, André LL, Benato T. 2008. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. *Revista Árvore* 32(2): 377-385.

Talora DC, Morellato PC. 2000. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 23(1):13-26. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042000000100002>.

Turner IM, Choong MF, Tan HTW, Lucas PW. 1993. How tough are sclerophylls. *Annals of Botany* 71(4): 343-345.

Turner IM. 1994. Sclerophylly: primary protective? *Functional Ecology* 6(8): 669-675

Venables WN, Ripley BD. 2002. *Modern applied statistics with S*. 4th ed. Springer, New York.

Vieira TO, Degli-Esposti MSO, Souza GM, Rabelo GR, Cunha MDA, Vitória AP. 2015. Photoacclimation capacity in seedling and sapling of *Siparuna guianensis* (Siparunaceae): response to irradiance gradient in tropical forest. *Photosynthetica* 53(1): 11-22.

Villar R, Merino J. 2001. Comparison of leaf construction costs in woody species with differing leaf life-spans in contrasting ecosystems. *New Phytologist* 151(1): 213-226.

Weiner J, Berntson GM, Thomas SC. 1990. Competition and growth form in a woodland annual. *The Journal of Ecology* 78(2): 459-469.

Wellstein C, Poschlod P, Gohlke A, *et al.* 2017. Effects of extreme drought on specific leaf area of grassland species: a meta-analysis of experimental studies in temperate and sub-mediterranean systems. *Global Change Biology* 23(6):2473–2481.

Westoby M. 1998. A leaf-height-seed (lhs) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil* 199: 213-227. <https://doi.org/10.1023/A:1004327224729>.

Witkowski ET, Lamont BB. 1991. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia* 88: 486-493.

Wright IJ, Reich PB, Westoby M. 2001. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of highland low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. *Functional Ecology* 15(4): 423–434.

Zangaro W, Andrade G. 2002. Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. In: Medri ME, Bianchini E, Pimenta JA, Shibata O (eds.) *A bacia do rio Tibagi*. Londrina, Edição dos editores.p. 171-210.

Zar, J. H. 1999. *Biostatistic alanalysis*. 5th ed. New Jersey, Prentice-Hall.

APÊNDICES

Tabela 1. Altura, circunferência à altura do peito (CAP) e diâmetro à altura do peito (DAP) no fragmento florestal e reflorestamento da Fazenda Congonhas, Rancho Alegre, norte do Paraná, sul do Brasil. CAP = circunferência à altura do peito; DAP = diâmetro à altura do peito.

	Indivíduo	Altura (m)	CAP (cm)	DAP (cm)
Fragmento florestal	01	4,5	12,5	3,98
	02	7	20	6,36
	03	5,8	39	12,42
	04	3,90	14,7	4,68
	05	5	13	4,14
	06	5,5	18	5,73
	07	5	15,2	4,84
	08	5,40	40	12,73
	09	5,50	19,5	6,21
	10	6	20	6,36
	11	3,50	15	4,77
	12	3,40	16	5,09
Reflorestamento	01	6,30	26,3	8,37
	02	6	18	5,73
	03	8	13,2	4,20
	04	6	20,5	6,52
	05	7,5	28	8,91
	06	7,5	20	6,36
	07	5	14,5	4,61
	08	6,30	15,7	5
	09	8	28	8,91
	10	5,30	16	5,09
	11	5,40	32	10,19

Tabela 2. Altura, circunferência à altura do peito (CAP) e diâmetro à altura do peito (DAP) no fragmento florestal e reflorestamento da Fazenda Santo Antônio, Sertaneja, norte do Paraná, sul do Brasil. CAP = circunferência à altura do peito; DAP = diâmetro à altura do peito.

	Indivíduo	Altura (m)	CAP (cm)	DAP (cm)
Fragmento florestal	01	3	13,2	4,20
	02	3,60	11,5	3,66
	03	3	11	3,50
	04	4,30	12,6	4,01
	05	6,20	20	6,36
	06	4,90	13,8	4,39
	07	5,90	14	4,45
	08	3,40	35	11,14
	09	6,40	20,2	6,43
	10	7,20	40	12,73
	11	5,80	24	7,64
	12	6,90	30,5	9,71
Reflorestamento	01	6	20	6,36
	02	4,5	27	8,59
	03	4,30	19,3	6,14
	04	6	16	5,09
	05	4,40	30	9,55
	06	4,50	12,7	4,04
	07	4	10,5	3,34
	08	7	15	4,77
	09	4,50	10	3,18
	10	3,80	15,5	4,93
	11	4,5	14,3	4,55

Tabela 3. Altura, circunferência à altura do peito (CAP) e diâmetro à altura do peito (DAP) no fragmento florestal e reflorestamento Matas do Cici, Alvorada do Sul, norte do Paraná, sul do Brasil. CAP = circunferência à altura do peito; DAP = diâmetro à altura do peito.

	Indivíduo	Altura (m)	CAP (cm)	DAP (cm)
Fragmento florestal	01	3,20	20,3	6,46
	02	8,20	24	7,64
	03	5,30	16,5	5,25
	04	6	19,3	6,14
	05	3,80	10,5	3,34
	06	3,10	10	3,18
	07	3,5	22	7,0
	08	5,60	19,5	6,21
	09	3	49,5	15,76
	10	4,90	10	3,18
	11	4,20	15,5	4,93
Reflorestamento	01	4	15,5	4,93
	02	3,40	10,2	3,24
	03	5	18	5,73
	04	2,90	9,5	3,02
	05	3,20	10,3	3,28
	06	2,40	7,5	2,38
	07	5,50	18	5,73
	08	3,20	19	6,05
	09	2,15	10,2	3,24

Tabela 4. Altura, circunferência à altura do peito (CAP) e diâmetro à altura do peito (DAP) no fragmento florestal e reflorestamento do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, norte do Paraná, sul do Brasil. CAP = circunferência à altura do peito; DAP = diâmetro à altura do peito.

	Indivíduo	Altura (m)	CAP (cm)	DAP (cm)
Fragmento florestal	01	4,5	18	5,73
	02	3,5	14,5	4,61
	03	5	15	4,77
	04	6,2	16,2	5,15
	05	7	19	6,05
	06	5,3	20	6,36
	07	4,5	10,2	3,24
	08	7	13	4,14
	09	4,5	17,5	5,57
	10	3,5	18	5,73
Reflorestamento	01	5,6	15	4,77
	02	4,2	18,5	5,89
	03	3,8	16,3	5,19
	04	2,8	23	7,32
	05	3,4	15,5	4,93
	06	4	13	4,14
	07	4	12	3,82
	08	5,2	13,8	4,39
	09	4,7	10,5	3,34
	10	5,1	18	5,73