

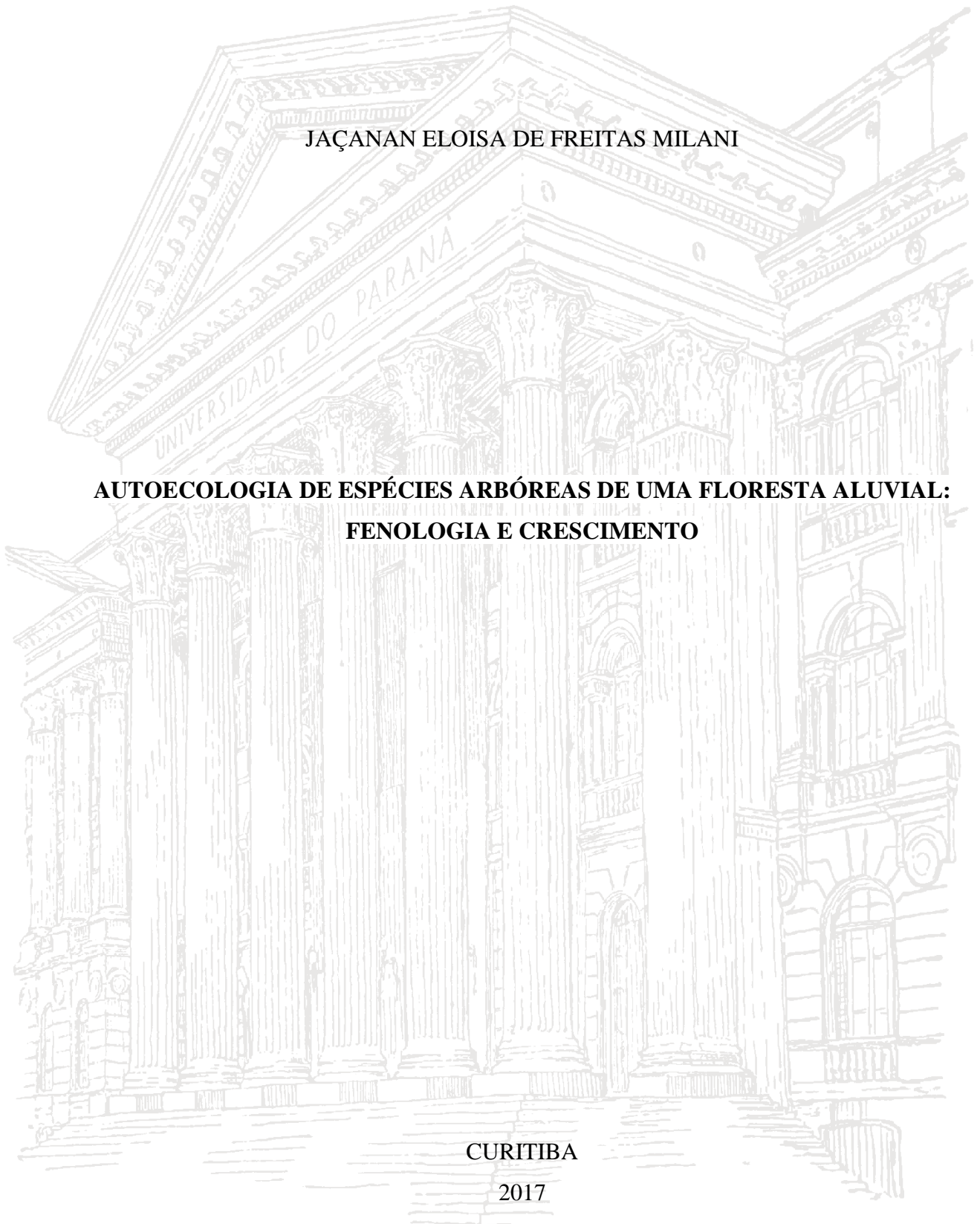
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JAÇANAN ELOISA DE FREITAS MILANI

**AUTOECOLOGIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ALUVIAL:
FENOLOGIA E CRESCIMENTO**

CURITIBA

2017



JACANAN ELOISA DE FREITAS MILANI

**AUTOECOLOGIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA
ALUVIAL: FENOLOGIA E CRESCIMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Conservação da Natureza, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Florestal.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan

CO-ORIENTADORES: Prof. Dr. Rodrigo de Andrade Kersten

Prof. Dr. Franklin Galvão

Prof.^a Dr.^a Erika Amano

CURITIBA

2017

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Milani, Jaçanan Eloisa de Freitas

Autoecologia de espécies arbóreas de uma floresta aluvial: fenologia e crescimento / Jaçanan Eloisa de Freitas Milani. – Curitiba, 2017.

92 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan

Coorientadores: Prof. Dr. Rodrigo de Andrade Kersten

Prof. Dr. Franklin Galvão

Prof.^a Dr.^a Erika Amano

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 17/02/2017.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Fenologia. 2. Comunidades vegetais. 3. Ecologia vegetal. 4. Árvores – Crescimento. 5. Teses. I. Roderjan, Carlos Vellozo. II. Kersten, Rodrigo de Andrade. III. Galvão, Franklin. IV. Amano, Erika. V. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. VI. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.181.8



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **JAÇANAN ELOISA DE FREITAS MILANI** intitulada: **AUTOECOLOGIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ALUVIAL: FENOLOGIA E CRESCIMENTO**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 17 de Fevereiro de 2017.

CARLOS VELLOZO RODERJAN

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

ERIKA AMANO

Avaliador Externo (UFPR)

KELLY GERONAZZO MARTINS

Avaliador Externo (UNICENTRO)

MARTA REGINA BARROTTO DO CARMO

Avaliador Externo (UEPG)

CHRISTOPHER THOMAS BLUM

Avaliador Interno (UFPR)



“Antes que você possa aprender sobre as árvores, você deve primeiro aprender a linguagem das árvores”. (J. E. F. M)

A todas as pessoas que se dedicam a este propósito, dedico.

A minha grande família de sangue e aos meus amigos que considero minha família, dedico.

AGRADECIMENTOS

À medida que aprendi a agradecer pelas pessoas que fazem parte da minha vida, pelas conquistas diárias, pelos desafios e pelos ensinamentos adquiridos, a vida passou a ser ainda mais generosa comigo... Por isso continuo agradecendo...

Agradeço a Deus pelo dom da vida.

Minha sempre gratidão ao meu estimado orientador Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan, pela amizade, pelos ensinamentos, pelas boas conversas e pelo exemplo de pessoa que é! Pela gentileza e agradável presença em minha vida.

Ao meu querido amigo, co-orientador Prof. Dr. Franklin Galvão, por ter me apoiado em tantos projetos profissionais que surgiram no decorrer da vida acadêmica, pelas inúmeras conversas, por ter dividido seu conhecimento diariamente. Pelas trocas de ideias, pelos inúmeros cafezinhos e pela alegria da convivência.

Ao Prof. Dr. Rodrigo de Andrade Kersten, pela infinita paciência, por tudo que me ensinou, pelas ajudas fundamentais como co-orientador durante o mestrado e doutorado. Pela segurança que sempre me passou, por me estimular com reflexões. Minha gratidão está além dessas linhas.

À minha co-orientadora Prof.^a Dr.^a Érika Amano, cuja convivência nesses últimos anos foi fundamental para que este processo de tese fosse possível; grata pelos teus ensinamentos, amizade e pela paciência em me ouvir sempre.

À Capes e ao Cnpq, pela concessão da bolsa de estudos, parte importante para que esta capacitação fosse alcançada.

Ao professor Dr. Christopher Thomas Blum, um bom amigo, parceiro de trabalho e publicações. Obrigada por todas as experiências compartilhadas, pelas conversas sobre fenologia. E por toda a sua ajuda e disposição ao longo dos anos.

Aos meus colegas que foram inúmeras vezes ao campo para a coleta de dados, à minha querida equipe de fenologia, que ao longo de seis anos, que me ajudaram muito. A todos que foram ao campo coletar os dados. A Tomaz, Victor, Dieter, Thiago, Amanda, Gustavo Lima, Eder, Aurélio, Uberson, Tiaro, Manoela, Ediberto, Diego, Alexandre, Michella, Raquel, Roder, Franklin, Nogueira.

Ressalto a ajuda importantíssima do amigo Bruno Palka Miranda, pela boa vontade e empenho nas atividades de coleta da Repar ao longo desses anos. Bons momentos foram compartilhados nesta jornada.

Ao meu parceiro dessa jornada, desde o ingresso no programa de pós-graduação, Tomaz Longhi Santos, pela convivência, pela amizade, por cada desafio vivenciado. Obrigada por dividir os mesmos anseios e alegrias. Sou muito grata a ti!

Ao meu querido amigo, cuja a gratidão é e sempre será imensa, Aurélio Lourenço Rodrigues, pelo convívio, pela amizade, por toda a ajuda que dispensou a mim ao longo dos anos, desde que o conheci na pós. Grata pelas ajudas estatísticas, pelas leituras, pelo incentivo e por ter sido um presente em minha vida.

Aos meus queridos Maria Raquel Kanieski e Philipe Casimiro Soares, pela amizade e ajuda que me deram no início do Doutorado, sempre serei grata.

Ao grande amigo Mauricio Savi, pela generosidade, por ter me dado a grande oportunidade da docência e por ter acreditado na minha capacidade de lidar com este desafio. Aproveito e agradeço ao querido professor Carlos Gomes, ao professor Marcos Kamienski, ao professor Arivonil Matoski, aos meus alunos e aos meus colegas professores da Faculdade Bagozzi, pelo convívio e amizade.

Ao meu querido Thiago Wendling Gonçalves de Oliveira, pela tranquilidade emocional que me proporcionou, pelo apoio incondicional em cada etapa. Por tantos momentos compartilhados que fizeram minha vida ficar ainda melhor, sou grata pela tua existência.

À minha família, à minha mãe amada Sandra, por sempre me fazer lembrar que eu sou capaz de conquistar o mundo. Aos três maiores presentes que a vida me deu, minhas irmãs, Jaqueline, Joana e Juliana – cada dia eu tenho a certeza que a vida não teria o menor sentido ser ter vocês! Obrigada! Às minhas tias, tios e primos, pelo apoio. Ao meu pai, por tudo o que me proporcionou para que eu chegasse até aqui.

À minha segunda família de coração, Cássia e Elton Vacarro, por estarem sempre por perto durante toda a minha trajetória acadêmica e profissional, pela amizade e afeto e por serem pais dos meninos que alegram a minha vida, Victor Hugo e Vicente Augusto.

Aos meus queridos “Bão da Pós”: Ao meu “best” amigo Aurélio Rodrigues. À Linéia Roberta Zen, pela grande amizade. Victor Hugo Andrade, meu amigo e parceiro de tantas horas! À Manoela Mendes Duarte, pela amizade e companheirismo e por fazer o melhor chimarrão para mim. Ao Francisco Gasparetto Higuchi, meu primo, pela grande amizade que desenvolvemos nesses seis anos. À Jaqueline Valerius, pelas boas conversas e amizade. À Dagma Kratz, pela amizade e companheirismo. Ao meu Titi – Thiago W. G. Oliveira, por fazer parte deste grupo de amigos e por ser, além de tudo, meu grande amigo! Obrigada a cada um de vocês; eu adoro todos!

Aos especiais... Ao meu amigo “mestre” Eder Caglioni, pela amizade e companheirismo em todos os momentos. À Mayara Dalla Lana, pela amizade mesmo estando distante. Ao Uberson Boaretto Rossa, pela amizade e parceria e por ter sempre me ajudado muito. Aos amigos Rafael Braz Leite, Rafaella Curto, Alessandro Panassolo, Marcelo Bosco Pinto, Rômulo Môra. Ao meu amigo Dieter Liebsch, pelas leituras e trocas de ideias sempre pertinentes. À minha querida Lúcia Burda, por sua amizade e carinho! À Simone Pereira, pela amizade e pela disposição em sempre ajudar.

Aos professores Yoshiko Saito Kuniyoshi, Antonio Carlos Nogueira, Alessandro Camargo e Décio José de Figueiredo, por tantos momentos bons compartilhados. Agradeço também a todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo aprendizado e excelente convívio durante este ciclo.

Ao Laboratório de Botânica Estrutural, do Departamento de Botânica, pela estrutura e ajuda fornecida. Ao Laboratório de Melhoramento Florestal, do Departamento de Ciências Florestais. Ao Laboratório de Dendrologia, em especial aos “meninos”, os estagiários e colaboradores, pelo agradável convívio.

Ao meu “sócio” Thiago Henry Carvalho, por todas as ajudas dispensadas ao longo do mestrado e doutorado.

“Apenas um guerreiro pode suportar o caminho do conhecimento. Um guerreiro não se queixa nem se lamenta de nada, não acha que desafios são bons ou maus. Os desafios são simplesmente desafios”

RESUMO

Embora estudos fenológicos sejam importantes para o entendimento da interação de espécies arbóreas dentro de uma comunidade florestal, raros são os que envolvem monitoramento de longo prazo, agravados por um conjunto de dados ambientais muito restritos para explicar os padrões observados. Dados fenológicos podem ainda ser combinados com informações sobre a formação anual da madeira (atividade cambial) e o incremento diamétrico das espécies, fornecendo importantes direcionamentos para elucidar diversas questões que ainda persistem acerca da história de vida das plantas. O primeiro capítulo, intitulado “*Phenology and tree radial growth of Schinus terebinthifolius, throughout a 5-year period, in hydromorphic soil environment*”, apresenta um estudo experimental sobre a relação entre a fenologia e o crescimento radial de *Schinus terebinthifolius* ao longo de um período de cinco anos. Deste capítulo conclui-se que o incremento de diamétrico está intrinsecamente relacionado à fenofase de floração. Aparentemente, não há demanda conflitante de recursos, mas uma distribuição otimizada deles, regulada principalmente pela alocação de nutrientes derivados da senescência foliar, bem como, aumento de temperatura e fotoperíodo. O segundo capítulo, intitulado “*Comportamento fenológico de espécies vegetais arbóreas, nativas e exóticas, em ambiente aluvial: um estudo de longa duração*”, busca apresentar informações sobre o comportamento fenológico de duas espécies autóctones e duas espécies alóctones durante cinco anos, buscando estabelecer relações entre a fenologia dessas espécies. Espécies exóticas, em clara estratégia de nicho vago, tiveram seus picos fenológicos em períodos em que a expressão das espécies nativas não era tão intensa. Identificou-se também que as espécies exóticas optam por expressar suas fenofases reprodutivas em condições térmicas coincidentes com o aumento das temperaturas. De forma geral, o fotoperíodo e as temperaturas mínimas foram os principais fatores a influenciar as fenofases, enquanto a precipitação não apresentou relação com as fenofases. O terceiro capítulo, “*Crescimento radial, atividade cambial e fenologia de espécies arbóreas de uma floresta subtropical no Sul do Brasil*”, investiga a relação do incremento diamétrico e da atividade cambial com o comportamento fenológico das espécies, buscando responder que variáveis meteorológicas e fenológicas influenciam no incremento diamétrico e que variáveis fenológicas têm relação com a atividade cambial dessas espécies. Os resultados apontam que as quatro espécies monitoradas têm seu incremento diamétrico fortemente influenciado pelas variáveis meteorológicas temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima e fotoperíodo. Não foi detectada influência da precipitação no incremento diamétrico. Parte do incremento diamétrico de duas espécies também foram explicadas por influência das fenofases. Para *G. klotzschiana*, folha madura, folha senescente e fruto imaturo; e para *H. dulcis*, folha madura, folha senescente e fruto maduro. A atividade cambial é sazonal, sendo identificados períodos de atividade e inatividade nas quatro espécies. A atividade do câmbio ocorre principalmente na primavera e no verão. O quarto capítulo, “*Variação inter-anual no comportamento fenológico de duas espécies arbóreas em Floresta Aluvial*”, procura averiguar possíveis alterações no comportamento fenológico de duas espécies em função das variações meteorológicas. Os resultados sugerem que as espécies apresentam comportamento fenológico semelhante durante os anos, porém foram detectadas variações na intensidade das fenofases entre os anos analisados, podendo ser resposta das variações de temperatura e precipitação. Com os dados de correlações obtidos entre as fenofases e as variáveis meteorológicas, foi possível concluir que diferentes sinais meteorológicos são sentidos pelas plantas para expressar suas fenofases. Ao que tudo indica, há uma tendência de as

temperaturas serem importante fatores que influenciam as fenofases, mas que o período de monitoramento pode também regular esses fatores.

Palavras-chave: Atividade cambial; fotoperíodo; incremento diamétrico; espécies nativas; espécies exóticas invasoras.

ABSTRACT

Although phenological studies are important for the understanding of the interaction of tree species within a forest community, rare are those that involve long-term monitoring, aggravated by a set of very restricted environmental data to explain the observed patterns. Phenological data can also be combined with information on the annual formation of wood (exchange rate activity) and the diametric increase of the species, providing important directions to elucidate several questions that still persist about the life history of plants. The first chapter, titled "*Phenology and tree radial growth of Schinus terebinthifolius, throughout the 5-year period, in hydromorphic soil environment*", presents an experimental study on the relationship between phenology and radial growth of *Schinus terebinthifolius* over a period of five years. From this chapter we conclude that the diameter increment is intrinsically related to the flowering phenophase. Apparently, there is no conflicting demand for resources, but an optimized distribution of them, regulated mainly by the allocation of nutrients derived from leaf senescence, as well as, temperature and photoperiod increase. The second chapter, entitled "*Phenological behavior of native and exotic tree species, in an alluvial environment: a long-term study*", seeks to present information about the phenological behavior of two native species and two allochthonous species during five years, seeking to establish relationships between the phenology of these species. Exotic species, in clear vague niche strategy, had their phenological peaks in periods when the expression of native species was not as intense. It was also identified that the exotic species choose to express their reproductive phenophases under thermal conditions coincident with the increase in temperatures. In general, the photoperiod and the minimum temperatures were the main factors influencing the phenophases, whereas the precipitation was not related to the phenophases. The third chapter, "*Radial growth, activity cambium e and phenology of tree species of a subtropical forest in the South of Brazil*", investigates the relation of the diametric increase and the exchange rate activity with the phenological behavior of the species, trying to answer that the meteorological and phenological variables influence In the diametric increase and that phenological variables are related to the activity cambium of these species. The results indicate that the four species monitored have their diametric increase strongly influenced by the meteorological variables average temperature, minimum temperature, maximum temperature and photoperiod. No influence of precipitation was detected on the diametric increase. Part of the diametric increase of two species was also explained by the influence of the phenophases. For *G. klotzschiana*, ripe leaf, senescent leaf and green fruit; And for *H. dulcis*, mature leaf, senescent leaf and mature fruit. The activity cambium is seasonal, with periods of activity and inactivity being identified in the four species. Exchange activity occurs mainly in the spring and summer. The fourth chapter, "Inter-annual variation in the phenological behavior of two tree species in Alluvial Forest", seeks to investigate possible changes in the phenological behavior of two species in function of the meteorological variations. The results suggest that the species exhibit similar phenological behavior during the years, although variations in the intensity of the phenophases were observed between the analyzed years, being able to be response of the variations of temperature and precipitation. With the data of correlations obtained between the phenophases and the meteorological variables, it was possible to conclude that different meteorological signals are sensed by the plants to express their phenophases. It seems that there is a tendency for temperatures to be important factors influencing phenophases, but that the monitoring period may also regulate these factors.

Key-words: Cambial activity; photoperiod; diametric increase; native species; invasive exotic species.

Sumário

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
	REFERÊNCIAS	15
2	APRESENTAÇÃO DA TESE	16
	CAPÍTULO 1	17
3	Phenology and tree radial growth of <i>Schinus terebinthifolius</i> , throughout a 5-years period, in hydromorphic soil environment	17
3.1	INTRODUCTION	17
3.2	MATERIAL AND METHODS	19
3.2.2	Phenological behavior	20
3.2.3	Stem diameter increment	20
3.2.4	Data analysis	21
3.3	RESULTS	21
3.3.1	Phenology	21
3.3.2	Diameter increment	22
3.3.3	Seasonal decomposition	24
3.4	DISCUSSION	25
3.4.1	Phenology	25
3.4.2	Stem diameter increment	26
3.5	CONCLUSIONS	27
	REFERENCES	29
	CAPÍTULO 2	32
4	Comportamento fenológico de espécies arbóreas nativas e exóticas em ambiente aluvial: um estudo de longa duração	32
4.1	INTRODUÇÃO	33
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.2.1	Caracterização da área de estudo	35
4.2.1.1	Geologia e Geomorfologia	36
4.2.1.2	Solos	36
4.2.1.3	Hidrografia	36
4.2.1.4	Vegetação	37
4.2.2	Procedimento metodológico	37
4.2.3	Análise dos dados	38
4.3	RESULTADOS	39
4.3.1	Modelos lineares generalizados (GLM)	42

4.3.2	Correlações entre as fenofases e variáveis ambientais	45
4.4	DISCUSSÃO	47
4.5	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	53
	CAPÍTULO 3	57
5	Crescimento radial, atividade cambial e fenologia de espécies arbóreas de uma floresta subtropical no sul do Brasil	57
5.1	INTRODUÇÃO	58
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	60
5.3	RESULTADOS	62
5.4	DISCUSSÃO	68
5.5	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS	73
	CAPÍTULO 4	76
6	Variação interanual no comportamento fenológico de espécies arbóreas em floresta aluvial	76
6.1	INTRODUÇÃO	77
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	79
6.2.1	Área de estudo	79
6.2.2	Coleta dos dados fenológicos	79
6.2.3	Informações meteorológicas	79
6.2.4	Análise dos dados	80
6.3	RESULTADOS	81
6.4	DISCUSSÃO	87
6.5	CONCLUSÕES	89
	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO GERAL

Imagine a mudança de cores que precede à chegada da primavera, o colorido que as plantas exibem quando estão floridas, ou o acinzentado do outono quando as folhas estão prestes a cair das árvores. Essas diferenças marcam a chegada das estações do ano, sendo as marcações/alterações do ciclo de vida dos organismos o objeto de interesse para a fenologia. Literalmente considerada a “ciência da aparência”, a fenologia tem sido utilizada como uma fonte de informação desde registros bíblicos, para documentar colheitas, chegando aos dias atuais como ferramenta para documentar as alterações do clima.

Mesmo que Pollack (2011) possa ter citado em sua obra que a fenologia é um trabalho científico pouco glamoroso, a coleta regular de dados fenológicos e de variáveis meteorológicas como temperatura e precipitação, durante longos períodos de tempo, torna-se de extrema importância para se compreender o comportamento do sistema climático.

Entende-se por fenologia o campo da ciência dedicado a estudar as atividades biológicas sazonais e suas respostas às variações ambientais. Para as plantas, os eventos fenológicos e suas fases (fenofases) compreendem todas as transições em seus ciclos de vida, incluindo a brotação, a expansão foliar, a senescência foliar, a floração, a dispersão de pólen, o amadurecimento dos frutos e a dispersão de sementes.

Como a fenologia estabelece essa relação com o meio ambiente constantemente, os registros de observações fenológicas têm assumido importância particular nas últimas décadas, visto que mudanças como a antecipação ou o atraso dos eventos fenológicos têm apontado mudanças no clima (MENZEL et al., 2006; ROSSI et al., 2013).

A fenologia é um aspecto dominante e muitas vezes esquecido dentro da ecologia vegetal, considerando que sua abordagem pode ser desde a escala de indivíduos até ecossistemas inteiros. Tão importante é sua importância, que o momento de transição entre as fases vegetativas e reprodutivas é crucial para a formação de sementes, logo as variações de comportamento fenológico das espécies tornam-se um mecanismo importante para a manutenção das espécies que coexistem nas mais diversas comunidades (GU et al., 2003).

Dados fenológicos podem ainda ser combinados com informações sobre a formação anual da madeira (atividade cambial) e o incremento diamétrico das espécies, fornecendo importantes direcionamentos para elucidar diversas questões que ainda persistem acerca da história de vida das plantas. Estudos que integram essas variáveis já possuem registros desde 1759, por meio das valiosas contribuições sobre fenologia e crescimento fornecidos por Robert

Marsham, um meticoloso interessado por essa ciência, na mais longa série de observações já desenvolvida.

A partir da análise individual de cada espécie, tanto do comportamento fenológico quanto da sua relação com o meio ambiente, é possível estabelecer projeções sobre como as espécies podem reagir frente às mudanças climáticas globais. O calendário do início da estação de crescimento e da senescência pode determinar o período de crescimento das plantas, como também dar indicativos sobre a absorção anual de carbono nesses ecossistemas.

As múltiplas abordagens dos estudos fenológicos ainda têm muito a contribuir com o entendimento da autoecologia de espécies arbóreas, uma vez que não se trata apenas de saber o momento da troca foliar, floração e frutificação, e sim, especialmente, das interações das plantas com os ecossistemas nos quais estão inseridas.

REFERÊNCIAS

GU, L. et al. Phenology of vegetation photosynthesis. In: **Phenology: An integrative environmental science**. Springer Netherlands, 2003. p. 467-485.

MENZEL, A. et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology**, v. 12, n. 10, p. 1969-1976, 2006.

POLLACK, H. **Um mundo sem gelo**. São Paulo: Rosari, 2011.

ROSSI, S. et al. A meta-analysis of cambium phenology and growth: linear and non-linear patterns in conifers of the northern hemisphere. **Annals of Botany**, v. 112, n. 9, p. 1911-1920, 2013.

2 APRESENTAÇÃO DA TESE

A tese foi estruturada em quatro capítulos escritos em formato de artigo científico. A opção por essa estrutura tem como objetivo possibilitar à banca avaliar, criticar e dar sugestões tendo como base a concepção dos artigos, para sua posterior submissão às revistas após correções.

O primeiro capítulo, intitulado “*Phenology and tree radial growth of Schinus terebinthifolius, throughout a 5-year period, in hydromorphic soil environment*”, apresenta um estudo experimental sobre a relação entre a fenologia e o crescimento radial de *Schinus terebinthifolius* ao longo de um período de cinco anos.

O segundo capítulo, intitulado “*Comportamento fenológico de espécies vegetais arbóreas, nativas e exóticas, em ambiente aluvial: um estudo de longa duração*”, busca apresentar informações sobre o comportamento fenológico de duas espécies autóctones e duas espécies alóctones durante cinco anos, buscando estabelecer relações entre a fenologia dessas espécies.

O terceiro capítulo, “*Crescimento radial, atividade cambial e fenologia de espécies arbóreas de uma floresta subtropical no Sul do Brasil*”, investiga a relação do incremento diamétrico e da atividade cambial com o comportamento fenológico das espécies, buscando responder que variáveis meteorológicas e fenológicas influenciam no incremento diamétrico e que variáveis fenológicas têm relação com a atividade cambial dessas espécies.

O quarto capítulo, “*Variação inter-anual no comportamento fenológico de duas espécies arbóreas em Floresta Aluvial*”, procura averiguar possíveis alterações no comportamento fenológico de duas espécies em função das variações meteorológicas.

CAPÍTULO 1

3 Phenology and tree radial growth of *Schinus terebinthifolius*, throughout a 5-years period, in hydromorphic soil environment

Key Message: It seems that the flowering event triggers the resumption of higher radial growth of *Schinus terebinthifolius*. The stem diameter increment of this species is also associated with temperature rise, photoperiod and volume of rainfall.

Abstract: Alluvial environments are particularly selective and the plant species that are established in such ecosystems must have the phenotypes as well as the plasticity to complete their life cycle. The availability of concurrent resources for both growth and reproduction seems to play a very important role for the successful survival of higher plants. Throughout a 5-years period, we monitored, on a monthly basis, the phenology and the stem diameter increment of 12 specimens of *Schinus terebinthifolius*, which were mounted with dendrometer bands. This study was aimed at the following research questions: (i) Are there conflicting demands on resource allocation in different phenophases? (ii) In which period does the stem diameter increment occur? (iii) Which phenophases are more likely related to stem radial growth? Furthermore, phenological observations on vegetative and reproductive phenomena were carried out using the Activity Index. In order to identify patterns in phenology and diameter increment over the assessment period (2010-2015), we performed an analysis of seasonal decomposition, followed by Pearson's correlation analysis. Apparently, there is no conflicting demand for resources, but an optimized distribution of them, regulated mainly by the allocation of nutrients derived from leaf senescence, as well as, temperature rise and photoperiod. As a matter of fact, higher diameter growth rates occurred from December to March of each year, which coincided with the flowering period.

Key-words: alluvial; increment, growth; plasticity; resources.

3.1 INTRODUCTION

The relationship between plant phenology and growth in both tropical and subtropical forests in South America has been very little explored (O'BRIEN et al., 2008), and likewise, scientific knowledge of alluvial environments is even more scarce. Furthermore, understanding the dynamics of alluvial environments in different biomes remains a major challenge in ecology. In the Brazilian Atlantic Forest, the remaining fragments are mostly small, isolated and composed of disturbed secondary vegetation, comprising less than 50 ha (RIBEIRO et al., 2009). Overall, its landscape connectivity favors biological processes for the survival of

populations as well as the interactions among species (METZGER et al., 2009). As a matter of fact, forest corridors are considered the best-known factors to reduce the negative effects of fragmentation (LEES; PERES, 2008). In this context, riparian vegetations, currently protected under laws and regulations by means of “Areas of Permanent Protection”, (APPs), play a very important role for the preservation of such ecosystems. Therefore, further studies on the ecological aspects of riparian vegetations are required for the establishment of environmental conservation strategies as they will benefit future generations.

Tree growth is controlled by endogenous factors such as the plant genotype (ANDERSON et al., 2012) and physiological processes (PALLARDY, 2006), as well as exogenous factors which are regulated by the availability of water and light (GRIČAR, 2013). Growth can usually be measured by repetitive measurements of the tree dimensions, which is most commonly performed by monitoring the stem diameter increment (TURNER, 2001). These factors, which play a key role on the growth of trees, are also linked to plant phenology and are evaluated by their phenological behavior (MORELLATO et al., 2000).

In tropical forests, climate parameters (temperature, light and rainfall) are more regulars and fluctuations in primary and secondary growth may be related to small environmental changes, such as rainfall variations and day length (O'BRIEN et al., 2008; BORCHERT et al., 2005, MARQUES; OLIVEIRA, 2004; WRIGHT; VAN SCHAİK, 1994). In temperate forests, the climatic conditions, especially low temperatures, are the main factors that control the dynamics of tree growth (MOREL et al., 2015).

The relationship between phenology and growth of some tropical forest species was evaluated and reported by Worbes (1995); O'Brien et al. (2008); Yáñez-Espinosa et al. (2010), among others. However, no studies have been found relating between phenology and growth in alluvial or hydromorphic soil environments, whose main characteristic is temporarily water-saturated soil, caused by shallow water tables.

Plant resource allocation is typically associated with reproduction and growth, which might represent conflicting demands by plants (BARBOUR et al., 1999). Furthermore, resource allocation in plants appears to be related to three key processes: (1) resources are simultaneously allocated to fuel reproduction, growth and self-maintenance throughout the growing season; (2) most of the resources are allocated up to the beginning of the growing season and only after that such resources are allocated to reproduction; (3) the reproduction is shifted to the period of higher nutrient availability, prioritizing reproduction over growth (BAZZAZ; ACKERLY; REEKIE, 2000).

Based upon these issues, this study was developed on the premise that a given effort in plants is divided between reproduction and growth, in a competing manner, in which resource allocation has to achieve optimal trade-offs on each of the processes. More specifically, the present study seeks to answer the following research questions: (i) Are there conflicting demands on resource allocation in different phenophases? (ii) Do reproductive phenophases cause decrease in the stem diameter increment? (iii) In which period does the diameter increment occur? (iv) Which phenophases are more likely related to stem radial growth?

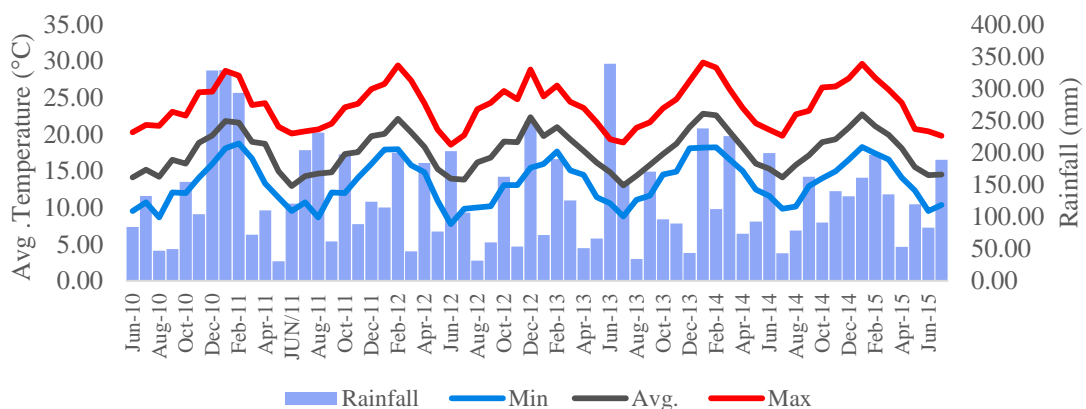
3.2 MATERIAL AND METHODS

3.2.1 Characterization of the study area

The study was carried out in a fragment of Alluvial Araucaria Forest, within the Brazilian Atlantic Forest; geographical coordinates 25°34'02,5" S and 49°20'53,5" W, in the Municipality of Araucaria, in the State of Parana, Brazil.

According to the classification of Köppen, the study area climate is humid subtropical mesothermal (Cfb), with an annual mean rainfall between 1300-1500 mm, without dry season and frequent frost occurrences in the winter. From January 2010 to December 2015, the monthly average temperature ranged from 12.2 °C in July (the coldest month) to 28.2 °C in February (the hottest month) (FIGURE 1). During the study period, the average temperature was 17.7 °C.

FIGURE 1. CLIMATE CHART, DATA PROVIDED BY Simepar WEATHER STATION. AVERAGE MONTHLY TEMPERATURES (MINIMUM, AVERAGE, MAXIMUM) (LINES) AND MONTHLY RAINFALL VALUES (BLUE BARS) BETWEEN 2010-2015.



SOURCE: THE AUTHOR (2017).

The soil is alluvial, composed of fine-grained sediments, classified as Gleysol (BARDDAL et al., 2005) and poorly drained under natural conditions (EMBRAPA, 2013).

Schinus terebinthifolius (Anacardiaceae), also known as mastic tree, pink pepper or Brazilian peppertree, is another important tree species in the remnant, since it is typically pioneer with wide dispersion, found in almost all Brazilian States and ecosystems, from the restingas of Rio Grande do Sul state up to the dry forests of Rio Grande do Norte state. *Schinus terebinthifolius* is commonly found in riverbanks, streams and wet meadows, however and interestingly, it also occurs on dry land with low nutrient availability. Conversely, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze), a remarkable species within mixed rainforests of Brazil, is non-tolerant to hydromorphic soil areas, and therefore, it does not occur in such areas.

Schinus terebinthifolius shows great phenotypic plasticity based upon its ability to successfully occupy such diverse habitats in different places, not only in South America but also in Central and North America. Moreover, in the United States, this species has been introduced as an ornamental plant, however, due to its great capacity for growth and propagation it became a major threat to ecosystems and was then listed among invasive species (WILLIAMS et al., 2007).

3.2.2 Phenological behavior

It was randomly selected 12 mature adult specimens of *Schinus terebinthifolius*, which had their phenological behavior monthly monitored with binocular instruments. We recorded the phenological vegetative and reproductive stages based upon the Activity Index (NEWSTROM; FRANKIE; BAKER, 1994), which tracks presence-absence of a particular phenophase.

3.2.3 Stem diameter increment

All specimens were mounted with dendrometer bands (MARIAUX, 1977; WORBES, 1995) made of stainless steel with an accuracy of ± 0.20 mm, which were fixed at breast height (1.30 m) for continuous measurements of tree radial increment. The data were subsequently converted into tree stem diameters.

The monitoring of diameter increments as well as phenophase cycles was carried out concurrently for a 60-month period, between June 2010 and July 2015.

3.2.4 Data analysis

In order to identify patterns in phenology and diameter increment throughout the assessment period, it was analyzed the seasonal decomposition using the additive method based on a 12-month period. The method therefore divides the time series into three components: the trend-cycle, seasonality and irregularity (CLEVELAND; CLEVELAND; TERPENNING, 1990). Our approach was solely focused on the seasonality. The variables analyzed were: tree budding, leaf senescence, mature leaf, flowering, fruiting and diameter increment. By applying this technique, the annual average is transformed into zero and the seasonal indices (positive or negative) show the balance throughout the year; negative numbers, therefore, do not necessarily indicate the absence or loss but values below average.

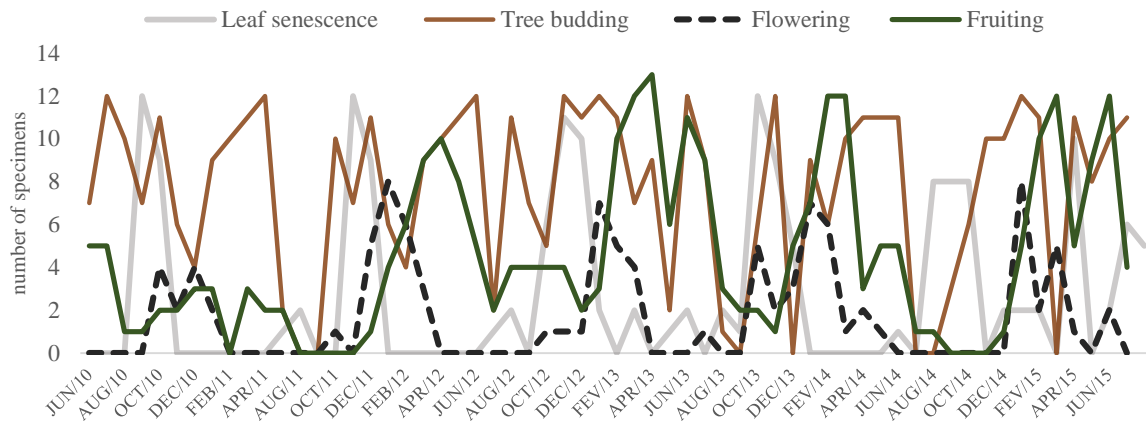
Based upon such indices, generated by seasonal decomposition, we used Pearson's correlation analysis to identify the relationship between the phenological variables and the increment. The set of data was tested at the probability level of 95%. Both analyzes were performed using Statgraphics software application.

3.3 RESULTS

3.3.1 Phenology

Schinus terebinthifolius shows a pattern of continuous leaf production, with more intensively leaf renewal cycle from September to April. It was observed an annual cycle of vegetation phenophases, which takes place at the same period of time, but not necessarily with the same intensity. Generally, there has been little variation relating to leaf production, maintenance and replacement among the study years (FIGURE 2).

FIGURE 2. VEGETATIVE AND REPRODUCTIVE PHENOLOGICAL BEHAVIOR OF *Schinus terebinthifolius* IN HYDROMORPHIC SOIL ENVIRONMENT FOR A 5-YEAR PERIOD.



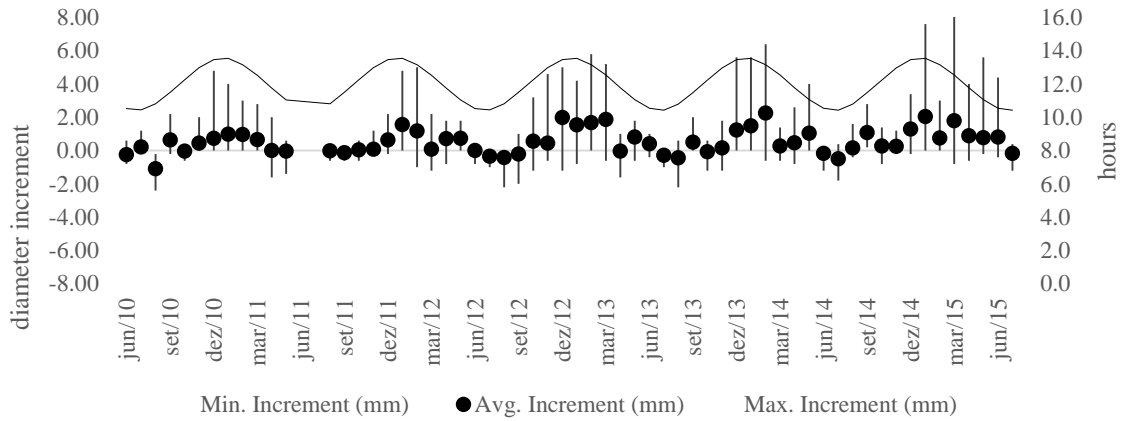
SOURCE: THE AUTHOR (2017).

Flowering season from October to February, with a peak of blooming in December and January. As a matter of fact, the flowering period coincided over the 5-year survey, except for intensity variations among such years. Fruiting was observed from January to March, concurrently with the flowering period, however, March had higher fruiting incidence.

3.3.2 Diameter increment

The average monthly increment was 0.54 mm within the 60-month assessment, and the species cumulative diameter growth occurred from November to February (FIGURE 3). Overall, the monthly increment ranged from -1.08 to 2.25 mm, however, our findings showed that stem radial growth rates were significantly lower in August. The resumption of growth coincided with photoperiod increase.

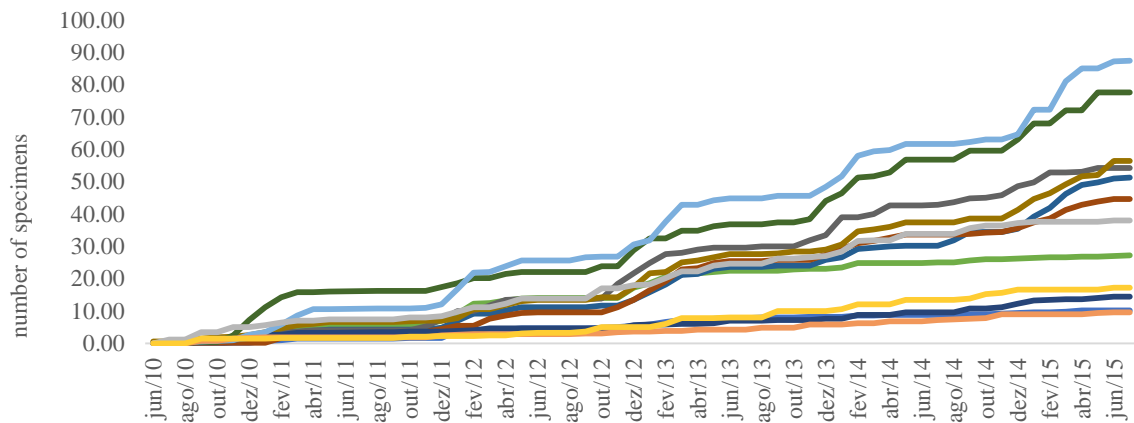
FIGURE 3. RELATIONSHIP BETWEEN PHOTOPERIOD AND THE AVERAGE DIAMETER INCREMENT OF *Schinus terebinthifolius* IN HYDROMORPHIC SOIL ENVIRONMENT WITHIN A 5-YEAR PERIOD.



SOURCE: THE AUTHOR (2017).

The resumption of growth occurred after August mainly between November and February. Nevertheless, it does not mean that throughout the other months the species trees ceased to grow in diameter, but the growth rates were lower (FIGURE 4).

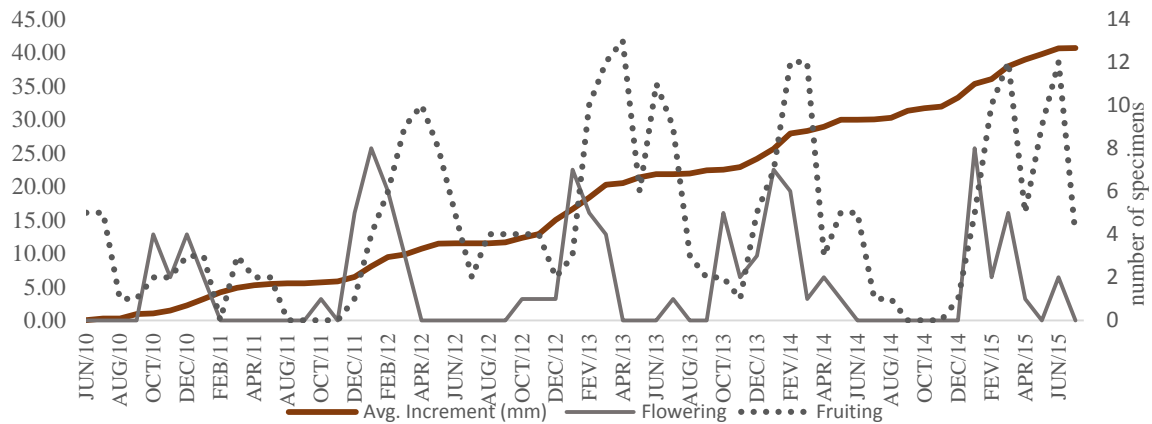
FIGURE 4. CUMULATIVE DIAMETER GROWTH OF 12 SPECIMENS OF *Schinus terebinthifolius* IN HYDROMORPHIC SOIL ENVIRONMENT FOR A 5-YEAR PERIOD.



SOURCE: THE AUTHOR (2017).

Apparently, *Schinus terebinthifolius* shows concurrent periods of flowering and higher diameter growth rates. As to the fruiting, it begins in the half of the highest increment period (FIGURE 5).

FIGURE 5. GROWTH AND REPRODUCTIVE PHENOLOGY OF *Schinus terebinthifolius* IN HYDROMORPHIC SOIL ENVIRONMENT.



SOURCE: THE AUTHOR (2017).

3.3.3 Seasonal decomposition

The estimated seasonal indices, shown in Table 1, represent the effect of each season over the species radial growth as well as the respective magnitudes of events. Our results show that the phenophases assessed during the time series are seasonal-related and occur in the very same period each year. In general, the phenology index values were lower on the second semester, and phenological activities were significantly more intense between January and April of each year.

TABLE 1. SEASONAL INDICES OF VEGETATIVE AND REPRODUCTIVE PHENOPHASES AS WELL AS DIAMETER INCREMENT OF *Schinus terebinthifolius*. THE FOUR MAJOR VALUES ARE SHOWN IN BOLD AND THE FOUR LOWER ONES ARE UNDERLINED.

Month	Leaf budding	Mature Leaf	Senescent Leaf	Flowering	Fruiting	Radial increment
July	<u>-4.13</u>	1.04	1.13	<u>-1.45</u>	-0.51	<u>-0.87</u>
August	<u>-4.52</u>	<u>-2.20</u>	-0.14	<u>-1.74</u>	-2.12	<u>-0.78</u>
September	<u>-5.00</u>	<u>-2.19</u>	4.01	<u>-1.75</u>	<u>-2.78</u>	<u>-0.29</u>
October	<u>-0.66</u>	<u>-2.19</u>	5.41	-0.04	<u>-2.93</u>	<u>-0.41</u>
November	2.86	<u>-1.70</u>	3.88	-1.05	<u>-3.29</u>	-0.38
December	0.66	0.79	-1.69	0.43	<u>-2.46</u>	0.66
January	2.34	0.79	<u>-2.27</u>	5.66	-0.09	1.03
February	-1.37	1.47	<u>-1.95</u>	3.53	3.56	0.96
March	1.29	1.45	<u>-2.62</u>	0.78	4.90	0.29
April	2.68	1.06	<u>-2.32</u>	-1.22	2.47	0.00
May	1.44	0.62	-1.63	-1.47	1.49	0.27
June	4.42	1.05	-1.82	<u>-1.68</u>	1.76	-0.49

Tree budding began in November, month in which we also recorded high rates of senescent leaves, therefore, the rates of mature leaves only increase from December onwards. Although the budding peaks occur almost alternately in the subsequent months, the mature leaf rates remain high, likely due to no leaf fall in such period. However, it is noteworthy that this species is not deciduous and has leaves throughout the whole year, in spite of a higher leaf fall between September and November.

Reproductive phenophases occurred from December to April of each year, but the flowering was more intense between December and March. Also, it was observed that the diameter increment coincided with the flowering period.

Resource allocation for stem radial growth was higher in January and lower in July. Furthermore, based upon the data of seasonal decomposition shown in Table 1, we observed an even distribution of resources for both diameter increment and flowering.

As a matter of fact, the correlation test proved the direct relationship between diameter increment and flowering ($p = 0.81 < 0.001$). Such strong correlation indicates that the flowering season also marks the beginning of the diameter increment period.

3.4 DISCUSSION

3.4.1 Phenology

Plant development and survival are often quantified and compared with conventional measurements based on individual characteristics (MCKOWN et al., 2013). As seasonal or cycle events occur in plants, several ecophysiological relationships are established (ACKERLY, 2004; PAU et al., 2011) and ought to be studied, because they interfere on the plant resource reorganization for both growth and development efforts.

Our findings show phenological patterns relating to vegetative and reproductive phenophases, which occur in overlapping periods. *Schinus terebinthifolius* has a pattern of intermittent budding and frequent periods of leaf senescence. Thus, in environments with low climate seasonality and no defined dry season, leaf fall and continuous budding would be the most advantageous strategies for such plant species, by allowing senescent leaves to remain attached to the tree until the uptake and transport of nutrients (JACKSON, 1978). It would also contribute to the maintenance of photosynthetic rate throughout the whole year (WAGNER et al., 2016).

As reported in this study, the process of leaf senescence and later leaf fall occurring over the high rainfall months of October, November, December, January and February is crucial to satisfy plant nutrition needs, either by the nutrient redistribution prior to leaf fall or the nutrition intake derived from decomposition of soil organic matter (BAZZAZ; ACKERLY; REEKIE, 2000). The plant nutrition demand may be achieved by photosynthesis and mineral substance intake, as well as, the recycling of products degraded by senescent leaves. Reallocating resources from leaf fall seems to play a major role, so that phenophases and radial growth can be more efficient relating to this species.

Flowering periodicity over tropical regions varies a lot, however, if a species has a longer flowering period which coincides with leaf renewal cycle, it might also be beneficial to the reproductive success of the species, by adjusting to extreme climate conditions (drought or precipitation excess), lack of pollinators or a strategy of protection against herbivore attack (PALLARDY, 2006).

The high correlation between flowering and stem diameter increment corroborates that reproductive phenophase may be the one which triggers tree radial growth. This behavior has also been reported to other tropical species, whose phenological events may occur simultaneously (LIETH, 1974) as far as radial growth is concerned. In a study carried out in the Amazon rainforest, Schöngart et al. (2002) reported that the radial growth coincides with the beginning of budburst. According to Bordiert (1994), stem diameter increment within tropical forests is associated with budding and the beginning of flowering, which also corroborates the results obtained by Yáñez-Espinosa et al. (2010), in which budburst and flowering are directly linked to the radial growth, while assessing the phenology as well as the growth periodicity of perennial trees within subtropical forests.

3.4.2 Stem diameter increment

The average growth rate of 4.94 mm/year observed in *Schinus terebinthifolius*, is typical among tropical forest species, whose annual radial growth ranges from 0.5 to 6 mm, reaching up to 15 mm (TURNER, 2001). Our findings showed that the radial growth varied over the course of five years. Such variations might be due to environmental changes such as temperature or soil water availability. It is noteworthy that the study area is within a flood plain, therefore, it is an alluvial forest, where water availability is not a limiting factor, unless severe climate events (drought or floods) occur. Hence, rainfall is not a key factor for diameter growth, although it might play an important role since *Schinus terebinthifolius* had the highest diameter

increment rates under conditions of higher water availability (Figure 2) associated with photoperiod and higher temperatures. Moreover, studies focused on tree rings as indicators of growth among subtropical species indicate that lower temperatures are limiting factors for radial growth (OLIVEIRA, ROIG, PILLAR, 2010; LONGHI-SANTOS, 2013). During autumn and winter seasons, low temperatures induce a direct metabolic depression (dormancy), whereas, increase in temperature induces a significant tree-ring growth.

It is important to point out that over a 5-year period, there have been significantly lower increment rates in August of each year, resulting in bark shrinkage due to lower moisture content (KANIESKI et al., 2013). As a matter of fact, August is the driest month of the year, with lower rainfall (Figure 1) and lower relative air humidity rates. Such bark shrinkage was verified on the dendrometer bands prior to the season of higher growth as well as temperature and rainfall rise. Plant dynamics, in terms of resource allocation demands, might be conflicting to favor a phenological activity over another (BEGON, TOWNSEND; HARPER, 2006) and, in turn, it may endanger such activities. However, based on the data of seasonal decomposition, this phenomenon was not observed in the present study. Conversely, we observed that both reproduction and growth occurred at the same time range throughout a 5-year period (Table 1).

Interestingly, environments lacking a marked climate seasonality, such as the present case, higher plants seem successfully to allocate resources for growth and reproduction simultaneously. On the other hand, environments lacking latent abiotic factors induce phenological responses, since they are intrinsically regulated by genetic factors in response to circadian clock and vernalization (SATAKE et al., 2013). Due to this “timing adjustment” of species, either by advancing or delaying, the reproductive phenomenon can be traced to its phenotypic plasticity.

According to our findings, optimal resource allocation in plants is required so as not to jeopardize any phenological activity over another. In this context, it seems that the flowering event triggers the resumption of higher radial growth of *Schinus terebinthifolius*. The stem diameter increment of this species is also associated with temperature rise, photoperiod and volume of rainfall.

3.5 CONCLUSIONS

Schinus terebinthifolius, in hydromorphic soil environment, allocates its resources for growth and reproduction simultaneously. Diameter increment is intrinsically related to the flowering phenophase.

Apparently, there is no conflicting demand for resources, but an optimized distribution of them, regulated mainly by the allocation of nutrients derived from leaf senescence, as well as, temperature rise and photoperiod.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Brazilian Federal Research and Education Council (CNPq).

Conflict of interest: The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

- ACKERLY, D. D. Adaptation, niche conservatism, and convergence: comparative studies of leaf evolution in the California chaparral. **The American Naturalist**, v. 163, n. 5, p. 654-671, 2004.
- ANDERSON, J. T.; INOUE, D. W.; MCKINNE, A. M.; COLAUTTI, R. I.; MITCHELL-OLDS, T. Phenotypic Plasticity and adaptive evolution contribute to advancing flowering phenology in response to climate change. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1743, p. 3843-3852, 2012.
- BARBOUR, M. G.; BURK, J. H.; PITTS, W. D.; GILLIAN, F. S.; SCHWARTZ, M. W. Allocation and Life history patterns. In: _____. **Terrestrial plant ecology**. 3rd Ed. Menlo Park: Addison Wesley Longman, Inc. 1999. p. 88-116.
- BARDDAL, M. L.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; CURCIO, G. R. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de Floresta Aluvial, em Araucária, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 37-50, 2005.
- BAZZAZ, F. A.; ACKERLY, D. D.; REEKIE, E. G. (2000). Reproductive allocation in plants. In: FENNER, M. (Ed.). **Seeds: The Ecology of regeneration in plant communities**. 2nd ed. New York: CABI Publishing, 2000. p. 1-29.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. **Ecology: From individuals to ecosystems** (4th Ed.). Oxford: Blackwell Publishing, 2006.
- BORCHERT, T. R.; RENNER, S. S.; CALLE, Z. et al. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. **Nature**, v. 433, n. 7026, p. 627-629, 2005.
- BORDIERT, R. Water Status and Development of Tropical Trees During Seasonal Drought. **Trees**, v. 8, n. 3, p. 115-125, 1994.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro. 2013.
- CLEVELAND, R. B.; CLEVELAND, W. S.; TERPENNING, I. STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. **Journal of Official Statistics**, v. 6, n. 1, 1990.
- GRIČAR, J. Influence of temperature on cambial activity and cell differentiation in *Quercus sessiliflora* and *Acer pseudoplatanus* of different ages. **Drvna Industrija**, v. 64, n. 2, p. 95-105, 2013.
- JACKSON, J. F. Seasonality of Flowering and leaf-fall in a Brazilian Subtropical Lower Montane Moist Forest. **Biotropica**, v. 10, p. 38-42, 1978.
- KANIESKI, M. R.; LONGHI-SANTOS, T.; MILANI, J. E. F.; MIRANDA, B. P.; GALVÃO, F.; BOTOSSO, P. C.; RODERJAN, C. V. Crescimento diamétrico de *Blepharocalyx salicifolius* em remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 197-206, 2013.

LEES, A. C.; PERES, C. A. Conservation Value of Remnant Riparian Forest Corridors of Varying Quality for Amazonian Birds and Mammals. **Conservation Biology**, v. 22, n. 2, p. 439-449, 2008.

LIETH, H. Purposes of a phenology book. In: _____. **Phenology and seasonality modeling**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1974. p. 3-19.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.), L.B.Sm. and Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MARIAUX, A. **Marques et rubans dendromètres**. Nogent-sur-Marne: CTFT, Information Technique, n. 238, 1977.

MARQUES, M. C.; OLIVEIRA, P. E. A. M. Fenologia de espécies do dossel e do sub-bosque de duas florestas de restinga na Ilha do Mel, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 4, p. 713-723, 2004.

MCKOWN, A. D.; GUY, R. D.; AZAM, M. S.; DREWES, E. C.; QUAMME, L. K. Seasonality and phenology alter functional leaf traits. **Oecologia**, v. 172, n 3, p. 653-665, 2013.

METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; DIXO, M.; BERNACCI, L. C.; RIBEIRO, M. C.; TEIXEIRA, A. M. G.; PARDINI, R. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic Forest region. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1166-1177, 2009.

MOREL, H.; MANGENET, T.; BEAUCHÊNE, J.; RUELLE, J.; NICOLINI, E.; HEURET, P.; THIBAUT, B. Seasonal Variations in phenological traits: leaf shedding and cambial activity in *Parkia nitida* Miq. and *Parkia velutina* Benoist (Fabaceae) in tropical rainforest. **Trees**, v. 29, n. 4, p. 973-984, 2015.

MORELLATO, L. P. C.; TALORA, D. C.; TAKAHASI, A.; BENCKE, C. C.; ROMERA, E. C.; ZIPPARRO, V. B. Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study. **Biotropica**, v. 32, n. 4, p. 811-823, 2000.

NEWSTROM, L. E.; FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, v. 26, n. 2, p. 141-159, 1994.

O'BRIEN, J. J.; OBERBAUER, S. F.; CLARK, D. B.; CLARK, D. A. Phenology and Stem diameter increment seasonality in a Costa Rican wet tropical forest. **Biotropica**, v. 40, n. 2, p. 151-159, 2008.

OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. Climatic signals in tree- rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. **Austral Ecology**, v. 35, n. 2, p. 134-147, 2010.

PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. Academic Press, 2006.

PAU, S.; WOLKOVICH, E. M.; COOK, B. I.; DAVIES, T. J.; KRAFT, N. J.; BOLMGREN, K. et al. Predicting Phenology by integrating ecology, evolution and climate science. **Global Change Biology**, v. 17, n. 12, p. 3633-3643, 2011.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

SATAKE, A.; KAWAGOE, T.; SABURI, Y.; CHIBA, Y.; SAKURAI, G.; KUDOH, H. Forecasting Flowering phenology under climate warming by modelling the regulatory dynamics of flowering-time genes. **Nature Communications**, v. 4, 2013.

SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNA, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian Floodplain Forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 4, p. 581-597, 2002.

TURNER, I. M. **The ecology of trees in the tropical rain forest**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

WAGNER, F. H.; ANDERSON, L. O.; BAKER, T. R.; BOWMAN, D. M.; CARDOSO, F. C.; CHIDUMAYO, E. N. et al. (2016). Climate Seasonality limits leaf carbon assimilation and wood productivity in tropical forests. **Biogeosciences**, v. 13, n. 8, p. 2537-2562., 2016.

WILLIAMS, D. A.; MUCHUGU, E.; OVERHOLT, W. A.; CUDA, J. P. Colonization Patterns of the invasive brazilian peppertree, *Schinus Terebinthifolius*, in Florida. **Heredity**, v. 98, n. 5, p. 284-293, 2007.

WRIGHT, S. J.; VAN SCHAIK, C. P. Light and the phenology of tropical trees. **American Naturalist**, v. 143, n. 1, p. 192-199, 1994.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees a review. **Iawa Journal**, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

YÁÑEZ-ESPINOSA, L.; TERRAZAS, T.; LÓPEZ-MATA, L. Phenology and radial stem growth periodicity in evergreen subtropical rainforest trees. **Iawa Journal**, v. 31, n. 3, p. 293-307, 2010.

CAPÍTULO 2

4 Comportamento fenológico de espécies arbóreas nativas e exóticas em ambiente aluvial: um estudo de longa duração

RESUMO

Embora estudos fenológicos sejam importantes para o entendimento da interação de espécies arbóreas dentro de uma comunidade florestal, raros são os que envolvem monitoramento de longo prazo, agravados por um conjunto de dados ambientais muito restritos para explicar os padrões observados. Neste contexto o presente estudo avaliou por cinco anos o padrão fenológico de espécies nativas e exóticas invasoras em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial e verificar quais condições ambientais atuam como indutoras da fenologia das espécies. Foram monitorados indivíduos adultos das espécies nativas *Gymnanthes klotzschiana* e *Blepharocalyx salicifolius* e das exóticas *Hovenia dulcis* e *Ligustrum lucidum*. Foram avaliadas mensalmente as fases vegetativas (folha madura, folha senescente e brotação) e reprodutivas (antese, fruto imaturo e fruto maduro) por meio do Índice de Atividade. Com o objetivo de identificar diferenças nos padrões fenológicos das espécies estudadas, foram utilizados modelos lineares generalizados mistos (MLGM). Os resultados apontam que *Gymnanthes klotzschiana* rege os processos fenológicos da comunidade estudada, sendo seu sucesso nesse ambiente resultado da sua expressiva floração e frutificação. As espécies exóticas concentram a produção de frutos imaturos em período coincidente com as nativas, porém os frutos maduros acabam por permanecer mais tempo do que as nativas, sendo que essa permanência dos frutos pode ser vantajosa para as exóticas no que diz respeito à dispersão. De forma geral, a temperatura foi fundamental para que as fenofases fossem expressas, enquanto que a precipitação não apresentou influência significativa. As espécies exóticas têm seu comportamento fenológico em períodos em que a expressão fenológica das espécies nativas não é tão intensa. Ainda que esse descompasso temporal facilite a invasão dentro da comunidade, seu sucesso de estabelecimento dependerá da capacidade de as espécies exóticas ultrapassarem filtros bióticos e abióticos.

Palavras-chave: Fenofases; *Gymnanthes klotzschiana*; *Blepharocalyx salicifolius*; *Hovenia dulcis*; *Ligustrum lucidum*.

ABSTRACT

Phenological studies play an important role for the understanding of tree species interaction within a forest population, however, they are even more scarce relating to long-term monitoring. This might be due to a set of multi-level restricted environmental data, which could explain the observed patterns. Our study aimed at assessing phenological differences between native and non-native (exotic) tree species within a fragment of an Alluvial Araucaria Forest (Paraná State, Brazil) as well as verifying which environmental conditions may induce such phenological

behaviors. Throughout 60 months, we monitored both native forest-grown specimens of *Gymnanthes klotzschiana*, *Blepharocalyx salicifolius* and exotic species such as *Hovenia dulcis* and *Ligustrum lucidum*. Furthermore, vegetative phases (mature leaf, senescent leaf and new buds) as well as reproductive phases (anthesis, green and ripe fruits) were monthly evaluated, using the Activity Index. In order to identify differences as to phenological patterns of the studied species, we used generalized linear models (GLMs) along with the Spearman's correlation to determine the combination of phenophases with environmental variables. Our findings have shown that *Gymnanthes klotzschiana* stands out in such environment, in terms of phenological processes, based upon its very successful flowering and fruiting. Concerning to the exotic species, the production of green fruits coincides with the native ones, however, the mature fruits remain attached to the mother plant for longer periods of time, which may be considered favorable for the exotic species with respect to seed dispersion. As a matter of fact, photoperiod effects and minimum temperatures were crucial as to phenophase efficiency, whereas precipitation did not show significant influence. Moreover, exotic tree species seem to trigger their phenological phases when native species phenological behavior is not so intense. Hence, such temporal mismatch between them facilitates the successful establishment of invasive species within native tree populations, which solely depend on their ability to overcome biotic as well as abiotic factors and environmental variables.

Keywords: Phenophases, *Gymnanthes klotzschiana*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Hovenia dulcis* and *Ligustrum lucidum*.

4.1 INTRODUÇÃO

Estudos fenológicos revelam parte importante da complexa interação das espécies vegetais em uma comunidade e auxiliam no entendimento da função que desempenham. O calendário fenológico das espécies influencia uma gama de processos ecológicos, incluindo a demografia (MILLER-RUSHING et al., 2010), interações entre polinizadores e dispersores (HEGLAND et al., 2009), respostas das plantas às mudanças climáticas (PAU et al., 2011; CLELAND et al., 2007) e, ainda, informa sobre as estratégias de invasão de espécies exóticas em ambientes naturais (WOLKOVICH; CLELAND, 2010; GODOY; LEVINE, 2014). A fenologia de uma determinada espécie está ligada a características importantes da planta, como a brotação e longevidade das folhas e a regulação do balanço sazonal de carbono dos ecossistemas (WAGNER et al., 2016).

Diferenças no comportamento fenológico entre diferentes espécies vegetais podem definir o sucesso do estabelecimento de plantas invasoras, que pode estar associado a distúrbios ou a mudanças climáticas, bem como a estratégias fenológicas distintas (WOLKOVICH; CLELAND, 2010).

Para o estabelecimento de espécies em ambientes naturais, sejam nativas ou exóticas, são necessárias condições adequadas que possibilitem seu desenvolvimento e crescimento. A invasão biológica envolve a dispersão de espécies para regiões onde elas ainda não tenham ocorrido, seguida de rápida multiplicação e expansão (BARRET; COLAUTTI; ECKERT, 2008). Espécies exóticas podem possuir características diferentes das nativas dentro de uma comunidade, como, por exemplo, podem apresentar um sistema de enraizamento mais profundo, que beneficia a absorção de nutrientes não acessados pelas nativas (GODOY; LEVINE, 2014). Podem se destacar também em relação ao período e intensidade de floração, passando a competir por polinizadores (WOLKOVICH; CLELAND, 2010) e essas diferenças podem favorecê-las, proporcionando maior competitividade (CADOTTE; MURRAY; LOVETT-DOUST, 2006).

As várias teorias empregadas para tentar explicar como certas espécies são capazes de se estabelecer e dispersar sugerem que as espécies exóticas, quando comparadas com as espécies nativas, apresentam características únicas que propiciam vantagens competitivas. Em particular, a fenologia está conectada a várias características importantes na competição vegetal e pode fornecer algumas explicações para o seu sucesso.

Wolkovich e Cleland (2010) sugeriram quatro estratégias empregadas por plantas invasoras: *Nicho vago* - espécies exóticas tendem a brotar/frutificar em épocas distintas das nativas; *Efeitos da precedência* - espécies exóticas começam a brotar/frutificar antes das nativas; *Amplitude de nicho* - espécies exóticas têm maior amplitude em suas fases fenológicas; e, por fim, *Plasticidade com o clima* - a brotação/frutificação das espécies exóticas varia entre temporadas em covariação com o clima.

Os fatores ambientais mais estudados em análises do comportamento fenológico são o fotoperíodo, a precipitação e a temperatura (AUGSPURGER, 1982; MORELLATO; HADDAD, 2000; BORCHERT et al., 2005), que podem controlar diretamente os eventos biológicos ou podem agir como pistas para o relógio biológico das plantas. As comunidades, em sua maioria, tornam-se programadas para responder a ritmos sazonais.

Os ambientes aluviais da região Sul do Brasil sofrem a pressão de serem invadidos por espécies exóticas como *Hovenia dulcis* Thunb., que possui grande facilidade de dispersão e que, segundo o Instituto Hórus, citado por Blum, Borgo e Sampaio (2008), no estado do Paraná é comumente observada dominando o estrato superior de florestas aluviais. Outro exemplo é *Ligustrum lucidum* W.T.Aiton, espécie arbórea que se espalha rapidamente em vários ambientes, como borda de estradas e de florestas, além de áreas úmidas e de encostas. Sua plasticidade, aliada ao seu rápido crescimento tanto em pleno sol como em locais sombreados,

a torna competitiva em relação às espécies nativas, por meio de alelopatia, por vezes impedindo a regeneração das demais (ARAGON; GROOM, 2003; HOYOS et al., 2010; GAEPPC, 2015).

Os ambientes aluviais, em específico, têm se mostrado vulneráveis ao estabelecimento de espécies exóticas, dado que a hidromorfia frequentemente presente minimiza as limitações de seca, garantindo crescimento e condições de reprodução (LAKE; LEISHMAN, 2004).

Diante desse contexto e buscando elucidar dúvidas quanto ao comportamento fenológico de espécies nativas e exóticas, procurou-se, com o presente trabalho, responder às seguintes questões:

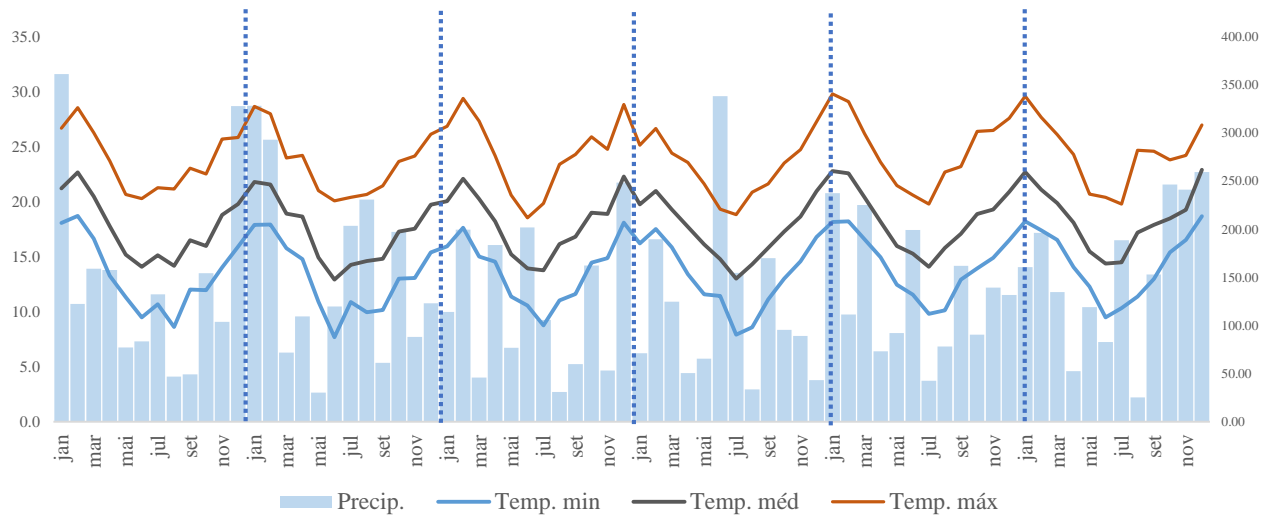
- 1) Que estratégias fenológicas são adotadas pelas espécies para sua manutenção nesse ambiente?
- 2) Que variáveis ambientais estão mais fortemente relacionadas ao comportamento fenológico das espécies?
- 3) Pensando na plasticidade com o clima, como o fotoperíodo atua sobre as espécies nativas e exóticas, existe alguma tendência das espécies a responderem a essa variável?

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Araucária (PR), na Região Metropolitana de Curitiba, entre as coordenadas geográficas 25°34'02,5" S e 49°20'53,5" W e em altitude de 900 m. O clima, segundo a classificação climática de Koeppen, é do tipo Cfb – temperado, com verões frescos, geadas frequentes, sem estação seca definida (ALVARES et al., 2014). A temperatura média anual é de 16,5 °C e a precipitação média anual é de 1.400 mm (FIGURA 1).

FIGURA 1. CLIMATOGRAMA DA REGIÃO ESTUDADA PARA O PERÍODO DE 2010-2015.



FONTE: SIMEPAR.

4.2.1.1 Geologia e Geomorfologia

O relevo é ondulado a plano, desenvolvido em grande parte sobre o complexo Granulítico-Migmatítico do primeiro planalto, além dos sedimentos da Formação Guabirotuba e da planície aluvionar do rio Iguaçu, que atravessa o território de leste a oeste.

4.2.1.2 Solos

O solo, de origem alúvio-coluvionar, formado por sedimentos de fina granulometria, é classificado como Gleissolo (BARDDAL et al., 2004). Na sua composição apresenta grande quantidade de argila e sua consistência é muito dura quando seco e muito plástica e pegajosa quando molhado, sendo pouco poroso e de baixa condutividade hídrica (EMBRAPA, 2013).

4.2.1.3 Hidrografia

A área está inserida na bacia hidrográfica do rio Barigui, principal tributário da margem direita do alto rio Iguaçu. O rio Barigui foi retificado na década de 60, com o propósito de aumentar a sua vazão, diminuindo as enchentes na região. Na área ocorre ainda o arroio Saldanha, um pequeno curso de água contribuinte do rio Barigui (BARDDAL et al., 2004), atravessando no seu curso final a área estudada.

4.2.1.4 Vegetação

Respeitando as condições de solos e de hidrografia características desse fragmento, a vegetação existente é classificada como Floresta Ombrófila Mista Aluvial, de acordo com IBGE (2012).

É espécie característica desse ambiente *Gymnanthes klotzschiana* Müll.Arg., além de *Allophylus edulis* (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl., *Myrrhinium atropurpureum* Schott., *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O.Berg.

4.2.2 Procedimento metodológico

Foi estudado o comportamento fenológico de quatro espécies arbóreas, duas nativas e duas exóticas. As espécies nativas monitoradas foram *G. klotzschiana*, dominante nos ambientes aluviais, e *B. salicifolius*, menos frequente e de maior plasticidade (DENARDI; MARCHIORI, 2005).

As espécies exóticas, por sua vez, são ambas do hemisfério Norte, consideradas invasoras nesta tipologia. *H. dulcis* (Rhamnaceae) é natural da China, Japão e Coreia. Na China, é componente ocasional do estrato intermediário de florestas decíduas de carvalho (*Quercus* spp.), em altitudes entre 165 e 1350 m, com precipitação em torno de 850 a 2.000 mm, chuvas concentradas no verão e temperatura média anual de 7 a 17 °C. *L. lucidum* (Oleaceae) também é natural da China e Coreia, ocupando ambientes com certo grau de hidromorfia (IABIN, 2016).

Para acompanhar o comportamento fenológico, foram realizadas campanhas mensais de campo, de junho de 2010 a agosto de 2015, perfazendo 60 meses. O ano vegetativo das espécies foi considerado de agosto a junho.

As observações fenológicas foram realizadas em 12 indivíduos de *Gymnanthes klotzschiana*, 10 de *Blepharocalyx salicifolius*, 8 de *Hovenia dulcis* e 8 de *Ligustrum lucidum*. As observações consistiram no monitoramento das estruturas vegetativas (folhas maduras, folhas senescentes e brotação) e das estruturas reprodutivas (antese, fruto imaturo e fruto maduro). Flores e frutos caídos também foram considerados como indicadores das atividades fenológicas das espécies *in loco*. O método utilizado para a obtenção dos dados foi baseado no índice qualitativo de presença ou ausência da fase, como proposto por Bencke e Morellato (2002), com auxílio de binóculo, considerando quatro quadrantes da árvore, garantindo, assim, que a copa pudesse ser visualizada em sua totalidade.

4.2.3 Análise dos dados

Com o objetivo de identificar diferenças nos padrões fenológicos das espécies estudadas, foram utilizados modelos lineares generalizados mistos (MLGM). Os MLGM constituem modelos de regressão mais flexíveis que os modelos lineares, permitindo outras distribuições além da normal para a variável resposta (como binomial, Poisson, binomial negativa e distribuição gama) e variâncias não homogêneas, misturando-se bem com práticas tradicionais utilizadas na modelagem e análise de variância (ANOVA) linear. Além disso, possibilitam incluir variáveis qualitativas ou semiquantitativas nas análises apresentam grande robustez nos resultados de análise de dados com amostras dependentes, como é o caso desta pesquisa.

Nesse contexto as variáveis dependentes foram as fenofases e os fatores as espécies e os meses de observação. Cabe ressaltar que o método da máxima verossimilhança (LAIRD; WARE, 1982) foi utilizado para estimar as variâncias e que a estrutura da matriz de covariância foi escolhida mediante o critério AIC a aderência a distribuição gaussiana foi verificada mediante o teste de Shapiro–Wilks. Quando necessário os dados foram transformados

Nas análises, a porcentagem mensal de cada fenofase foi utilizada como variável resposta, enquanto as variáveis qualitativas espécie, fenofase e mês foram empregadas como variáveis explanatórias. Ainda buscando entender quais são as fenofases que melhor caracterizam a fenologia de cada espécie, foram testados modelos considerando isoladamente cada fenofase, tanto vegetativa quanto reprodutiva. Os modelos foram ajustados por meio do método da máxima verossimilhança. O ajuste dos MGL retorna a ANOVA e permite também a execução de um teste de comparação de médias da variável resposta em função de cada variável explanatória. Para esse propósito, empregou-se o teste da diferença mínima significativa de Fisher (Teste LSD), a 95% de probabilidade de confiança.

Para mediar a força de associação entre as variáveis fenológicas e as variáveis meteorológicas, como temperatura (mínima e máxima), precipitação, fotoperíodo e amplitude térmica (diferença entre a maior e a menor temperatura do mês), foi utilizado o coeficiente de correlação de *Spearman*, que varia de -1 a 1. P-valores abaixo de 0,05 indicam correlações estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95,0%. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* Statigrafics®.

4.3 RESULTADOS

Os padrões fenológicos vegetativos das espécies nativas são apresentados na figura 2. Ambas apresentaram comportamento fenológico sazonal semelhante, no que diz respeito aos períodos com presença de folhas maduras, folhas senescentes e brotação. As duas, por sempre terem sido observadas com folhas maduras, devem ser classificadas como perenifólias. A senescência foliar ocorreu entre março e agosto em *Gymnanthes klotzschiana* e entre abril e agosto em *Blepharocalyx salicifolius*. A brotação ocorreu de forma contínua nas duas espécies.

Nas espécies exóticas, observou-se um comportamento distinto do das nativas, principalmente quanto à senescência foliar e brotação. A senescência ocorreu de janeiro a maio em *Hovenia dulcis* e em *Ligustrum lucidum* em todos os meses do ano. O período de brotação em *H. dulcis* ocorreu de julho a outubro e em *L. lucidum* de setembro a janeiro. Folhas maduras em *H. dulcis* e *L. lucidum* foram observadas ao longo de todo o ano, com exceção apenas do mês de julho para *H. dulcis*, enquadrando-a como a única espécie decídua entre as quatro estudadas. As nativas iniciaram a senescência foliar no outono, que avançou até o inverno. As exóticas, por sua vez, manifestaram essa característica do verão para o outono (FIGURA 2).

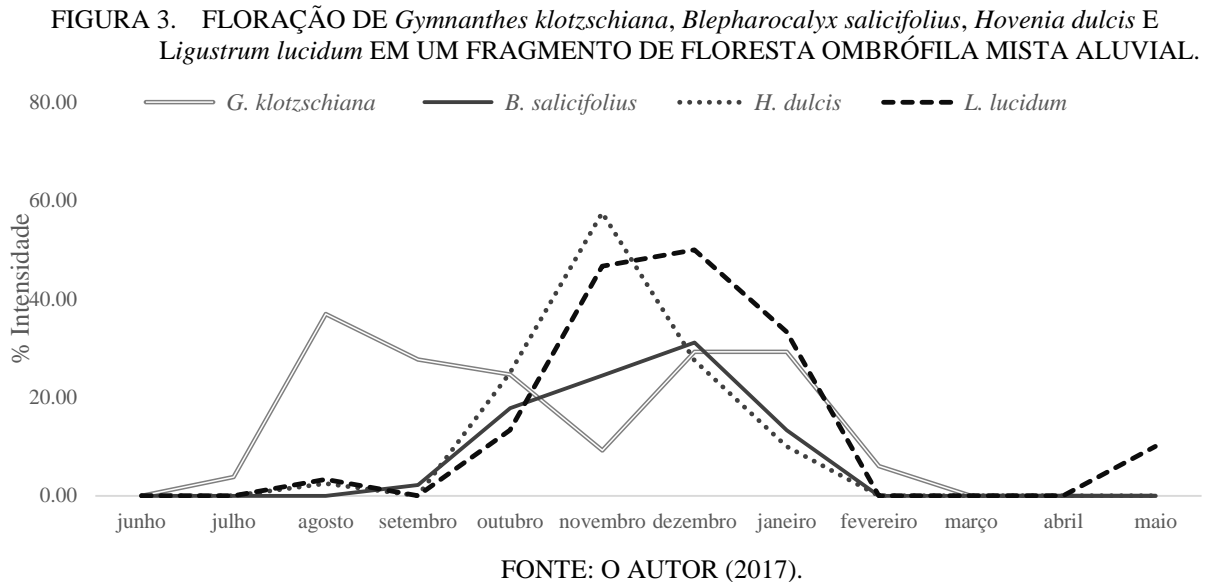
FIGURA 2. PADRÕES VEGETATIVOS DE DAS ESPÉCIES ARBÓREAS MONITORADAS.

Espécie	Fenofase	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	Folha madura	■											
	Folha senescente	■								■	■	■	■
	Brotação	■											
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	Folha madura	■											
	Folha senescente	■										■	■
	Brotação	■											
<i>Hovenia dulcis</i>	Folha madura	■											
	Folha senescente						■	■	■	■	■		
	Brotação	■											
<i>Ligustrum lucidum</i>	Folha madura	■											
	Folha senescente	■											
	Brotação		■										

FONTE: O AUTOR (2017).

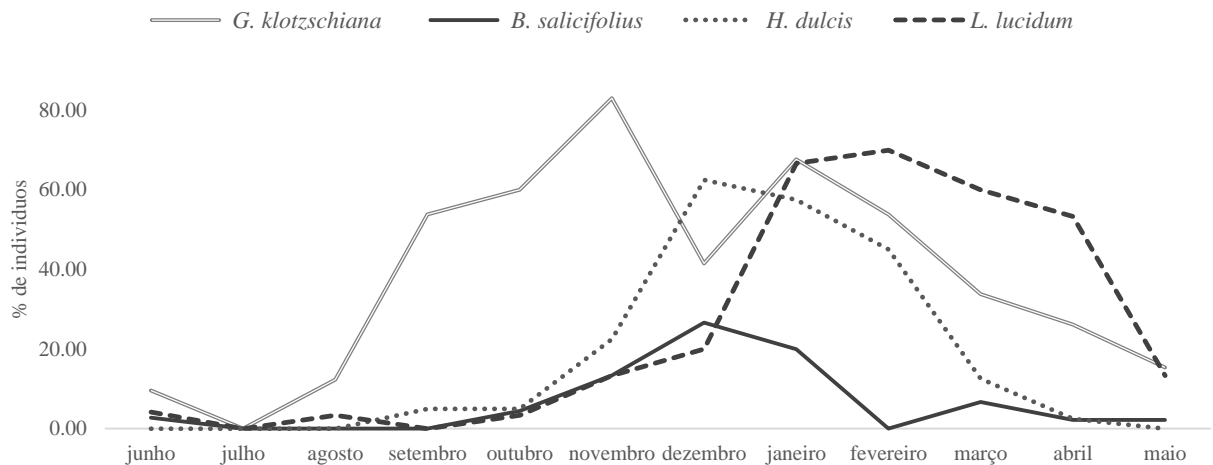
A floração de *G. klotzschiana* ocorreu em dois períodos, o primeiro iniciando em julho, sendo mais intenso em agosto, e o segundo período com início em dezembro e pico em janeiro. Os resultados indicam que a espécie floresce por aproximadamente sete meses. A antese em *B.*

salicifolius foi registrada entre setembro e dezembro, sendo este último mês o de maior intensidade da floração. Para as espécies exóticas *H. dulcis* e *L. lucidum*, a antese foi registrada de setembro a fevereiro (FIGURA 3).



Para *G. klotzschiana*, os frutos imaturos foram verificados de agosto a maio, concomitantemente com o período de floração. Para *B. salicifolius*, os frutos imaturos foram registrados de outubro a janeiro, sendo que a expressão máxima dessa fenofase pôde ser verificada entre novembro e janeiro. A frutificação das espécies exóticas apresentou tendência semelhante ao observado para a floração, com registro de frutos imaturos de outubro a abril em *H. dulcis* e de outubro a maio em *L. lucidum*. O pico de intensidade de frutos imaturos diferiu entre as espécies, sendo mais intensa em janeiro e fevereiro para *H. dulcis* e entre janeiro e abril para *L. lucidum* (FIGURA 4).

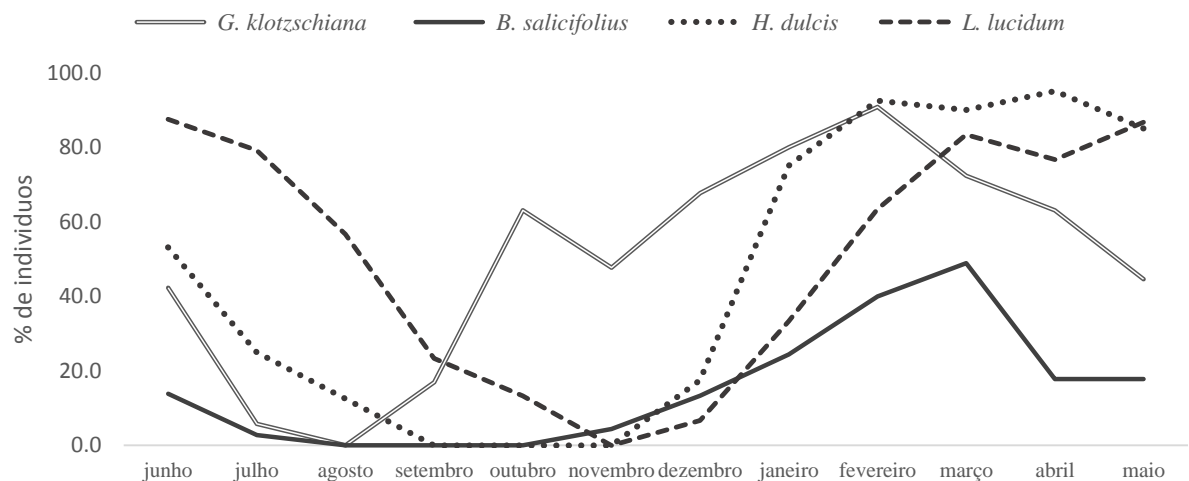
FIGURA 4. FRUTOS IMATUROS DE *Gymnanthes klotzschiana*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Hovenia dulcis* E *Ligustrum lucidum* EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL.



FONTE: O AUTOR (2017).

As espécies nativas expressaram a fenofase de frutos maduros por um período mais extenso que as exóticas. Para a espécie *G. klotzschiana*, observou-se a presença de frutos maduros por aproximadamente 11 meses, sendo que a maior intensidade da fenofase foi observada de outubro a julho. Em *B. salicifolius*, os frutos maduros foram verificados a partir de janeiro e a expressão máxima dessa fenofase ocorreu nos meses de fevereiro e março. Os frutos maduros em *H. dulcis* foram verificados entre dezembro e agosto, com redução na intensidade da fenofase a partir de junho. *L. lucidum* apresentou frutos maduros de dezembro a outubro, sendo de fevereiro a agosto os meses de maior intensidade dessa fenofase (FIGURA 5).

FIGURA 5. FRUTOS MADUROS DE *Gymnanthes klotzschiana*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Hovenia dulcis* E *Ligustrum lucidum* EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL.



FONTE: O AUTOR (2017).

4.3.1 Modelos lineares generalizados (GLM)

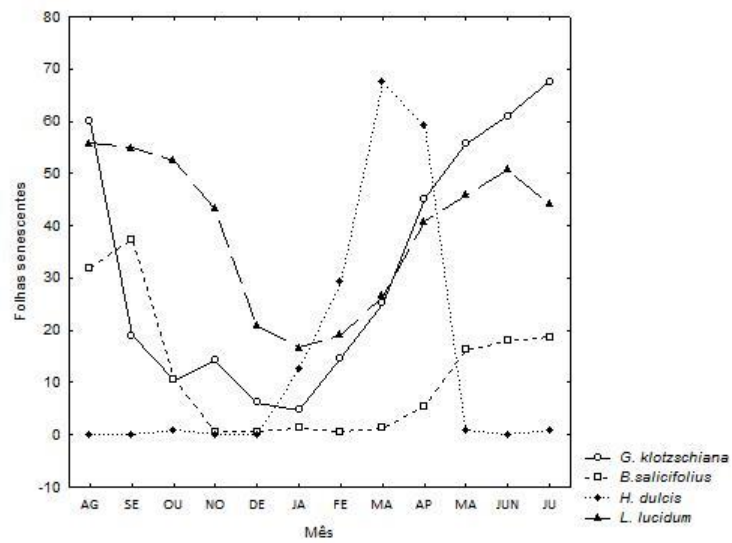
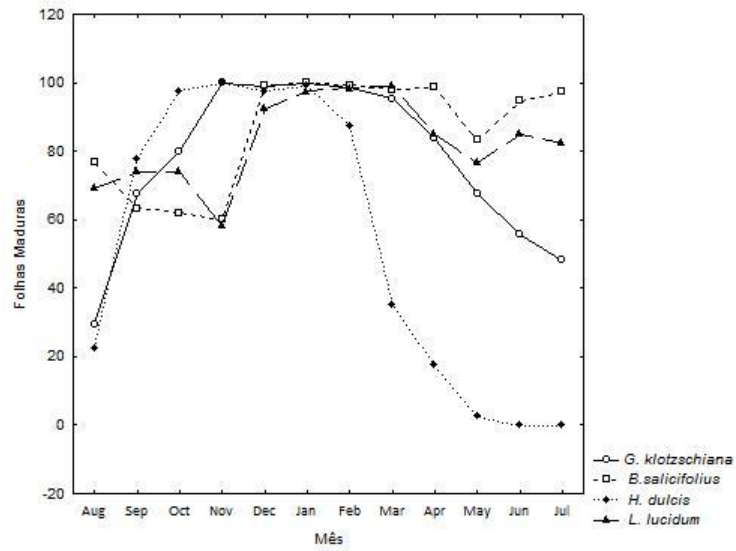
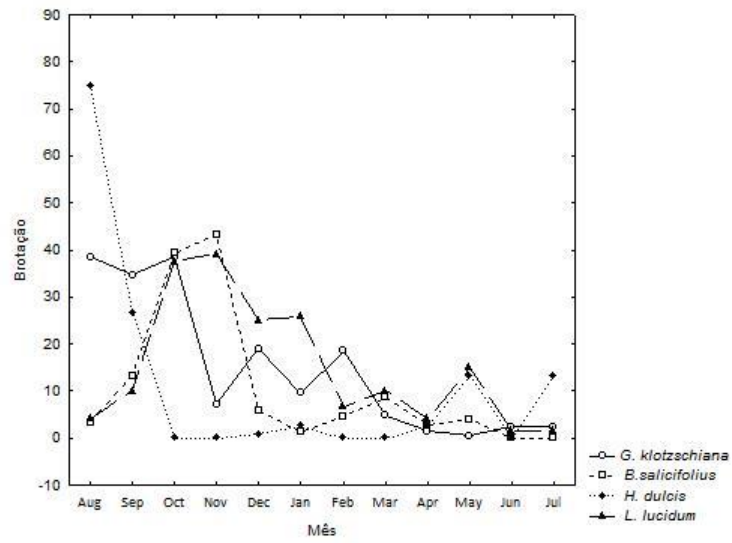
Os modelos gerados indicam que todas as espécies avaliadas diferem quanto ao comportamento de suas fenofases (Tabela 1). Por exemplo, observa-se que existem diferenças entre as espécies, entre os meses, se comportando diferente ao longo do tempo para as diferentes fenofases. Comportamento fenológico distinto do das demais (FIGURA 6), que, por sua vez, têm comportamento fenológico semelhante.

TABELA 1. RESULTADOS DOS MODELOS LINEARES GENERALIZADOS MISTOS (MLGM) DAS VARIÁVEIS FENOLÓGICAS PARA OS EFEITOS DOS MESES, ESPÉCIES, E INTERAÇÃO ENTRE MESES E ESPÉCIES.

Variáveis fenológicas	Efeitos	GL	QM	F	P
<i>Folhas senescentes</i>	Espécie	3	1.08E+04	35.53	.000*
	Meses	11	2349	9.41	.000*
	Meses x Espécie	33	1806	7.23	0.000*
<i>Folhas maduras</i>	Espécie	3	1.33E+04	23.93	.000*
	Meses	11	5755	12.78	0.000*
	Meses x Espécie	33	2871	6.38	.000*
<i>Brotação</i>	Espécie	3	335	0.698	0.567
	Meses	11	2081	6.901	.000*
	Meses x Espécie	33	1139	3.778	.000*
<i>Fruto imaturo</i>	Espécie	3	3504.89	7.5075	0.002347
	Meses	10	4563.67	10.7362	.000*
	Meses x Espécie	30	1760.54	4.1417	.000*
<i>Antese</i>	Espécie	3	1422	2.227	0.124
	Meses	6	1451	2.913	.012*
	Meses x Espécie	18	1978	3.971	.000*
<i>Frutos maduros</i>	Espécie	3	6820	10.95	.000*
	Meses	11	7808	21.78	0.000*
	Meses x Espécie	33	2220	6.19	.000*

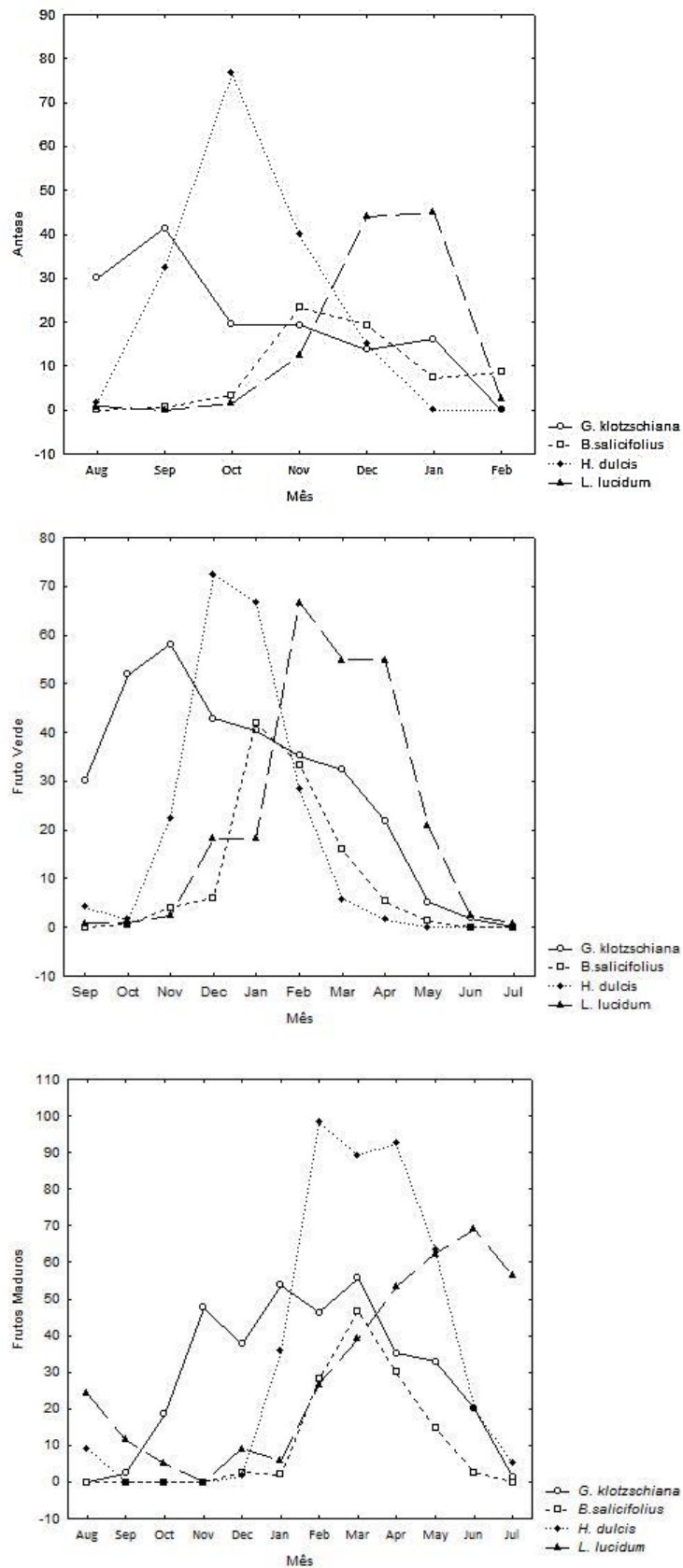
LEGENDA: * - Estatisticamente significativo.

FIGURA 6. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS MODELOS LINEARES GENERALIZADOS MISTOS (MLGM) PARA AS FENOFASES VEGETATIVAS DAS ESPÉCIES MONITORADAS



FONTE: O AUTOR (2017).

FIGURA 7. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS MODELOS LINEARES GENERALIZADOS MISTOS (MLGM) PARA AS FENOFASES REPRODUTIVAS DAS ESPÉCIES MONITORADAS.



FONTE: O AUTOR (2017).

Na análise para as variáveis fenológicas vegetativas (folha senescente e folha madura), o modelo resultante também foi significativo a 1% ($p < 0,000$), indicando a existência de um comportamento diferente entre as espécies (FIGURA 7). No que diz respeito às variáveis reprodutivas, o modelo gerado foi significativo a 1%, apenas para as variáveis reprodutivas (fruto imaturo e fruto maduro).

4.3.2 Correlações entre as fenofases e variáveis ambientais

Na TABELA 1 é possível verificar as correlações obtidas entre as variáveis fenológicas e meteorológicas analisadas. As forças de associações indicam o fotoperíodo como a variável que mais apresentou correlação com a maioria das fenofases.

TABELA 1. CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E AS FENOFASES DAS ESPÉCIES MONITORADAS: T_{min} (TEMPERATURA MÍNIMA), T_{máx} (TEMPERATURA MÁXIMA), P_p (PRECIPITAÇÃO), Fotop (FOTOPERÍODO), Atmen (AMPLITUDE TÉRMICA MENSAL).

continua					
Fenofase	T _{min} (°C)	T _{máx} (°C)	P _p (mm)	Fotop (h)	Atmen (°C)
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>					
Folha madura	0,5146 < 0,0001	0,2998 < 0,0213	<i>ns</i>	0,5058 < 0,0025	-0,3624 < 0,0054
Folha senescente	-0,4362 < 0,0008	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,5475 < 0,0000	<i>ns</i>
Brotação	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-0,2641 < 0,0425	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Antese	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,3286 < 0,0116	<i>ns</i>
Fruto imaturo	0,4238 < 0,0011	0,3301 < 0,0112	<i>ns</i>	0,5052 < 0,0001	<i>ns</i>
Fruto maduro	0,6676 < 0,0000	0,3588 < 0,0059	<i>ns</i>	0,6159 < 0,0000	-0,4488 < 0,0006
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>					
Folha madura	0,2896 < 0,0261	<i>ns</i>	0,3036 < 0,0197	<i>ns</i>	-0,5037 < 0,0001
Folha senescente	-0,3681 < 0,0047	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Brotação	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Antese	0,2851 < 0,0285	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,4909 < 0,0002	<i>ns</i>
Fruto imaturo	0,2349 < 0,0712	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,3667 < 0,0048	<i>ns</i>
Fruto maduro	0,3954 < 0,0024	<i>ns</i>	0,7361 < 0,0439	0,2695 < 0,0384	-0,3187 < 0,0144
<i>Hovenia dulcis</i>					
Folha madura	0,6843 < 0,0000	0,7602 < 0,0000	<i>ns</i>	0,7487 < 0,0000	-0,2694 < 0,0385
Folha senescente	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-0,2731 < 0,0359
conclusão					
Fenofase	T _{min} (°C)	T _{máx} (°C)	P _p (mm)	Fotop (h)	Atmen (°C)
<i>Hovenia dulcis</i>					
Brotação	-0,4779 < 0,0002	-0,3931 < 0,0025	<i>ns</i>	-0,4047 < 0,0019	0,3631 < 0,0053
Antese	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,2988 < 0,0217	<i>ns</i>
Fruto imaturo	0,5479 < 0,0000	0,5710 < 0,0000	<i>ns</i>	0,6532 < 0,0000	<i>ns</i>
Fruto maduro	0,3840 < 0,0032	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0	-0,5244 < 0,0001

conclusão

<i>Ligustrum lucidum</i>					
Folha madura	0,3154 < 0,0154	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,2845 < 0,0289	-0,3104 < 0,0171
Folha senescente	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Brotação	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,4216 < 0,0012	<i>ns</i>
Antese	0,3104 < 0,0171	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,5030 < 0,0001	<i>ns</i>
Fruto imaturo	0,5648 < 0,0000	0,4256 < 0,0011	<i>ns</i>	0,4649 < 0,0004	-0,3360 < 0,0099
Fruto maduro	-0,2595 < 0,0462	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-0,4843 < 0,0002	<i>ns</i>

FONTE: O AUTOR (2017).

NOTA: n amostral: (60). Admitindo-se probabilidade de significância de 95%.

Para *G. klotzschiana*, apenas a brotação não apresentou correlação significativa com o fotoperíodo. Para essa espécie, as maiores correlações foram com fruto maduro ($r = 0,61$), indicando que o processo de frutificação se inicia em meses com maior fotoperíodo. Correlações significativas e fracas também foram obtidas para a fenofase reprodutiva antese ($r = 0,32$). Para os frutos, tanto imaturos como maduros, as correlações foram moderadas ($r = 0,50$ e $0,61$, respectivamente).

Em *B. salicifolius*, as correlações significativas a 1% com o fotoperíodo foram observadas apenas para as fenofases reprodutivas. Para *H. dulcis*, as forças de associação indicaram uma correlação forte entre o fotoperíodo e as folhas maduras ($r = 0,74$), ausência de correlação com folhas senescentes e uma correlação negativa com a brotação ($r = -0,40$), que, embora fraca, indica que com a diminuição do fotoperíodo aumenta a brotação. Nas demais fenofases correlacionadas com o fotoperíodo, o fruto imaturo apresentou correlação direta ($r = 0,65$), indicando, portanto, maior ocorrência da fenofase em períodos com mais horas de radiação, o que coincide com os meses correspondentes a essa fenofase.

As forças de associação entre *L. lucidum*, de forma geral, foram de fracas a moderadas com as variáveis meteorológicas testadas. Para as fenofases vegetativas não foram detectadas correlações com folhas senescentes. Nas fenofases reprodutivas, foram estimadas correlações moderadas com antese ($r = 0,65$) e correlações fracas com fruto imaturo ($r = 0,46$) e com fruto maduro ($r = -0,48$).

A temperatura mínima foi a segunda variável que apresentou mais correlações com as fenofases. Em *G. klotzschiana*, foram detectadas correlações com fruto imaturo ($r = 0,42$) e com fruto maduro ($r = 0,66$). De modo geral, as correlações com *B. salicifolius* foram fracas. Para *H. dulcis* e *L. lucidum*, a fenofase fruto imaturo teve uma correlação moderada, de $0,54$ e $0,56$, respectivamente.

A temperatura máxima mostrou-se pouco correlacionável com as fenofases, de modo geral, para as espécies nativas. Em *G. klotzschiana*, obtiveram-se correlações fracas, e para *B. salicifolius* não foram detectadas correlações significativas. Para as exóticas, observou-se correlação forte com folhas maduras ($r = 0,76$) e correlação fraca com a brotação ($r = -0,39$), indicando que, com o aumento da temperatura, ocorre redução na brotação, resultado confirmado pelo fato de essa fenofase ocorrer em um mês mais frio (julho). Fruto imaturo foi a fenofase que apresentou correlação significativa em ambas as exóticas: $r = 0,57$ para *H. dulcis* e $r = 0,42$ para *L. lucidum*.

A precipitação foi a variável que menos se correlacionou com as fenofases das espécies avaliadas, exceto para *G. klotzschiana*, em que se observou correlação muito fraca ($r = -0,26$), indicando que, para o intervalo temporal e para o local de estudo, a precipitação não apresentou relação evidente com as fenofases avaliadas.

A amplitude térmica apresentou correlação com as mesmas fenofases, folha madura e fruto maduro, nas nativas. Nas exóticas, as fenofases vegetativas de *H. dulcis* mostraram-se correlacionáveis, porém muito fracas. Observou-se também uma fraca correlação com folha madura ($r = -0,31$) e fruto imaturo ($r = -0,31$) de *L. lucidum*.

4.4 DISCUSSÃO

Ambientes aluviais com presença de espécies arbóreas apresentam a peculiaridade de serem frequentemente hidromórficos, devido à proximidade do lençol freático, que por vezes ocasiona uma saturação hídrica temporária do solo. Essa característica limita o número de espécies capazes de se estabelecerem sob essas condições. A monodominância de *G. klotzschiana* ocorre em outros ambientes aluviais do Sul do Brasil (NOGUEIRA et al., 2011; BARDDAL et al., 2004) e no Uruguai (TRAVERSA-TEJERO; ALEJANO-MONGE, 2013; GRELA; BRUSSA, 2003). Das demais espécies que compõem este estudo fenológico, *B. salicifolius* representa 3,0% dos indivíduos arbóreos, e as duas espécies exóticas, *H. dulcis* e *L. lucidum*, representam 0,6% cada uma. (CARVALHO et al., 2016). Essas quatro espécies monitoradas totalizam mais de 69% da comunidade. Diante disso, ao retratar o comportamento fenológico dessas espécies, é possível inferir que possa se tratar do comportamento desse grupo de espécies em inúmeros outros fragmentos com essa composição.

Comparativamente, as espécies parecem ter um comportamento semelhante no que diz respeito à sua fenologia vegetativa, uma vez que três das quatro espécies estudadas se enquadram como espécies perenes com renovação anual de folhas, sendo decídua apenas

H. dulcis. O comportamento vegetativo decíduo foi caracterizado segundo o critério proposto por Oliveira et al. (2015), que consideram decíduas as espécies que ficam desprovidas de folhas pelo menos um mês.

O início da senescência foliar nas espécies, de forma geral, ocorre no começo do outono e estende-se até o inverno, o que é um comportamento esperado para florestas subtropicais, como relatado nos estudos de Antoneli e Thomaz (2012), Scheer et al. (2009) e Pinto e Marques (2003). Essa estratégia parece funcionar como um mecanismo de suporte às temperaturas negativas ou próximas a 0 °C, que são frequentes na região, garantindo um escape da seca fisiológica (seca ocasionada pelo frio intenso) (LARCHER, 2006), típica nessa estação do ano e até mesmo do efeito das geadas (INOUYE, 2000).

G. klotzschiana, *B. salicifolius* e *L. lucidum* apresentaram um processo de caducifolia não aparente, pois a queda ocorreu de forma sincronizada com a formação de novas folhas. Nessa condição, sincronizar a senescência foliar e a queda posterior representa também um processo de substituição gradual das folhas adultas, total ou parcialmente envelhecidas, menos eficientes, por folhas novas, resultando em aumento da eficiência da taxa fotossintética e intenso crescimento primaveril (BACKES; PRATES; VIOLA, 2005).

Essas estratégias vegetativas adotadas pelas espécies também podem ser interpretadas como uma maneira de não comprometer a floração, até mesmo para *H. dulcis*, que tem um caráter decíduo mais pronunciado. Isso porque o momento de transição entre o período vegetativo e as fenofases reprodutivas é crucial para a produção de sementes (CLELAND et al., 2007) e para captar recursos por meio da fotossíntese, resultando em maior segurança e competitividade da espécie.

Neste estudo, a hipótese da existência de diferenças no comportamento fenológico das espécies é validada considerando-se os padrões identificados. *G. klotzschiana* parece ter uma estratégia diferenciada das demais, principalmente no que diz respeito à floração. A possibilidade de iniciar a floração antes das demais e de temporizar em um período mais longo proporciona a vantagem de “reger” os processos fenológicos existentes na comunidade. Florescer muito cedo pode expor as plantas a condições de clima frio e à ocorrência de geadas prejudiciais; florescer tarde, por outro lado, pode implicar pouco tempo para germinação e desenvolvimento antes do período desfavorável (MILLER-RUSHING et al., 2010). O que se observou foi que a espécie aproveita de forma satisfatória todas as estações do ano.

A variação no comportamento fenológico entre espécies é importante para manter a coexistência entre elas em diversas comunidades, atuando como um mecanismo para reduzir a competição por polinizadores e outros recursos, além de ampliar a disponibilidade de alimento.

Além disso, a fenologia pode ser eficiente na compreensão dos mecanismos de construção de nichos das plantas (DONOHUE, 2005).

A construção do nicho e as relações estabelecidas intraespecificamente proporcionam uma medida informativa da organização estrutural das comunidades, o que pode levar ao entendimento do sucesso de espécies invasoras. Invariavelmente, a floração é a atividade fenológica mais significativa para a planta. O fato de a floração das espécies exóticas ocorrer após a das nativas confirma a hipótese sugerida por Wolkovich e Cleland (2010) quanto à existência de um nicho vago para a reprodução, ou seja, *H. dulcis* floresce enquanto *G. klotzschiana* diminui sua floração em novembro.

É importante ressaltar que a floração intensa de *G. klotzschiana* ocorre por aproximadamente nove meses. Considerando seu valor de importância dentro da comunidade, essa “intensa floração” é, na verdade, correspondente à floração de mais da metade dos indivíduos da floresta. As questões relacionadas à competição por polinizadores, correlações da floração com a frutificação e explicações fisiológicas são os principais pontos para explicar as temporizações distintas da floração (PRIMACK, 1985).

Esse ajuste escalonado de floração pode ser benéfico principalmente para a redução da competição entre polinizadores. Além disso, considerando tratar-se de uma Floresta Ombrófila, Morellato e Haddad (2000) afirmaram que o padrão é que diferentes espécies floresçam e frutifiquem sequencialmente ao longo do ano, uma após a outra.

Ainda, a questão de floração da espécie mais representativa dessa comunidade salienta a estratégia de uma florada mais intensa, justamente porque a floração é iniciada em um período em que a espécie pode sofrer com baixas temperaturas. Eventos como geada podem causar o aborto de estruturas reprodutivas (INOUE, 2000).

As espécies exóticas florescem de outubro a dezembro, quando as condições climáticas são mais favoráveis sob o ponto de vista térmico e fotoperiódico. Nesse sentido, as exóticas também se beneficiam da teoria da *plasticidade com o clima*, por ajustarem sua reprodução a um período com condições térmicas adequadas, uma vez que temperaturas mais baixas podem levar ao comprometimento reprodutivo. Para ter sucesso após a invasão, uma espécie se obriga a emitir flor no momento apropriado do ano, o que dependerá das necessidades da planta (GODOY et al., 2009).

As diferenças observadas entre as nativas *G. klotzschiana* e *B. salicifolius* podem estar relacionadas aos seus grupos ecológicos, tratando-se, respectivamente, de uma pioneira e de uma clímax exigente de luz. Para as exóticas, o caráter pioneiro é destacado, dado às características próprias desse grupo, como, por exemplo, a necessidade alta de luz.

Embora *H. dulcis* e *L. lucidum* sejam invasoras nesse ambiente, elas não configuram uma ameaça a essa comunidade aluvial. Estrategicamente, com fundamento nos resultados do acompanhamento fenológico, o potencial invasor de uma espécie será fortemente regulado pelo banco de sementes disponível no solo. Ambas as espécies exóticas monitoradas têm floração expressiva e frutificação atraente para a avifauna, o que estimula uma dispersão ampla, mas, ao chegarem ao solo, elas encontram restrições para o seu desenvolvimento, dados os baixos valores de recrutamento das espécies na mesma área (CARVALHO *et al*, 2016).

Estudos realizados com *L. lucidum* apontam que a espécie forma um banco de sementes de curta duração, em que quase toda a germinação ocorre durante a primeira estação de crescimento (PANETTA, 2000). A germinação das sementes é reforçada quando os frutos são consumidos primeiramente pelos animais. O mesmo autor comenta que a germinação de *L. lucidum* é quase que completamente inibida quando os frutos são deixados intactos, tudo isso aliado à diminuição da regeneração quando a espécie se encontra sombreada (ARAGON; GROOM, 2003).

H. dulcis também encontra limitações para se estabelecer. Mesmo que promova um aporte de sementes significativo, resultado da sua intensa frutificação, a germinação ocorre à medida que a própria espécie perde suas folhas, promovendo a passagem de maior intensidade de radiação. Entretanto, a partir da reposição das folhas, a mortalidade das plântulas intensifica-se, provocando o insucesso completo da sua regeneração, caso não haja distúrbio na área (LONGHI-SANTOS *et al.*, 2017).

Em síntese, embora espécies exóticas tenham estratégias fenológicas reprodutivas expressivas e ajustadas para acontecerem em nichos de menor ação das nativas, nesse fragmento o sucesso delas está facultado a encontrar condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Ainda que a área sofra distúrbios eventuais, como inundações, sendo este o principal facilitador para desencadear processos de invasão de espécies exóticas (GUREVITCH; PADILLA, 2004), eles devem ocorrer em período em que seja favorável acionar o banco de sementes e proporcionar o crescimento das plântulas. Se esse distúrbio coincidir com o período de renovação foliar registrado para as espécies, invariavelmente atuará como limitador de recursos para a regeneração das exóticas.

Para *G. klotzschiana*, esses eventos esperados para ambientes aluviais, como possíveis pulsos de inundação, parecem não interferir no processo de crescimento de plântulas, conforme ensaios realizados por Barddal (2006). Ao fim de 28 dias, o autor observou a sobrevivência de 58% das plântulas submetidas a inundação simulada, atestando que a espécie tem uma boa tolerância hídrica.

No trabalho desenvolvido por Longhi-Santos (2013), o autor, ao identificar variações entre as idades de indivíduos de *G. klotzschiana*, sugere que, embora a espécie tenha caráter pioneiro, sua reposição dentro da comunidade não estaria ligada a um distúrbio, diferentemente do que parece ser necessário para as exóticas presentes na área de estudo.

Do conjunto de variáveis ambientais testadas para responderem pelo comportamento fenológico das espécies, o fotoperíodo foi a variável de maior influência nas fenofases do conjunto das espécies estudadas. O sinal de que o inverno já passou e que as plantas podem começar sua reprodução é sentido pelo aumento do comprimento do dia, que conseqüentemente remete a temperaturas mais altas (BASLER; KÖRNER, 2014).

É em razão disso que muitas plantas são orientadas pelo fotoperíodo para antever mudanças ambientais e alinhar precisamente o período de reprodução a condições favoráveis (SONG; ITO; IMAIZUMI, 2013). Cronometrar eventos do desenvolvimento para coincidir com condições favoráveis é fundamental ao crescimento, sobrevivência e reprodução das plantas.

O benefício de uma espécie ao responder de forma direta ao fotoperíodo é a possibilidade de sofrer menos com questões de mudanças climáticas globais. Embora ocorra um provável aumento da temperatura e uma ampliação da estação de crescimento, espécies que têm o fotoperíodo como indutor das suas atividades fenológicas tendem a sentir menos essas mudanças climáticas, por serem pouco sensíveis aos aumento de temperatura (BASLER; KÖRNER, 2014).

Assim, plantas submetidas a estímulos constantes ao longo de gerações, como é o caso do fotoperíodo (BORCHERT et al., 2005), moldaram metabolicamente mecanismos de resposta a tais estímulos externos (BORCHERT et al., 2005). Entre as respostas, desenvolveu-se a temporalização das fenofases reprodutivas, particularmente no que se refere ao início da formação dos botões florais (DODD et al., 2005).

Depois do fotoperíodo, a temperatura parece ter uma relação mais atuante sobre as fenofases de forma geral, não fazendo distinção entre espécies nativas e exóticas. Guardadas as devidas proporções, a frutificação responde de forma mais efetiva a baixas temperaturas, isso porque, à medida que as temperaturas mínimas aumentam, inicia o processo de surgimento dos frutos imaturos, exceto para *B. salicifolius*, que somente expressa essa fenofase quando as temperaturas mínimas são maiores (Figura 4). É importante salientar que há evidências que sugerem que o calendário da história de vida de muitas plantas é hereditário (MILLER-RUSHING et al., 2010), motivo pelo qual a temperatura atua apenas como agente modulador da fenologia.

A precipitação, por sua vez, foi a variável ambiental que menos se correlacionou com as fenofases. Esse resultado corrobora os estudos de Milani (2013) para uma série de dados de três anos de acompanhamento fenológico de um grupo de espécies nesse mesmo fragmento. As condicionantes para que a precipitação tenha tido as menores forças de associação com o comportamento fenológico das espécies podem estar relacionadas à boa distribuição hídrica para a região de estudo e também ao fato de essa área estar situada em uma planície de inundação, onde o recurso *água* não limita o bom desenvolvimento das espécies.

4.5 CONCLUSÕES

As estratégias fenológicas identificadas neste trabalho apontam que *Gymnanthes klotzschiana* rege os processos fenológicos da comunidade estudada, sendo seu sucesso nesse ambiente resultado de sua expressiva floração e frutificação.

Espécies exóticas, em clara estratégia de nicho vago, tiveram seus picos fenológicos em períodos em que a expressão das espécies nativas não era tão intensa. Identificou-se também que as espécies exóticas optam por expressar suas fenofases reprodutivas em condições térmicas coincidentes com o aumento das temperaturas.

De forma geral, o fotoperíodo e as temperaturas mínimas foram os principais fatores a influenciar as fenofases, enquanto a precipitação não apresentou relação com as fenofases.

Responder ao fotoperíodo para esse conjunto de espécie pode ser uma excelente estratégia evolucionária para ser mais tolerante a mudanças climáticas globais.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Z.**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Produção de serrapilheira em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista com sistema de faxinal. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 3, p. 489-504, 2012.
- ARAGÓN, R.; GROOM, M. Invasion by *Ligustrum lucidum* (Oleaceae) in NW Argentina: early stage characteristics in different habitat types. **Revista Biología Tropical**, Costa Rica v. 51, n. 1, p. 59-70, 2003.
- AUGSPURGER, C.K. A cue for synchronous flowering. In: LEIGH, E. G.; RAND, A. S.; WINDSOR, D. M. (eds.). **The ecology of a tropical forest: seasonal rhythms and long-term changes**. Smithsonian Institution Press, Washington, p. 133-150, 1982.
- BACKES, A.; PRATES, F. L.; VIOLA, M. G. Produção de serrapilheira em Floresta Ombrófila Mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 155-160, 2005.
- BARDDAL, M. L.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; CURCIO, G. R. Fitossociologia do sub-bosque de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 35-45, 2004.
- BARDDAL, M. L. **A influência da saturação hídrica na distribuição de 8 espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista aluvial do rio Iguaçu, PR, BR**. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- BARRETT, S. C. H.; COLAUTTI, R. I.; ECKERT, C. G. Plant reproductive systems and evolution during biological invasion. **Molecular Ecology**, v. 17, n. 1, p. 373-383, 2008.
- BASLER, D.; KÖRNER, C. Photoperiod and temperature responses of bud swelling and bud burst in four temperate forest tree species. **Tree Physiology**, v. 34, n. 4, p. 377-388, 2014.
- BENCKE, C. S.; MORELLATO, L. P. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica** v. 25, n. 3., p. 269-275, 2002.
- BLUM, C. T.; BORGIO, M.; SAMPAIO, A. C. F. Espécies exóticas invasoras na arborização de vias públicas de Maringá-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 3, n. 2, p.78-97, 2008.
- BORCHERT, R. et al. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. **Nature**, v. 433, n. 7026, p. 627-629, 2005.
- CADOTTE, M. W., MURRAY, B. R.; LOVETT-DOUST, J. Ecological patterns and biological invasions: using regional species inventories in macroecology. **Biological Invasions**, v. 8, n. 4, p. 809-821, 2006.

- CARVALHO, J. et al. Monospecific dominance in a Alluvial Mixed Ombrophyllous Forest in southern Brazil. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 10, n. 10, p. 38-44, 2016.
- CLELAND, E. E. et al. Shifting plant phenology in response to global change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 7, p. 357-365, 2007.
- DENARDI, L.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (HBK) Berg. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 119-127, 2005.
- DODD, A. N. et al. Plant circadian clocks increase photosynthesis, growth, survival, and competitive advantage. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 630-633, 2005.
- DONOHUE, K. Niche construction through phenological plasticity: life history dynamics and ecological consequences. **New Phytologist**, v. 166, n. 1, p. 83-92, 2005.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro. 2013.
- FELFILI J. M. *et al.* **Fitossociologia no Brasil – Volume 2: Métodos e estudos de casos**. UFV, 2015.
- GAEPPC (Georgia Exotic Pest Plant Council). **Controlling Exotic Plants in Your Forest**. USA: USDA Forest Service. Disponível em: <www.gaepcc.org>. Acesso em: novembro/2015.
- GODOY, O. *et al.* Flowering phenology of invasive alien plant species compared with native species in three Mediterranean-type ecosystems. **Annals of Botany**, v. 103, n. 3, p. 485-494, 2009.
- GODOY, O.; LEVINE, J. M. Phenology effects on invasion success: insights from coupling field experiments to coexistence theory. **Ecology**, v. 95, n. 3, p. 726-736, 2014.
- GRELA, I.; BRUSSA, C. Relevamiento florístico y análisis comparativo de comunidades arbóreas de Sierra de Ríos (Cerro Largo-Uruguay). **Agrociencia**, v. 7, n. 2, p. 11-26, 2003.
- GUIBAN, A.; EDWARDS, T. C.; HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. **Ecological Modeling**, v. 157, n. 2, p. 89-100, 2002.
- GUIBAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modeling**, v. 135, n. 2-3, p. 147-186, 2000.
- GUREVITCH, J.; PADILLA, D. K. Are invasive species a major cause of extinctions? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 19, n. 9, p. 470-474, 2004.
- HEGLAND, S. J. et al. How does climate warming affect plant-pollinator interactions? **Ecology Letters**, v. 12, n. 2, p. 184-195, 2009.

HOYOS, L. E. *et al.* Invasion of glossy privet (*Ligustrum lucidum*) and native forest loss in the Sierras Chicas of Córdoba, Argentina. **Biological Invasions**, v. 12, p. 3261-3275, 2010.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais Técnicos em Geociências, n.1), 2012. 275p.

INOUYE, D. W. The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change. **Ecology Letters**, v. 3, n. 5, p. 457-463, 2000.

IABIN (Inter-American Biodiversity Information Network) - **Invasives Information Network** (I3N). Disponível em: <<http://www.oas.org/en/sedi/dsd/iabin/>>. Acesso em: setembro/2016.

LAIRD, N. M.; WARE, J. H. Random effects models for longitudinal data. **Biometrics**, v. 38, p. 963-974, 1982.

LAKE, J. C.; LEISHMAN, M. R. Invasion success of exotics in natural ecosystems: the role of disturbance, plant attributes and freedom from herbivores. **Biological Conservation**, v. 117, p. 215-226, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 531 p.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista aluvial, Paraná, Brasil**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LONGHI-SANTOS, T. *et al.* Influência de variáveis ambientais no estabelecimento de plântulas de *Hovenia dulcis* em Floresta Aluvial. **Revista Espacios**, vol. 38, n. 14, 2017.

MILANI, J. E. de F. **Comportamento fenológico de espécies arbóreas em um fragmento de floresta Ombrófila Mista Aluvial – Araucária, PR**. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MILLER-RUSHING, A. J. *et al.* The effects of phenological mismatches on demography. **Philosophical transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1555, p. 3177-3186, 2010.

MORELLATO, L. P. C.; HADDAD, C. F. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 786-792, 2000.

NOGUEIRA, M. K. F. *et al.* Caracterização fitossociológica e pedológica dos estratos arbóreo e arbustivo em uma planície aluvial no município de Jaguariaíva, Paraná. **Terr@Plural**, v. 4, n. 2, p. 193-216, 2011.

OLIVEIRA, C. C. *et al.* Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes. **Austral Ecology**, v. 40, n. 1, p. 40-49, 2015.

- PANETTA, F. D. Fates of fruits and seeds of *Ligustrum lucidum* W.T.Ait. and *L. sinense* Lour. maintained under natural rainfall or irrigation. **Australian Journal of Botany**, v. 48, p. 701-706, 2000.
- PAU, S. et al. Predicting phenology by integrating ecology, evolution and climate science. **Global Change Biology**, v. 17, n. 12, p. 3633-3643, 2011.
- PINTO, C. B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Revista Floresta**, v. 33, n. 3, p. 257-264, 2003.
- PRIMACK, R. B. Patterns of flowering phenology in communities, populations, individuals and single flowers. In: WHITE, J. (ed.). **Population Structure of Vegetation**. Dordrecht: Junk, p. 571-593, 1985.
- SCHEER, M. B. *et al.* Patterns of litter production in a secondary alluvial Atlantic Rain Forest in southern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 32, n. 4, p. 805-817, 2009.
- SONG, Y. H., ITO, S.; IMAIZUMI, T. Flowering time regulation: photoperiod-and temperature-sensing in leaves. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 10, p. 575-583, 2013.
- TRAVERSA-TEJERO, I. P.; ALEJANO-MONGE, M. R. Caracterización, distribución y manejo de los bosques nativos en el norte de Uruguay. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 84, n. 1, p. 249-262, 2013.
- WAGNER, F. H. et al. Climate seasonality limits carbon assimilation and storage in tropical forests. **Biogeosciences**, v. 13., p. 2537-2562, 2016.
- WOLKOVICH, E. M.; CLELAND, E. E. The phenology of plant invasions: a community ecology perspective. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 5, p. 287-294, 2010.

CAPÍTULO 3

5 Crescimento radial, atividade cambial e fenologia de espécies arbóreas de uma floresta subtropical no sul do Brasil

RESUMO

O conhecimento dos fatores que influenciam a atividade do câmbio pode proporcionar uma documentação histórica a respeito dos eventos que determinam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. O objetivo do trabalho foi relacionar a atividade cambial e o incremento diamétrico de espécies nativas e exóticas da área de estudo com os dados fenológicos e meteorológicos, buscando responder às seguintes questões: 1) O incremento diamétrico das espécies é influenciado pelas variáveis meteorológicas e pelo comportamento fenológico das espécies? 2) A atividade cambial é sazonal, com períodos de atividade e inatividade? 3) A diferenciação celular para a formação do lenho inicial é acionada por algum sinal fenológico? O incremento diamétrico foi mensurado com cintas dendrométricas, a atividade cambial por meio de coletas de amostras do câmbio vascular e o comportamento fenológico pelo índice de intensidade. A relação das variáveis meteorológicas e das fenofases com o incremento diamétrico foi analisada por meio de regressão linear múltipla e a relação entre as variáveis da fenofase com a atividade cambial foi verificada por meio da regressão logística. O incremento diamétrico das espécies varia de sete a nove meses, sendo que a duração da estação de crescimento difere entre as espécies. *G. klotzschiana* e *B. salicifolius* têm suas maiores taxas de incremento diamétrico entre novembro e março e *H. dulcis* e *L. lucidum* de agosto a abril. Parte do incremento diamétrico de duas espécies também foi explicada por influência das fenofases: para *G. klotzschiana*, folha madura, folha senescente e fruto imaturo; para *H. dulcis*, folha madura, folha senescente e fruto maduro. A atividade cambial é sazonal, sendo identificados períodos de atividade e inatividade nas quatro espécies. A atividade do câmbio ocorre principalmente na primavera e no verão. Para as espécies, diferentes sinais fenológicos são identificados para acionar a formação do lenho inicial. Para *G. klotzschiana*, folha senescente; *H. dulcis*, a brotação; *L. lucidum*, fruto maduro e folha senescente. Não foi detectada relação de quaisquer fenofases avaliadas com os períodos de atividade e inatividade cambial de *B. salicifolius*.

Palavras-chave: Variáveis meteorológicas; sazonalidade; fenofases.

ABSTRACT

Knowledge of the factors influencing the exchange activity can provide historical documentation regarding the events that determine the growth and development of the plants. The objective of the study was to relate the exchange rate activity and the diametric increase between native and exotic species of the study area, with phenological and meteorological data. Seeking to answer the following questions: 1) Is the diametric increase of the species influenced

by the meteorological variables and the phenological behavior of the species? 2) Is the exchange rate activity seasonal, with periods of activity and inactivity? 3) Is the cell differentiation for the formation of the initial wood activated by some phenological sign? The diametric increment was measured with dendrometric bands, exchange rate activity by sample collection of vascular change, and phenological behavior by intensity index. The relationship between the meteorological variables and the phenophases with the diametric increase was analyzed by multiple linear regression and the relationship between the phenophasal variables and the exchange rate activity was verified by logistic regression. The diameter increase of the species varies from seven to nine months, and the duration of the growing season differs between species. *G. klotzschiana* and *B. salicifolius* have their highest rates of diametric increase between November and March, and *H. dulcis* and *L. lucidum* from August to April. Part of the diametric increase of two species were also explained by the influence of phenophases. For *G. klotzschiana* mature leaf, senescent leaf and green fruit, and for *H. dulcis* mature leaf, senescent leaf and ripe fruit. The exchange activity is seasonal, with periods of activity and inactivity being identified in the four species. Exchange activity occurs mainly in the spring and summer. For the species, different phenological signs are identified to trigger the formation of the initial wood. For *G. klotzschiana* senescent leaves, *H. dulcis* the sprouting, *L. lucidum* mature fruit and senescent leaf. No relation of any phenotypes evaluated with periods of activity and exchange inactivity of *B. salicifolius* was detected.

Keywords: Meteorological variables; Seasonality; Phenophases.

5.1 INTRODUÇÃO

O entendimento da dinâmica de crescimento das árvores é um requisito para se compreender a formação anual de madeira e, por consequência, o fluxo de fixação de carbono. Os fatores que controlam o crescimento das árvores são inúmeros, desde seu genótipo até o meio em que estão inseridas (HÉRAULT et al., 2011).

Em regiões tropicais e subtropicais, a sazonalidade da precipitação e das temperaturas e o fotoperíodo têm ajudado a explicar o efeito indutor da dormência e da ativação cambial do tronco das árvores (JACOBY, 1989; WORBES, 1995; SCHONGART et al., 2002). Já em florestas temperadas e boreais, o crescimento se dá em função de ciclos bem marcados de temperatura e de luminosidade (WILES et al., 1996).

Pensava-se que em regiões tropicais fosse improvável a formação de anéis anuais de crescimento, devido à ausência de uma estação de repouso definida (ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011). No entanto, existem regiões tropicais com sazonalidade marcada por períodos de forte seca ou estação seca anual e inundação (WORBES, 1989), ou por ambientes

com estação seca moderada, onde as árvores passam por uma fase de dormência, levando à formação de anéis anuais de crescimento.

A relação entre períodos de dormência e de atividade cambial ocorre de forma distinta entre as espécies. Em árvores tropicais, a atividade do câmbio vascular pode ocorrer praticamente durante todo o ano (PUMIJUMNONG; BUAJAN, 2013), ou estar restrito a uma curta temporada, levando as árvores a terem apenas períodos de maior e de menor atividade cambial (CHERUBINI et al., 2003; DE LUIS et al., 2007) e não de dormência (BORCHERT, 1999), sendo essa periodicidade uma resposta às variações do ambiente (BEGUM et al., 2013). As mesmas variações que impõem periodicidade à atividade cambial podem atuar sobre outros processos de crescimento das plantas, a exemplo do comportamento fenológico, como renovação foliar, floração e frutificação.

A periodicidade do crescimento pode ser mensurada por meio de cintas dendrométricas, usadas para avaliar o incremento em diâmetro das árvores. As cintas constituem um método não destrutivo de avaliação do crescimento, uma vez que não ocorre a necessidade de destruição de material (FANH et al., 1981). Coletas de amostras de câmbio também podem subsidiar a verificação da existência de períodos de crescimento, com a vantagem de indicar se esses períodos são resultado da diferenciação celular, das camadas de crescimento ou apenas de um aumento ou retração de casca ocasionado por períodos secos ou chuvosos (AMANO, 2007; WORBES, 1995).

Trabalhos que relacionem os processos fenológicos e a atividade cambial em florestas tropicais foram desenvolvidos por diversos autores (BORCHERT, 1999; SINGH; VENUGOPAL, 2011; WORBES; BLANCHART; FICHTLER, 2013). Abordagens integradas, que busquem comparar o crescimento radial e a fenologia em múltiplas escalas de tempo, devem permitir a melhor compreensão de como o clima tem se relacionado com ambos os eventos em árvores tropicais (YÁÑEZ-ESPINOSA et al., 2010)

O conhecimento dos fatores que influenciam a formação do câmbio pode proporcionar uma documentação histórica a respeito dos eventos que determinam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, o objetivo geral do presente estudo foi relacionar a atividade cambial e o incremento diamétrico entre espécies nativas e exóticas da área de estudo, com os dados fenológicos e meteorológicos. Ainda, objetivou-se verificar se o comportamento fenológico está relacionado com a atividade cambial e comparar a atividade cambial entre as espécies exóticas e as nativas. De acordo com os objetivos, procurou-se, com o presente trabalho, responder às seguintes questões:

- 1) O incremento diamétrico das espécies é influenciado pelas variáveis meteorológicas e pelo comportamento fenológico das espécies?
- 2) A atividade cambial é sazonal, com períodos de atividade e inatividade marcantes?
- 3) A diferenciação celular para a formação do lenho inicial é acionada por algum sinal fenológico?

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada em uma planície de inundação do rio Barigui, localizada no município de Araucária, no estado do Paraná (25°34' S e 49°20' W), em altitude média de 900 m s.n.m. O clima da região é *Cfb*, segundo a classificação climática de Koeppen (ALVARES et al., 2014).

Dados de uma estação meteorológica do SIMEPAR, distante 35 km da área de estudo, de 2011-2016, considerando o período entre agosto e julho de cada ano, resultaram em uma precipitação média anual de 1.629,6 mm em 2011-2012, 1.555,8 em 2012-2013, 1.414,2 em 2013-2014, 1.537,4 em 2014-2015 e 2.035,8 mm em 2015-2016, sendo a precipitação deste último ano 480 mm acima da média dos últimos 30 anos. As médias mensais das temperaturas mínimas, médias e máximas tiveram variações de aproximadamente 1 °C no decorrer dos cinco anos estudados. As menores temperaturas médias foram verificadas em junho de 2016 (6,9 °C) e julho de 2013 (7,9 °C). As maiores temperaturas registraram em janeiro de 2014 e janeiro de 2015, respectivamente, 29,8 °C e 29,6 °C. A temperatura média foi de 17,8 °C.

As observações fenológicas foram feitas mensalmente, no período de agosto de 2011 a julho de 2016. Para a representação e análise dos dados, optou-se por utilizar as médias das variáveis obtidas ao longo do período avaliado. O método adotado compreendeu o acompanhamento das fases vegetativas e reprodutivas de indivíduos arbóreos de quatro espécies, duas nativas e duas exóticas (TABELA 1), utilizando o Índice de Intensidade com adaptações realizadas por Milani et al. (2015).

TABELA 1. ESPÉCIES, FAMÍLIA E NÚMERO DE INDIVÍDUOS MONITORADOS DURANTE O ESTUDO.

Nome científico	Família	Status	N. indivíduos
<i>Gymnanthes klotzschiana</i> Müll.Arg.	Euphorbiaceae	nativa	12
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	Myrtaceae	nativa	10
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	Rhamnaceae	exótica	08
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton	Oleaceae	exótica	08

O incremento diamétrico foi mensurado por meio de cintas dendrométricas confeccionadas em aço inoxidável, com precisão de $\pm 0,20$ mm, para a leitura contínua do incremento em circunferência, fixadas à altura do peito (1,30 m). Os dados obtidos foram posteriormente convertidos em incremento diamétrico do fuste (MARIAUX, 1977; WORBES, 1995).

Para avaliação da atividade cambial, foram coletas amostras de dois indivíduos de cada espécie nos meses de setembro, novembro e dezembro de 2014 e nos meses de janeiro, março, abril e maio de 2015, empregando metodologia proposta por Amano (2007), que consiste na coleta de cerca de 2 a 3 cm de casca e xilema secundário, usando uma furadeira elétrica sem fio, seguida da utilização do trado de Pressler a 1,30 m do solo. Para evitar a ação de patógenos sobre a área removida, aplicou-se sulfato de cobre e óxido de cálcio na proporção 1:1. Após a coleta, o material foi fixado em FAA até ser processado. Posteriormente, o material foi emblocado e foram confeccionadas lâminas para a análise histológica.

A relação das variáveis meteorológicas e fenológicas com o incremento diamétrico foi analisada por meio de regressão linear múltipla, dado o caráter contínuo da variável incremento. Já a relação entre as variáveis fenológicas com a atividade cambial foi verificada por meio da regressão logística, em razão do caráter dicotômico da variável atividade cambial (0-1). Para fins dessas análises, as suposições da regressão (normalidade, homocedasticidade e independência dos resíduos) foram devidamente verificadas e atendidas.

Considerando que as variáveis meteorológicas e as variáveis da fenofase tendem a ser altamente correlacionadas entre si, para o sucesso das técnicas utilizadas, o problema resultante da multicolinearidade foi tratado por meio da análise de componentes principais (*Principal Component Analysis* – PCA). Essa técnica de análise multivariada tem por objetivo obter um conjunto de variáveis estatísticas ortogonais entre si, capazes de explicar a maior proporção da variância total do conjunto de dados, por meio da combinação linear das variáveis originais. Desse modo, as variáveis meteorológicas precipitação, temperatura mínima, média e máxima e fotoperíodo foram submetidas à PCA, assim como as variáveis da fenofase. Em cada análise

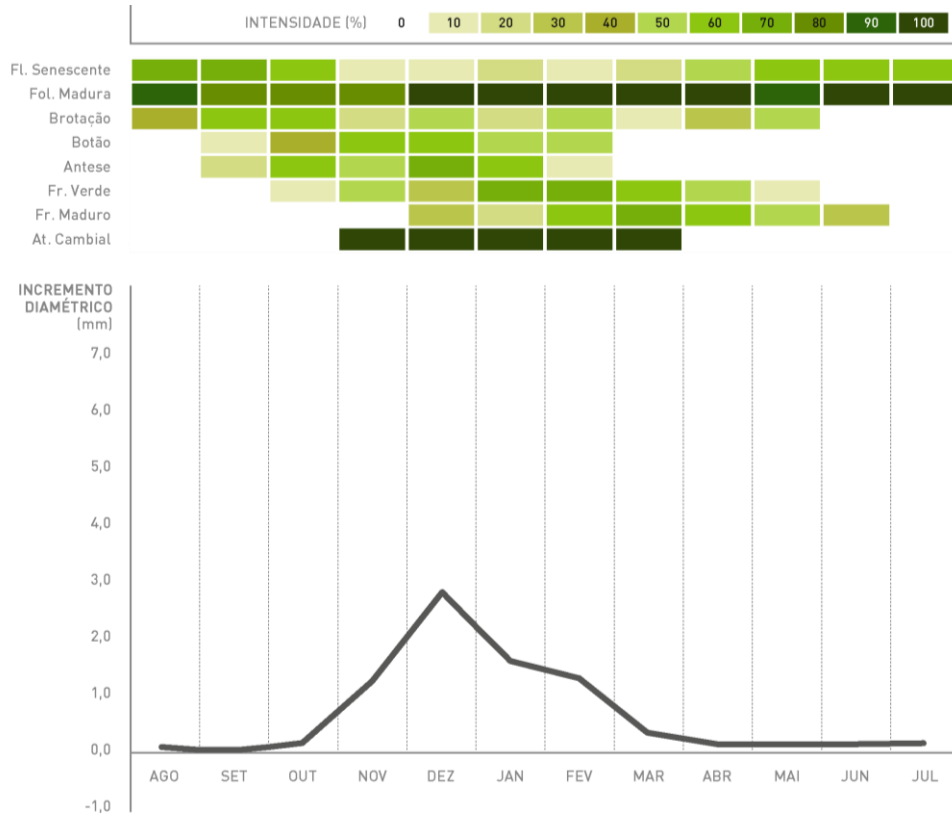
(meteorológicas e fenofase), foram extraídas as componentes principais. O critério das raízes latentes (Kaiser) foi escolhido para se determinar o número de eixos mínimo a ser considerado, cujos autovalores foram maiores que 1. As componentes principais extraídas foram então empregadas como variáveis independentes ou explanatórias nas técnicas de regressão. O método *stepwise* de seleção de variáveis foi utilizado visando identificar as componentes principais significativas aos modelos de regressão gerados.

Os dados meteorológicos foram obtidos junto ao SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná). Todas as análises foram realizadas usando o *software Statgraphics*.

5.3 RESULTADOS

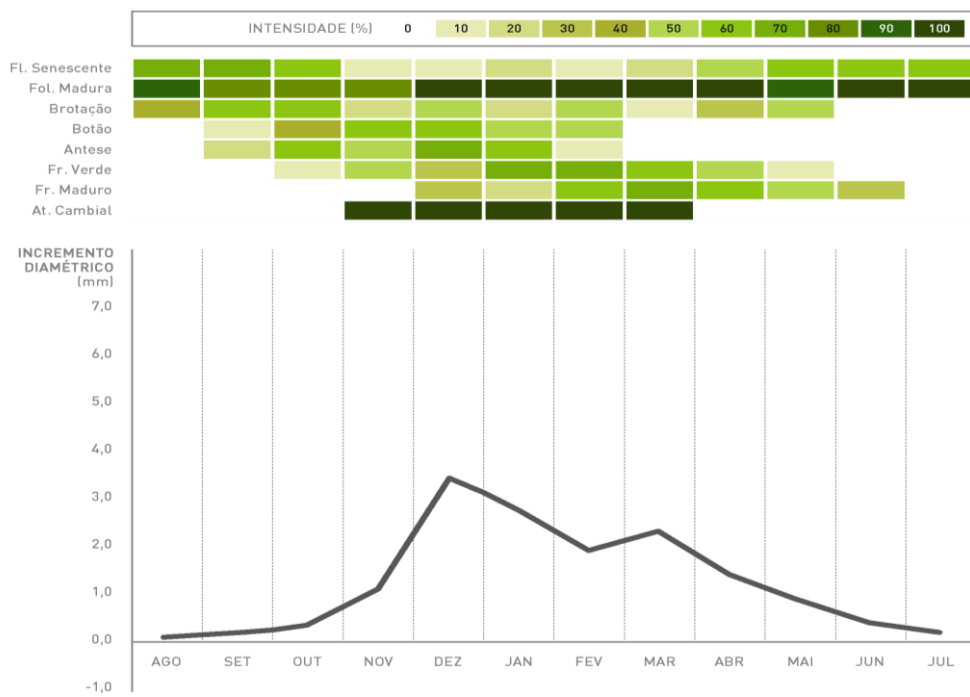
O comportamento fenológico, a atividade cambial e o incremento diamétrico das espécies avaliadas podem ser vistos nas figuras 1, 2, 3 e 4. Em cada figura, é possível verificar os períodos em que ocorre cada fenofase, observar o período em que ocorrem a atividade e a inatividade do câmbio, além de ser possível observar o incremento médio mensal de cada espécie.

FIGURA 1. FENOLOGIA, ATIVIDADE CAMBIAL E INCREMENTO DIAMÉTRICO MENSAL MÉDIO DE *Gymnanthes klotzschiana* EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL, PR.



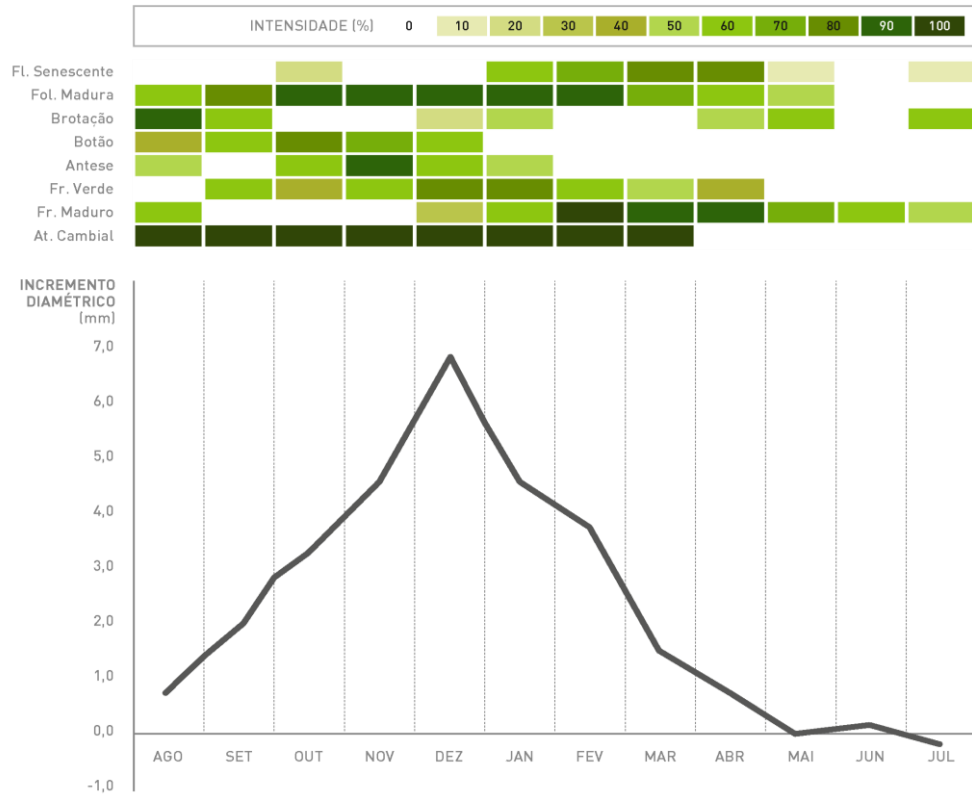
FONTE: O AUTOR (2017).

FIGURA 2. FENOLOGIA, ATIVIDADE CAMBIAL E INCREMENTO DIAMÉTRICO MENSAL MÉDIO DE *Blepharocalyx salicifolius* EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL, PR.



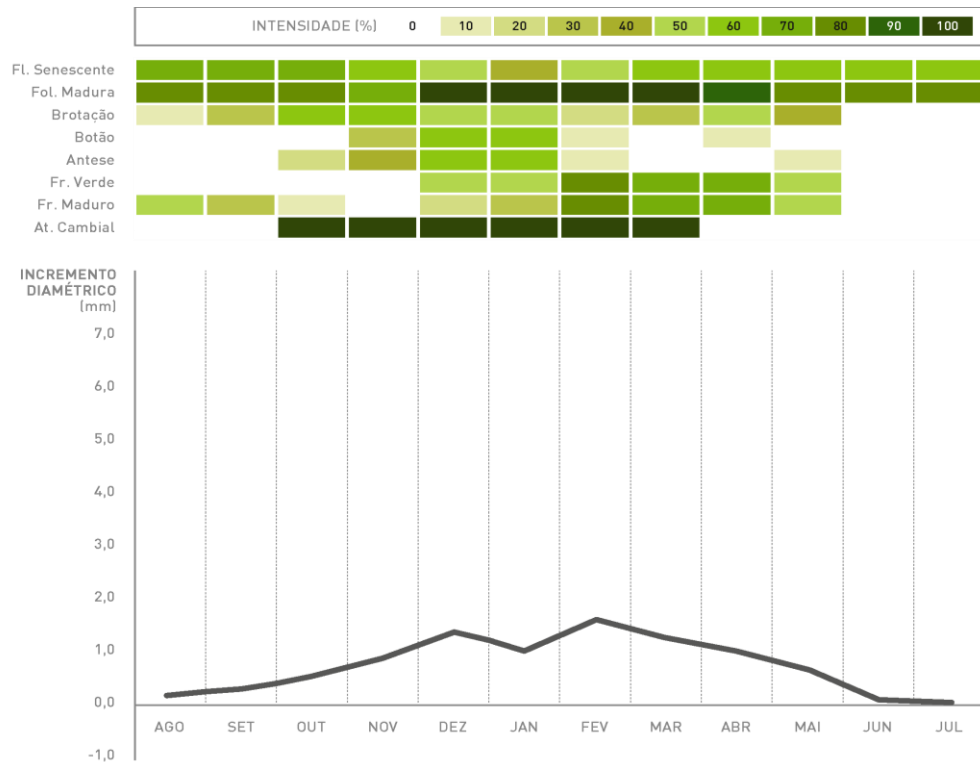
FONTE: O AUTOR (2017).

FIGURA 3. FENOLOGIA, ATIVIDADE CAMBIAL E INCREMENTO DIAMÉTRICO MENSAL MÉDIO DE *Hovenia dulcis* EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL, PR.



FONTE: O AUTOR (2017).

FIGURA 4. FENOLOGIA, ATIVIDADE CAMBIAL E INCREMENTO DIAMÉTRICO MENSAL MÉDIO DE *Ligustrum lucidum* EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL, PR.



FONTE: O AUTOR (2017).

O incremento diamétrico das espécies varia de sete a nove meses, sendo que a duração da estação de crescimento difere entre as espécies. *G. klotzschiana* e *B. salicifolius* têm suas maiores taxas de incremento diamétrico entre novembro e março e *H. dulcis* e *L. lucidum* de agosto a abril.

No que diz respeito à atividade cambial, foi possível verificar que as espécies apresentam períodos definidos de atividade e inatividade do câmbio. Para as nativas *G. klotzschiana* e *B. salicifolius*, os períodos de atividade duram, respectivamente, sete e quatro meses (Figuras 1 e 2), ocorrendo no mês seguinte uma redução, até a completa inatividade do câmbio. Para as espécies exóticas *H. dulcis* e *L. lucidum*, a atividade cambial tem duração, respectivamente, de sete e seis meses (Figuras 3 e 4). Verificou-se que a atividade cambial é comum para todas as quatro espécies durante o verão, entre os meses de dezembro e março.

A PCA efetuada para as variáveis meteorológicas resultou em uma componente principal que representa 76,9% da variação total dos dados. Na composição dessa componente, observou-se uma contribuição considerável das temperaturas médias, mínimas e máximas, seguida do fotoperíodo, e pouca contribuição da precipitação.

Para os dados fenológicos a análise de componentes principais (PCA) para *G. klotzschiana* extraiu duas principais componentes de variação, que juntas somaram 70,0 % da

variação total dos dados. O componente I contribuiu com 38,1% da variância (autovalor = 2,67). O componente II contribuiu com 29,5% da variância (autovalor = 2,24). Para *B. salicifolius* três componentes foram extraídos, que juntos somaram 67,0 % da variação total dos dados. O componente I contribuiu com 30 % da variância (autovalor = 2,10). O componente II com 22,6% da variância (autovalor = 1,58) e o componente III com 14,9% (autovalor = 1,04).

Para a exótica *H. dulcis* também foram extraídas três componentes de variação, que juntas somaram 74,8% da variabilidade do conjunto de dados. O componente I contribuiu com 33,7% da variância (autovalor = 2,36). O componente II contribuiu com 29,8% da variância (autovalor = 17,2) e o componente III contribuiu com 17% da variância (autovalor = 1,20). Por fim, para a espécie *L. lucidum*, foi extraído dois componentes de variação dos dados, que juntos somaram 70,0% da variação total dos dados. O componente I contribuiu com 34,0% da variância (autovalor = 2,38). O componente II contribuiu com 29,0 da variância (autovalor = 2,03).

A análise de regressão múltipla do incremento diamétrico de *G. klotzschiana* com as variáveis meteorológicas e da fenofase indicou como significativa ao modelo a componente principal das variáveis meteorológicas, seguida da componente I das variáveis da fenofase, representada pelas folhas maduras, folhas senescentes e fruto imaturo. O modelo resultante proporcionou um coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) de 0,58, indicando que 58% da variação no incremento diamétrico da espécie é explicado pelas duas componentes principais selecionadas.

Para *B. salicifolius*, a análise de regressão indicou como significativa apenas a componente principal das variáveis meteorológicas. Nesse caso, o $R^2_{aj.}$ obtido foi de 0,42, o que implica que 42% do incremento diamétrico da espécie pode ser explicado pelas variáveis que compõem a componente selecionada, a saber, temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima e fotoperíodo, considerando uma ordem decrescente de seus pesos.

Analisando o incremento diamétrico de *H. dulcis*, a análise de regressão indicou como significativa a componente das variáveis meteorológicas; a componente I das variáveis da fenofase, representada por folhas maduras, frutos maduros e folhas senescentes; e a componente III das variáveis da fenofase, representada pela fenofase reprodutiva fruto imaturo. O modelo composto por essas três componentes resultou em um $R^2_{aj.}$ de 0,71, indicando que 71% do incremento diamétrico de *H. dulcis* pode ser explicado por essas componentes.

Para a explicação do incremento diamétrico de *L. lucidum*, apenas a componente das variáveis meteorológicas foi selecionada para compor o modelo. O $R^2_{aj.}$ resultante foi de 0,55,

indicando que 55% do incremento diamétrico da espécie foi explicado pela componente selecionada.

Os resultados da análise de Regressão Logística, considerando apenas as componentes principais das variáveis da fenofase, podem ser observados na TABELA 2.

TABELA 2. ANÁLISE DE REGRESSÃO LOGÍSTICA DA ATIVIDADE CAMBIAL EM FUNÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS DAS VARIÁVEIS FENOLÓGICAS.

Espécie	Variável	p	R ² aj.
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	PCA I	0.0001	75.46
	PCA II	ns	
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	PCA I	ns	0
	PCA II		
<i>Hovenia dulcis</i>	PCA I	0.0042	53.45
	PCA II	0.0015	
<i>Ligustrum lucidum</i>	PCA I	0.0067	63.93
	PCA II	0.0002	

FONTE: O AUTOR (2017).

NOTA: ns = não significativo.

Os resultados indicaram que, para *G. klotzschiana*, apenas a componente principal I foi significativa para explicar a atividade cambial. Para essa espécie, a componente selecionada foi capaz de explicar 75,46% da atividade cambial. Analisando *H. dulcis* e *L. lucidum*, observa-se que duas componentes foram selecionadas como significativas. Para *H. dulcis*, as componentes selecionadas foram capazes de explicar 53,45% da atividade cambial, enquanto que para *L. lucidum*, as componentes representaram 63,93% da explicação. Já para *B. salicifolius*, não foi identificada relação significativa entre as componentes principais das variáveis fenológicas e a atividade cambial.

A regressão logística retorna a probabilidade de ocorrência do evento avaliado, em função das variáveis independentes selecionadas. Nesse sentido, a probabilidade de ocorrência de atividade cambial em *G. klotzschiana* foi inversamente relacionada às principais variáveis da componente I, em que as fenofases botão e antese foram as mais representativas. Sendo assim, pode-se inferir que a probabilidade de ocorrência de atividade cambial é menor à medida que a intensidade dessas fenofases aumenta. Relação oposta foi verificada para a folha senescente, uma vez que essa variável está diretamente relacionada à componente I, indicando maior atividade cambial quando a intensidade dessa fenofase aumenta.

A probabilidade de ocorrência de atividade cambial em *H. dulcis* foi associada a duas componentes principais. Nesse caso, a componente I apresenta relação direta com a fenofase folha senescente e relação inversa com a fenofase antese. Por outro lado, a componente II foi

representada predominantemente pela fenofase brotação, cuja relação com essa componente foi positiva.

Para a espécie *L. lucidum*, a componente I apresentou relação direta com a probabilidade de ocorrência de atividade cambial, sendo representada predominantemente pelas fenofases fruto maduro e folha senescente, cuja relação com a componente também foi direta, coincidindo, portanto, com a atividade cambial. Por sua vez, a componente II apresentou relação direta com a probabilidade de ocorrência de atividade cambial, sendo representada predominantemente pela fenofase brotação, também diretamente relacionada à componente II.

Através das componentes selecionadas foram extraídas as principais variáveis originais pelo valor absoluto dos loadings. Na TABELA 3 é possível verificar os *loadings* das variáveis originais para fenofase e espécie.

TABELA 3 - CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS COM AS COMPONENTES PRINCIPAIS (*LOADING*).

Espécies	Fator	Folha senescente	Folha madura	Brotação	Botão	Antese	Fruto imaturo	Fruto maduro
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	1	0.828719	-0.783637	-0.788494	-0.777363	-0.869576	-0.34504	-0.0799873
	2	0.543153	-0.58716	0.510923	0.593681	0.431977	-0.78841	-0.72171
	3							
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	1	0.522803	-0.94014	0.801213	0.086753	-0.25724	-0.59243	-0.47834
	2	-0.53165	0.087073	0.074903	0.730494	0.752091	-0.30426	-0.5219
	3	-0.3782	-0.28897	0.535586	0.584574	-0.25508	0.656449	0.481861
<i>Ligustrum lucidum</i>	1	0.85945	-0.71331	0.395758	-0.32302	-0.77723	-0.66521	0.359238
	2	-0.38634	-0.45616	0.850678	0.680567	0.12379	-0.40788	-0.79409
	3	0.120171	-0.49766	0.216342	-0.60672	0.446034	0.466419	-0.23086
<i>Hovenia dulcis</i>	1	0.714382	-0.7403	0	-0.75715	-0.5652	-0.21352	0.787827
	2	-1	-1	1	0	0	0	0
	3	-0.34799	0.161152	0.07029	-0.52329	-0.53592	0.846996	-0.21561

FONTES: O AUTOR (2017).

5.4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho contribuem para a compreensão dos padrões de crescimento e desenvolvimento das espécies em florestas subtropicais. No que diz respeito ao incremento diamétrico, com base nos resultados da análise de regressão, observou-se que, para todas as espécies, nativa ou exótica, a componente principal das variáveis meteorológicas foi selecionada como significativa na explicação do incremento. Essa componente, por sua vez, é representada pela temperatura média, pela temperatura mínima, pela temperatura máxima e pelo fotoperíodo, variáveis identificadas como as principais responsáveis pelo incremento diamétrico das espécies avaliadas. Ao medir o aumento e a redução no diâmetro, é possível

obter uma visão dinâmica do crescimento intra-anual ao longo das estações do ano (ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011) e também verificar as respostas das plantas frente às variações periódicas de temperatura e de precipitação.

Incremento diamétrico e fenologia não são reguladas apenas por um único fator, mas sim por interações e por questões genéticas (BORCHERT, 1999) inerentes a cada espécie. Mesmo assim, aproximadamente 50% do incremento diamétrico das espécies estudadas são dependentes unicamente de condições meteorológicas, excluindo a precipitação, o que resulta em taxas de crescimento distintas entre espécies, regulando também o comportamento fenológico, que é direta ou indiretamente relacionado com a temperatura do ambiente (KANIESKI et al., 2012).

Estudos apontam que para regiões tropicais a precipitação é o principal gatilho para o crescimento e desenvolvimento das espécies, induzindo a retomada do crescimento diamétrico (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2000; BOTOSSO; TOMAZELLO FILHO, 2001) e a expressão de grande parte das fenofases (BORCHERT, 1999; MORELLATO et al., 2013). Em contrapartida, os resultados deste estudo apontam que a precipitação não é um fator preponderante para o incremento diamétrico e para a fenologia das espécies nesta formação fitogeográfica, considerando que a precipitação foi a única variável meteorológica que não foi significativa na PCA. Em ambientes cuja sazonalidade climática é pouco pronunciada, como em florestas subtropicais, outros fatores devem ser incluídos para explicar o incremento diamétrico, como tipo de solo (CARDOSO et al., 2012) e para o comportamento fenológico das espécies a incorporação das pressões bióticas seletivas, tais como pressão por herbívoros, predadores, polinizadores e dispersores (POST et al., 2008; AIDE, 1993). É necessário considerar ainda que a área de estudo está situada em um ambiente aluvial, onde a disponibilidade hídrica não é afetada, mesmo em possíveis condições de déficit.

Crescer e se reproduzir são eventos recorrentes para as plantas, desde que encontrem condições adequadas para isso, ou seja, os indivíduos devem sincronizar suas atividades a condições meteorológicas favoráveis (HELM et al., 2013). Dessa adequação resultam variações intranuais de floração, frutificação, brotação, crescimento diamétrico e atividade de câmbio, principalmente relacionadas à temperatura do ambiente (BEGUM et al., 2013), por exemplo.

Algumas das fenofases das espécies contribuíram para explicar parte do incremento de *G. klotzschiana* e de *H. dulcis*, sendo que para ambas as espécies a componente principal selecionada foi representada pelas folhas maduras, pelas folhas senescentes e pelos frutos imaturos; acrescida também de frutos maduros para a espécie exótica. Para ambas as espécies, identificou-se uma relação entre o incremento diamétrico e as folhas maduras e senescentes.

Essa relação indica que o período em que as folhas estão senescentes corresponde ao de menor incremento diamétrico, enquanto o período em que ocorre maior intensidade de folhas maduras corresponde ao de maior incremento, culminando com o período de maior atividade cambial.

Em um estudo de O'Brien et al. (2008), utilizando a técnica de regressão logística, ficou demonstrado haver um menor incremento diamétrico após a queda foliar. Nesse mesmo estudo, a deciduidade foi capaz de explicar significativamente os padrões de incremento do diâmetro do caule, mas a fenologia reprodutiva não. A relação do incremento diamétrico com o fruto imaturo, não identificada em outros trabalhos, pode trazer especulações a respeito das questões hormonais necessárias para as atividades metabólicas das plantas, item não avaliado, mas que precisa ser objeto de futuras pesquisas.

É comum para as espécies deste estudo um período de redução do crescimento, culminando em períodos de inatividade do câmbio e posterior retomada do crescimento. Segundo Breitsprecher e Bethel (1990), poucas espécies no mundo crescem de forma contínua, sendo dominante as que possuem intervalos de dormência e crescimento, o que permite que lidem com condições meteorológicas desfavoráveis.

O descompasso entre os períodos que correspondem ao incremento diamétrico da espécie e a atividade do câmbio pode ser resultado da técnica empregada, ao passo que o uso de cintas dendrométricas permite inferir sobre aumento em circunferência. É preciso lembrar ainda que a leitura que se faz pode ser de um processo de inchamento ou redução das dimensões, causado por períodos de maior ou menor precipitação (GUTIÉRREZ et al., 2011). Essa tendência foi destacada em estudos conduzidos por Fritts (1958), ao afirmar que essa diminuição no diâmetro pode estar relacionada à expansão ou à retração da casca, ou ser resposta ao teor de umidade no dia da medição.

Sobre a sazonalidade da atividade cambial, foi possível verificar que as espécies têm períodos em que o câmbio encontra-se inativo e em outros, ativo. A atividade do câmbio não é uniforme ao longo do ano e é determinada pela interação de fatores internos e externos (IQBAL et al., 2010; GROTTA et al., 2005). Para a espécie *G. klotzschiana*, o período de atividade cambial foi coincidente com a fenofase folhas senescentes, por se tratar de uma espécie perene com renovação anual de folhas (MILANI et al., 2015). A substituição gradativa de folhas senescentes por novas (brotação) reforça a relação da retomada do crescimento com questões hormonais, principalmente com os hormônios decorrentes das fenofases de brotação, como o ácido indol-acético (AIA), conhecido como auxina (BHALERAO; BENNETT, 2003).

A atividade cambial das espécies está relacionada, especialmente, com a fenofase folha madura, que coincide também com o período de maior intensidade percentual da fenofase. Isso

pode estar associado à maior capacidade de produção primária líquida (fotossíntese), em que ocorre a produção de energia necessária para os processos fisiológicos da planta, sendo assim, a fenologia das folhas é um bom sinal para relacionar com a atividade cambial (MOREL *et al.*, 2015). Para a exótica *H. dulcis*, o sinal fenológico detectado é a brotação, o que parece ser um fator comum em espécies decíduas, isso porque espécies decíduas passam por processos de redução de seus processos metabólicos, como estratégia de sobrevivência em condições ambientais desfavoráveis, considerando que o período de inatividade do câmbio para a espécie ocorre quando há uma diminuição da temperatura (inverno).

A temperatura influencia de forma direta o crescimento e desenvolvimento das árvores. As temperaturas mais baixas no início da primavera podem afetar os processos fisiológicos envolvidos na iniciação da divisão celular cambial e na diferenciação do xilema em árvores. A mesma relação se estabelece com temperaturas mais elevadas no final do inverno, que resultam na antecipação da primavera, induzindo a reativação cambial por um período mais prolongado (LARCHER, 2006).

Nenhuma fenofase foi associada ao período de atividade e inatividade do câmbio para *B. salicifolius*, podendo ser essa ausência um indicativo de que não existe relação direta do câmbio com a fenologia e sim que possa ser o câmbio influenciado por condições externas ou internas.

Ao que tudo indica, a formação dos anéis, a atividade do câmbio e a fenologia são eventos cíclicos nessas espécies. Cada espécie carrega consigo uma trajetória de vida e as informações de como ocorrem esses processos anuais podem fornecer subsídios de como é a história de vida entre diferentes espécies e ambientes. Sendo assim, é importante salientar que os fatores que regulam o incremento diamétrico das espécies podem ser diferentes dos que reduzem ou acionam a retomada do câmbio.

5.5 CONCLUSÕES

As quatro espécies monitoradas têm seu incremento diamétrico fortemente influenciado pelas variáveis meteorológicas temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima e fotoperíodo. Não foi detectada influência da precipitação no incremento diamétrico.

Parte do incremento diamétrico de duas espécies também foram explicadas por influência das fenofases. Para *G. klotzschiana*, folha madura, folha senescente e fruto imaturo; para *H. dulcis*, folha madura, folha senescente e fruto maduro.

A atividade cambial é sazonal, sendo identificados períodos de atividade e inatividade nas quatro espécies. A atividade do câmbio ocorre principalmente na primavera e no verão.

Para as espécies, diferentes sinais fenológicos são identificados para acionar a formação do lenho inicial. Para *G. klotzschiana*, folha senescente; para *H. dulcis*, a brotação; para *L. lucidum*, fruto maduro e folha senescente. Não foi detectada relação de quaisquer fenofases avaliadas com os períodos de atividade e inatividade cambial de *B. salicifolius*.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Z.**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- AIDE, T. M. Patterns of leaf development and herbivory in a tropical understory community. **Ecology**, v. 74, n. 2, p. 455-466, 1993.
- AMANO, E. **Pau-brasil, madeira e casca: formação, desenvolvimento e estrutura**. 101 pp. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- BEGUM, S.; NAKABA, S.; YAMAGISHI, Y.; ORIBE, Y.; FUNADA, R. Regulation of cambial activity in relation to environmental conditions: understanding the role of temperature in wood formation of trees. **Physiologia Plantarum**, v. 147, n. 1, p. 46-54, 2013.
- BHALERAO, R. P.; BENNETT, M. J. The case for morphogens in plants. **Nature Cell Biology**, v. 5, n. 11, p. 939-943, 2003.
- BORCHERT, R. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. **Iawa Journal**, v. 20, n. 3, p. 239-247, 1999.
- BOTOSSO, P. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARELLA, W. (eds.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC; 2001.
- BREITSPRECHER, A.; BETHEL, J. S. Stem- Growth Periodicity of Trees in a Tropical Wet Forest of Costa Rica. **Ecology**, v. 71, n. 3, p. 1156-1164, 1990.
- CARDOSO, F. C. G.; MARQUES, R.; BOTOSSO, P. C.; MARQUES, M. C. M. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1-2, p. 269-281, 2012.
- CHERUBINI, P.; CHERUBINI, P.; GARTNER, B. L.; TOGNETTI, R.; BRAEKER, O. U.; SCHOCH, W.; INNES, J. L. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. **Biological Reviews**, v. 78, n. 01, p. 119-148, 2003.
- DE LUIS, M.; GRÍČAR, J.; ČUFAR, K.; RAVENTÓS, J. Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. **Iawa Journal**, v. 28, n. 4, p. 389-404, 2007.
- FAHN, A.; BURLEY, J.; LONGMAN, K. A.; MARIAUX, A.; TOMLINSON, P. B. Possible contributions of wood anatomy to the determination of the age of tropical trees. In: BORMANN, F. H.; BERLYN, G. **Age and growth rate of tropical trees: new directions for research**. New Haven: Yale University, 1981. p. 31-54.

- FRITTS, H. C. An Analysis of Radial Growth of Beech in a Central Ohio Forest during 1954-1955. **Ecology**, v. 39, n. 4, p. 705-720, 1958.
- GROTTA, A. T.; GROTTA, A. T.; GARTNER, B. L.; RADOSEVICH, S. R.; HUSO, M. Influence of red alder competition on cambial phenology and latewood formation in *Douglas-fir*. **Iawa Journal**, v. 26, n. 3, p. 309-324, 2005.
- GUTIÉRREZ, E. *et al.* Climate controls act at different scales on the seasonal pattern of *Quercus ilex* L. stem radial increments in NE Spain. **Trees**, v. 25, n. 4, p. 637-646, 2011.
- HELM, B. *et al.* Annual rhythms that underlie phenology: biological time-keeping meets environmental change. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1765, p. 20130016, 2013.
- HERAULT, B. *et al.* Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species. **Journal of Ecology**, v. 99, n. 6, p. 1431-1440, 2011.
- IQBAL, M.; JURA-MORAWIEC, J.; WŁOCH, W. Foliar characteristics, cambial activity and wood formation in *Azadirachta indica* A. Juss. as affected by coal-smoke pollution. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 205, n. 1, p. 61-71, 2010.
- JACOBY, G. C. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. **Iawa Journal**, v. 10, n. 2, p. 99-108, 1989.
- KANIESKI, M. R. *et al.* Influência da precipitação e da temperatura no incremento diamétrico de espécies florestais aluviais em Araucária, PR. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 17-25, 2012.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 532p.
- MARIAUX, A. Marques et rubans dendromètres. Information Technique 238. **CTFT**, Nogent-sur-Marne, 10 p. 1977.
- MILANI, J. E. F.; RODERJAN, C. V.; BRAGHINI, A.; KERSTEN, R. A. Phenology of two tree species of understory in an alluvial forest in Paraná state, Brazil. **Spanish Journal of Rural Development**, v. 6, 2015.
- MOREL, H.; MANGENET, T.; BEAUCHÊNE, J.; RUELLE, J.; NICOLINI, E.; HEURET, P.; THIBAUT, B. Seasonal variations in phenological traits: leaf shedding and cambial activity in *Parkia nitida* Miq. and *Parkia velutina* Benoist (Fabaceae) in tropical rainforest. **Trees**, v. 29, n. 4, p. 973-984, 2015.
- MORELLATO, L. P. C.; CAMARGO, M. G. G.; GRESSLER, E. A review of plant phenology in South and Central America. In: **Phenology: An Integrative Environmental Science**. Springer Netherlands, p. 91-113, 2013.
- O'BRIEN, J. J.; OBERBAUER, S. F.; CLARK, D. B.; Clark, D. A. Phenology and stem diameter increment seasonality in a Costa Rican wet tropical forest. **Biotropica**, v. 40, n. 2, p. 151-159, 2008.

POST, E.; PEDERSEN, C.; WILMERS, C. C.; FORCHHAMMER, M. C. Warming, plant phenology and the spatial dimension of trophic mismatch for large herbivores. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 275, n. 1646, p. 2005-2013, 2008.

PUMIJUMNONG, N.; BUAJAN, S. Seasonal cambial activity of five tropical tree species in central Thailand. **Trees**, v. 27, n. 2, p. 409-417, 2013.

ROZENDAAL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, v. 25, n. 1, p. 3-16, 2011.

SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNA, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 04, p. 581-597, 2002.

SINGH, N. D.; VENUGOPAL, N. Cambial activity and annual rhythm of xylem production of *Pinus kesiya* Royle ex. Gordon (Pinaceae) in relation to phenology and climatic factors growing in sub-tropical wet forest of North East India. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 206, n. 3, p. 198-204, 2011.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. In: ROIG, F. A. **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: CRICYT; 2000. p. 381-431.

WILES, G. C.; CALKIN, P. E.; JACOBY, G. C. Tree-ring analysis and Quaternary geology: principles and recent applications. **Geomorphology**, v. 16, n. 3, p. 259-272, 1996.

WORBES, M. Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the Neotropics. **Iawa Journal**, v. 10, n. 2, p. 109-122, 1989.

_____. How to measure growth dynamics in tropical trees a review. **Iawa Journal**, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

WORBES, M.; BLANCHART, S.; FICHTLER, E. Relations between water balance, wood traits and phenological behavior of tree species from a tropical dry forest in Costa Rica - a multifactorial study. **Tree Physiology**, v. 33, n. 5, p. 527-536, 2013.

YÁÑEZ-ESPINOSA, L.; TERRAZAS, T.; LÓPEZ-MATA, L. Phenology and radial stem growth periodicity in evergreen subtropical rainforest trees. **Iawa Journal**, v. 31, n. 3, p. 293-307, 2010.

CAPÍTULO 4

6 Variação interanual no comportamento fenológico de espécies arbóreas em floresta aluvial

RESUMO

O atual cenário de mudanças climáticas tem intensificado estudos fenológicos que buscam investigar como as plantas respondem às variações do clima. Para tanto, são necessários estudos de longa duração. Foi avaliado o comportamento fenológico durante 60 meses de duas espécies arbóreas, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, buscando responder às seguintes perguntas: (i) Os eventos fenológicos seguem um padrão anual ou há variação ao longo do período? (ii) Quais variáveis meteorológicas, entre temperaturas (mínimas, médias e máximas) e precipitação, influenciam nas fenofases? Indivíduos de *Gymnanthes klotzschiana* e *Blepharocalyx salicifolius* tiveram seu comportamento fenológico monitorado, utilizando-se o Índice de Intensidade. Os dados fenológicos foram correlacionados com dados meteorológicos de temperatura mínima, média e máxima do período do estudo, de agosto 2010 a julho 2016, buscando detectar variações entre os anos. Ainda, foi testada a correlação com a temperatura média histórica de 1960-1991. Foram detectadas variações da intensidade das fenofases entre os anos analisados. Correlações com as temperaturas foram identificadas para quase todas as fenofases durante o período de estudo, sendo que entre os anos ocorreu uma recorrência de correlação nos anos 2013-2014 para algumas fenofases, nas espécies. Não foram detectadas correlações com a precipitação no período de cinco anos, porém correlações foram detectadas, com essa variável, quando os anos foram analisados individualmente. As espécies apresentam comportamento fenológico semelhante durante os anos, porém foram detectadas variações na intensidade das fenofases entre os anos analisados, podendo ser resposta das variações de temperatura e precipitação. Com os dados de correlações obtidos entre as fenofases e as variáveis meteorológicas, foi possível concluir que diferentes sinais meteorológicos são sentidos pelas plantas para expressar suas fenofases. Ao que tudo indica, há uma tendência de as temperaturas serem importante fatores que influenciam as fenofases, mas que o período de monitoramento pode também regular esses fatores. Estudos fenológicos de curta duração podem provocar conclusões equivocadas sobre os fatores que induzem o comportamento fenológico das espécies.

Palavras-chave: Temperaturas; mudanças climáticas; precipitação.

ABSTRACT

Annual Variations in the phenological behavior arboreal species in Alluvial Forest. The current scenario of climate change has intensified phenological studies that seek to investigate how

plants respond to variations in climate. Long-term studies are necessary for this. The phenological behavior during 60 months of two tree species was evaluated in a fragment of Alluvial Mixed Ombrophilous Forest, seeking to answer the following questions: (i) Do the phenological events follow an annual pattern or is there variation throughout the period? (ii) Which meteorological variables, between temperatures (minimum, medium and maximum) and precipitation, influence the phenophases? Individuals of *Gymnanthes klotzschiana* and *Blepharocalyx salicifolius*, had their phenological behavior monitored, using the Intensity Index. The phenological data were correlated with meteorological data of temperature, minimum, average and maximum of the study period from August 2010 to July 2016, seeking to detect variations between the years. Furthermore, the correlation with the historical average temperature of 1960-1991 was tested. Variations of the intensity of the phenophases were detected between the analyzed years. Correlations with temperatures were identified for almost all phenophases during the study period and between years a correlation recurrence occurred in the years 2013-2014 for some phenophases in the species. No correlations were detected with the precipitation in the period of five years, however, correlations were detected, with this variable when the years were analyzed individually. The species had similar phenological behavior during the years, but variations in the intensity of the phenophases between the analyzed years were detected, being able to be response of the variations of temperature and precipitation. With the data of correlations obtained between the phenophases and the meteorological variables, it was possible to conclude that different meteorological signals are felt by the plants to express their phenophases. In all indications there is a tendency for temperatures to be important factors influencing phenophases, but that the monitoring period may also regulate these factors. Phenological studies of short duration may lead to erroneous conclusions about the factors that induce the phenological behavior of the species.

Keywords: Temperatures, climate change, precipitation.

6.1 INTRODUÇÃO

O interesse pelos padrões fenológicos no mundo tem-se intensificado nos últimos anos, em parte ocasionado pelo cenário das mudanças climáticas globais (IPCC, 2014), pelo fato de a fenologia ter se tornado uma importante ferramenta para dimensionar as possíveis alterações do clima (MENZEL et al., 2006; POST et al., 2008; MORELLATO et al., 2016) e por ser um importante registro da história evolutiva de muitas espécies (STAGGEMEIER et al., 2015). Fenologia pode ser entendida como o processo-chave que pode vincular mudanças climáticas à persistência de populações e à composição das comunidades (VISSER et al., 2010; VITASSE et al., 2009).

Os fatores que influenciam o comportamento fenológico das espécies são amplamente conhecidos no hemisfério Norte, especialmente reguladas pelo fotoperíodo e pela temperatura do ar (MENZEL, 2002). Em regiões tropicais, a variação sazonal da precipitação tem sido

indicada como o principal gatilho para o comportamento fenológico das espécies (BORCHERT et al., 2005; MORELLATO; HADDAD, 2000). Nas regiões subtropicais a fenologia não é completamente entendida, pois essas regiões não apresentam uma estacionalidade climática acentuada, não experimentando períodos de déficit hídrico, sendo por vezes o fotoperíodo (BORCHERT et al., 2005; MARQUES; ROPER; SALVALAGGIO, 2004) ou pequenas mudanças na temperatura os indutores do comportamento fenológico.

Algumas espécies moldam sua fenologia de maneira a garantir sua permanência em determinado ecossistema, de modo que o calendário de seu ciclo de vida esteja afinado com o clima (CLELAND et al., 2007). Pistas anuais preditivas (fotoperíodo) e pistas sociais (abundância de alimentos e precipitação) são condições que permitem um bom ajuste das fenofases para o momento adequado, em determinado local e para cada ano (VISSER et al., 2010).

Por isso, estudos de longo prazo, com avaliações repetidas em indivíduos ao longo de vários anos, podem revelar uma heterogeneidade e uma resposta específica dos indivíduos ao clima. Porém, alguns indivíduos podem ser mais plásticos do que outros em sua fenologia. A respeito do tempo de duração dos estudos fenológicos em florestas tropicais, é importante salientar que o esforço de amostragem em estudos dessa natureza, que abordem pelo menos a fenologia reprodutiva, é geralmente baixo, duram dois anos ou menos – estudos inferiores a dois anos correspondem a mais de 72% dos estudos fenológicos desenvolvidos (MENDOZA; PERES; MORELLATO, 2016).

Contudo, estudos com períodos maiores de observações podem ajudar a entender melhor as variações no comportamento fenológico ao longo dos anos e identificar quais são os reais sinais climáticos detectados pelas plantas. No Brasil, há registro de apenas três estudos conduzidos com duração de 10 anos ou próximos a isso: os de Alencar, Almeida e Fernandes (1979) na Floresta Amazônica, de 1965 até o presente momento; os de Morelato et al. (2013) no cerrado em Itirapina, São Paulo, de 2004 até o presente; e um estudo já finalizado de Engel e Martins (2005), de 1982 a 1992, no Espírito Santo.

Mediante esse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento fenológico de duas espécies arbóreas nativas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, ao longo de 60 meses, para tentar responder às seguintes perguntas: (i) Os eventos fenológicos seguem um padrão anual ou há variação ao longo do período? (ii) Quais variáveis meteorológicas, entre temperaturas (mínimas, médias e máximas) e precipitação, influenciam nas fenofases?

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Área de estudo

Este estudo foi conduzido em um fragmento de floresta de aproximadamente 9 ha, localizado no município de Araucária, Paraná, entre as coordenadas geográficas 25°34'02,5" S e 49°20'53,5" W e em altitude de 920 m. Sua vegetação é um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, pertencente ao bioma Mata Atlântica.

6.2.2 Coleta dos dados fenológicos

Mensalmente, foram monitorados indivíduos de *Gymnanthes klotzschiana* Müll.Arg. e de *Blepharocalyx salicifolius* O.Berg., espécies indicadoras de ambientes aluviais, a primeira uma pioneira e a segunda uma secundária tardia. O número de indivíduos monitorados atendeu à premissa de Fournier e Charpantier (1975), que sugeriram a amostragem entre cinco e dez indivíduos, considerando assim um bom tamanho amostral para cada espécie para estudos fenológicos. A tomada de dados consistiu no uso da Escala de Intensidade adaptada, variando entre 0-100%, sendo (0) ausência, (1) 1% a 25%, (2) 26% a 50% e (3) 51% a 100 (%), observando-se as fenofases vegetativa e reprodutiva.

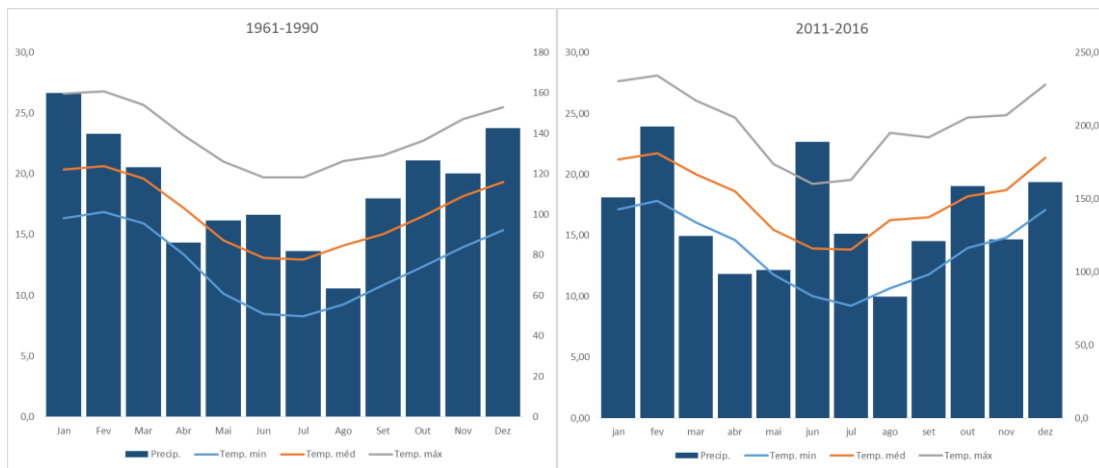
6.2.3 Informações meteorológicas

A precipitação média anual é de 1.407 mm e a temperatura média é de 16,4 °C, de acordo com os dados da normal climatológica de 1960-1991, conforme o Banco de Dados Climatológicos do Brasil. Para fins de verificação e atualização desses dados, foi consultada a base de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Durante o período de estudo, de 2011 a 2016, a precipitação média anual, considerando o período entre agosto e julho de cada ano, foi de 1.629,6 mm em 2011-2012, 1.555,8 em 2012-2013, 1.414,2 em 2013-2014, 1.537,4 em 2014-2015 e 2035,8 mm em 2015-2016, sendo este último ano atípico, com uma precipitação 480 mm acima da média dos últimos 30 anos. As médias mensais das temperaturas mínimas, médias e máximas tiveram variações de aproximadamente 1 °C no decorrer dos cinco anos estudados. As menores temperaturas médias foram verificadas em junho de 2016 (6,9 °C) e julho 2013 (7,9 °C). As maiores temperaturas médias foram registradas em janeiro de 2014 e janeiro de 2015, sendo, respectivamente, de 29,8

e 29,6 °C, segundo dados obtidos da estação meteorológica do SIMEPAR, distante 35 km da área de estudo (FIGURA 1 e TABELA 1).

FIGURA 1. VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E DA TEMPERATURA, DADOS DAS MÉDIAS HISTÓRICAS: 1960-1991 E DURANTE O PERÍODO DE AGOSTO/2010 A JULHO/2016 PARA A REGIÃO DE CURITIBA.



FONTE: SIMEPAR (2017).

TABELA 1. DADOS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS PARA O PERÍODO DE ESTUDO.

Ano	Precipitação (mm/ano)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)	Temperatura máxima (°C)
2011-12	1.629,6	8,78	17,31	29,40
2012-13	1.555,8	7,93	17,91	28,85
2013-14	1.414,2	8,60	18,04	29,80
2014-15	1.537,4	9,50	18,18	29,60
2015-16	2.035,8	6,95	18,46	28,09
Média	1633,6	13,7	17,97	24,12

FONTE: O AUTOR (2017).

6.2.4 Análise dos dados

Para verificar quais variáveis meteorológicas mais influenciam os eventos fenológicos, foi utilizado o coeficiente de *Spearman* ao nível de significância de $p < 0,005$. Foram testadas correlações das fenofases com as variáveis do período de agosto de 2010 a agosto de 2016. Foram utilizados também os dados de temperatura média histórica (1961-1990), para investigar possíveis relações com a fenologia das espécies. As análises de correlação foram feitas por meio do *software Statgraphics*.

6.3 RESULTADOS

As espécies responderam de maneira diferenciada ao longo do período. *G. klotzschiana* teve um comportamento fenológico com maior variação, enquanto *B. salicifolius* apresentou um comportamento mais regular de suas fenofases.

As fenofases que mais variaram em *G. klotzschiana* foram antese e fruto imaturo, sendo folha madura a fenofase que apresentou pouca variação. Para *B. salicifolius*, as variações foram detectadas nas fenofases de brotação e antese, tendo sido a frutificação quase perfeitamente regular ao longo do período.

A intensidade dos eventos fenológicos de *G. klotzschiana* e de *B. salicifolius* pode ser observada nas FIGURAS 2 e 3, respectivamente. Ambas as espécies renovaram suas folhas durante o ano, sendo que em *G. klotzschiana* essa renovação ocorreu por um período mais longo.

As fenofases de frutificação acompanharam a tendência verificada para a floração. O período de frutificação foi mais longo em *G. klotzschiana*, resultado da também maior extensão da floração. Nos cinco anos analisados, a variação mais discrepante foi a baixa intensidade das fenofases no período 2012-2013.

As correlações das variáveis meteorológicas com as fenofases apontaram um efeito significativo das variáveis testadas de forma semelhante para as duas espécies durante o período de 2011 a 2016 (TABELA 2). Nesse período não foram detectadas correlações com a precipitação para nenhuma das espécies.

TABELA 2. CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E AS FENOFASES DAS ESPÉCIES MONITORADAS ENTRE AGOSTO DE 2011 A JULHO DE 2016: T_{min} (TEMPERATURA MÍNIMA), T_{méd} (TEMPERATURA MÉDIA) T_{máx} (TEMPERATURA MÁXIMA) E P_p (PRECIPITAÇÃO).

Fenofase	T _{min} (°C)	T _{méd} (°C)	T _{máx} (°C)	P _p (mm)
<i>Gymnanthes klotzschiana</i>				
Folha madura	0.7484 <0.0000	0.7196 <0.0000	0.6767 <0.0000	ns
Folha senescente	-0.6624 <0.0000	-0.6866 <0.0000	-0.6680 <0.0000	ns
Brotação	ns	ns	ns	ns
Antese	0.3639 <0.0052	0.3827 <0.0033	0.3676 <0.0048	ns
Fruto imaturo	0.6003 <0.0000	0.5858 <0.0000	0.5662 <0.0000	ns
Fruto maduro	0.6040 <0.0000	0.5413 <0.0000	0.4676 <0.0003	ns
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>				
Folha madura	0.4310 <0.0009	0.4150 <0.0014	0.3832 <0.0032	ns
Folha senescente	-0.5676 <0.0000	-0.5473 <0.0000	-0.4799 <0.0002	ns
Brotação	ns	ns	ns	ns

Antese	0.4133< 0.0015	0.4362 < 0.0008	0.4264 < 0.0011	<i>ns</i>
Fruto imaturo	0.4554 < 0.0005	0.4536 < 0.0005	0.4642 < 0.0004	<i>ns</i>
Fruto maduro	0.2569< 0.0485	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

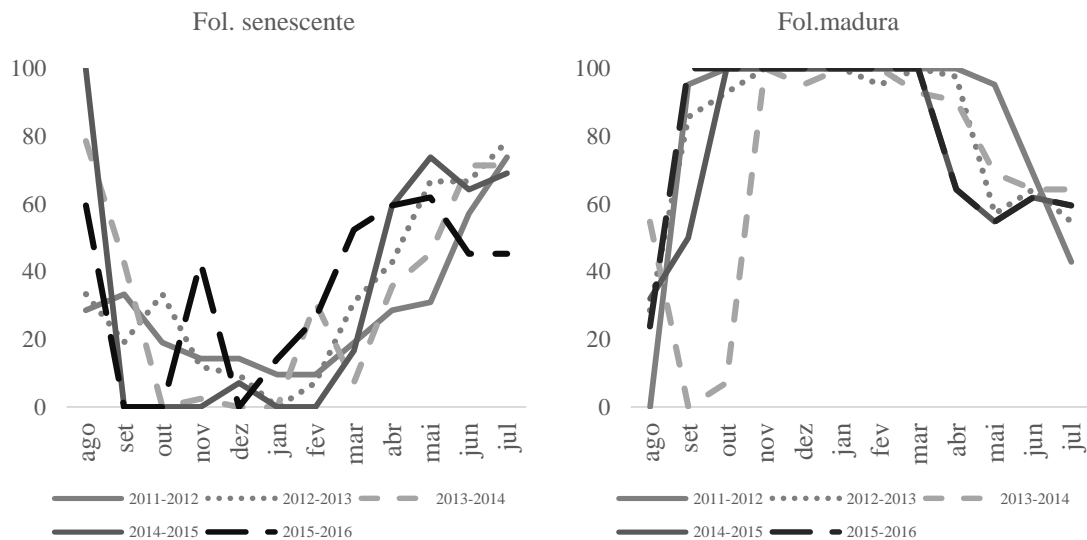
FONTE: O AUTOR (2017).

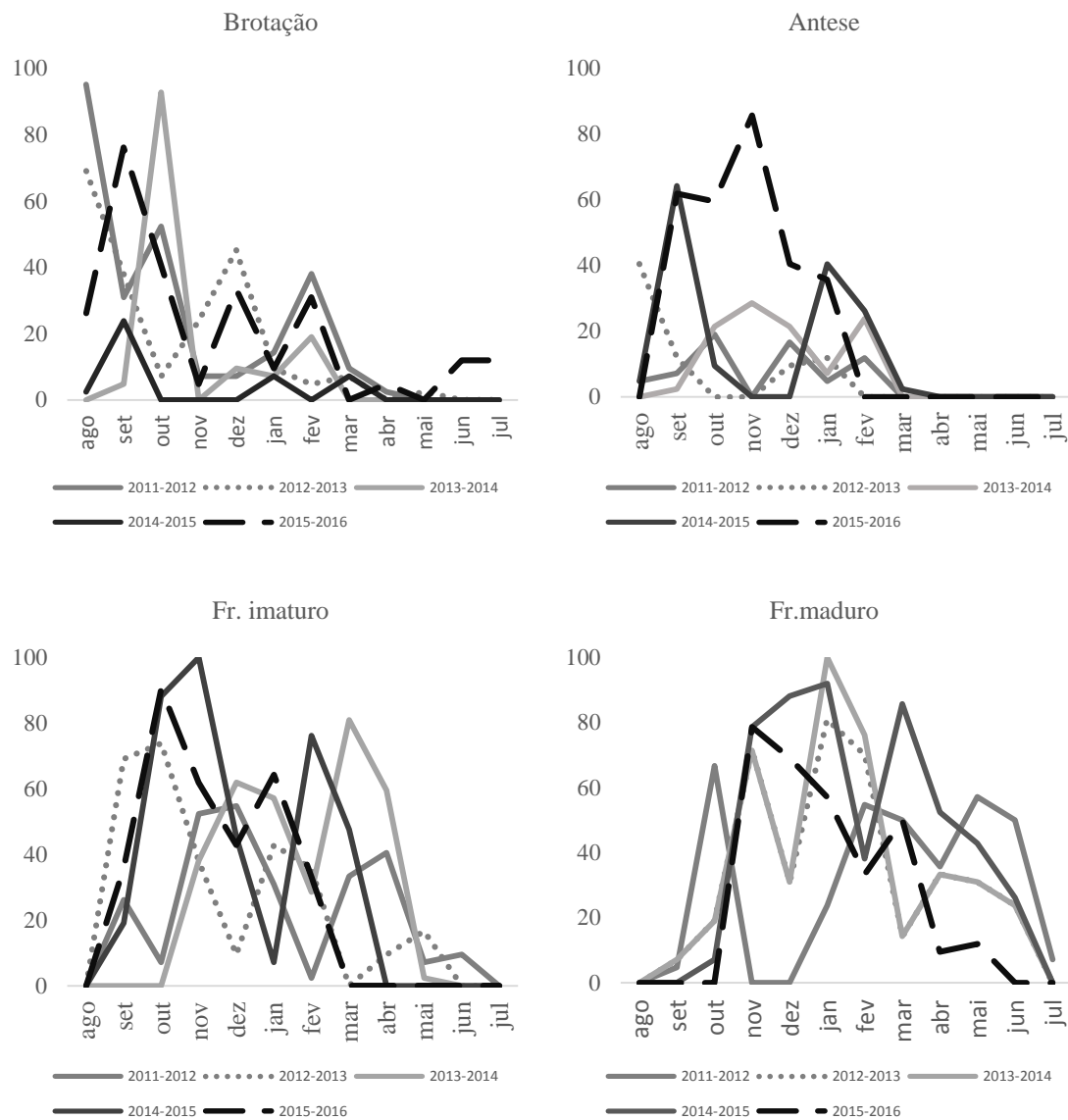
NOTA: n amostral: (60). Admitindo-se probabilidade de significância de 95%.

As forças de associações entre as espécies e as fenofases foram de moderada a forte para as fenofases folha madura e folha senescente em *G. klotzschiana*. Para *B. salicifolius*, as mesmas fenofases tiveram valores de correlação inferiores. Em ambas as espécies não foram detectadas correlações da brotação com as variáveis meteorológicas.

A fenofase fruto maduro de *B. salicifolius* teve correlação apenas com a temperatura mínima, diferentemente de *G. klotzschiana*, que apresentou correlação também com as temperaturas médias e máximas.

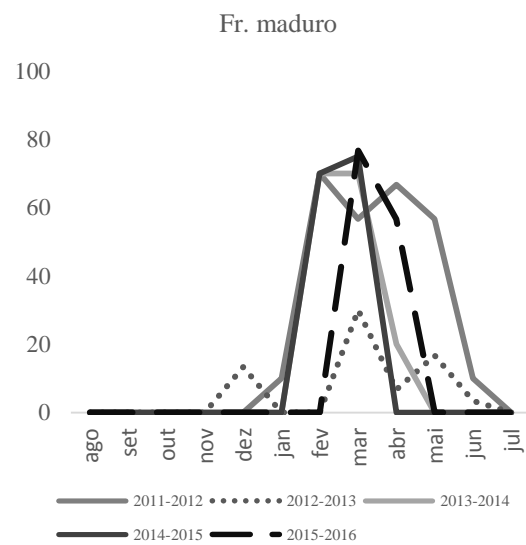
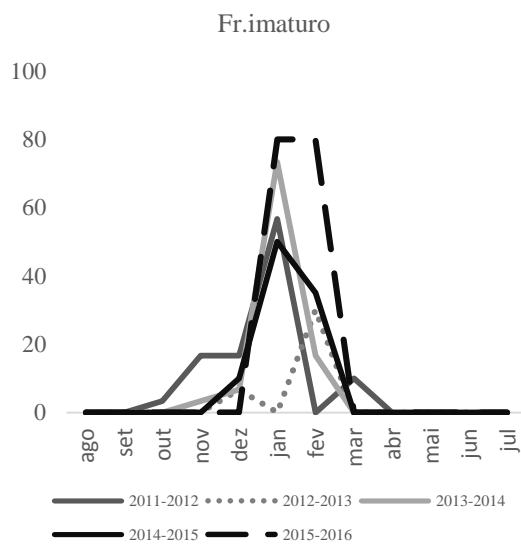
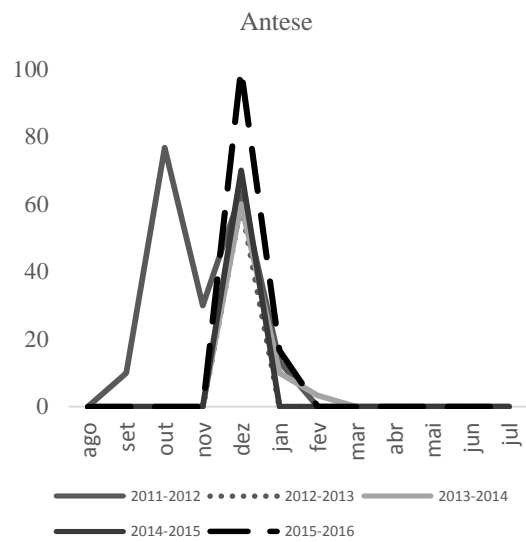
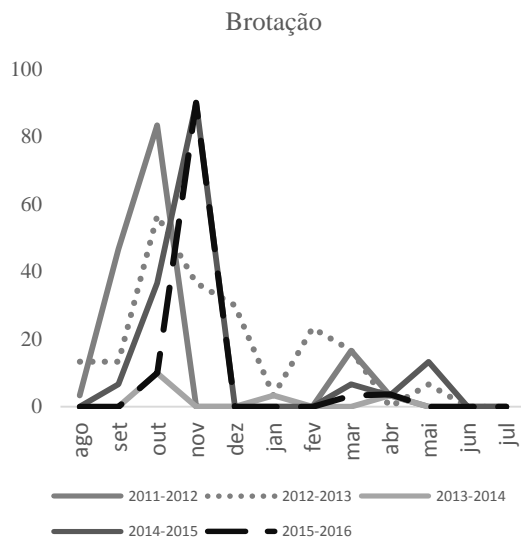
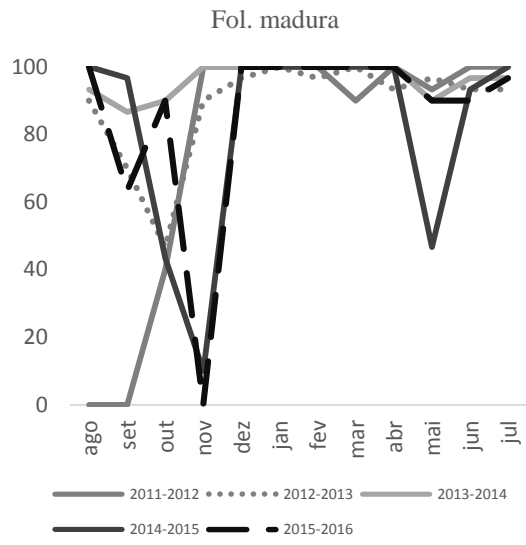
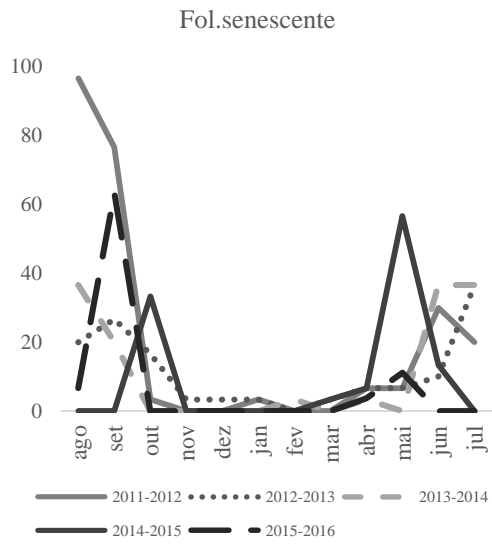
FIGURA 2. COMPORTAMENTO FENOLÓGICO ANUAL DE *Gymnanthes klotzschiana* EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL.





FONTE: O AUTOR (2017).

FIGURA 3. COMPORTAMENTO FENOLÓGICO ANUAL DE *Blepharocalyx salicifolius* EM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL.



FONTE: O AUTOR (2017).

Quando analisado isoladamente cada ano do estudo, verificaram-se diferenças nos valores de correlações. Foram detectadas correlações com a precipitação quando analisados os anos individualmente. As fenofases folha madura, folha senescente e fruto imaturo apresentaram correlações com essa variável no ano de 2015-2016, para *G. klotzschiana*. Ainda nessa espécie, as temperaturas mínimas não tiveram correlações com brotação e antese, mas apresentaram correlações com outras fenofases, especialmente entre os anos de 2013 a 2016. As temperaturas médias e máximas apresentaram correlações com valores e anos semelhantes (TABELA 3).

TABELA 3. RESULTADOS DA CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA AS FENOFASES VEGETATIVAS E REPRODUTIVAS DE *Gymnanthes klotzschiana*.

	<i>Gymnanthes klotzschiana</i>				
	Período	Tmin (°C)	Tméd (°C)	Tmáx (°C)	Pp (mm)
Folha madura	2011-2012	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2012-2013	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2013-2014	0.8184 < 0.0066	0.8113 < 0.0071	0.7655 < 0.0111	<i>ns</i>
	2014-2015	0.7798 < 0.0097	0.7876 < 0.0090	0.7954 < 0.0083	<i>ns</i>
	2015-2016	0.8486 < 0.0049	0.7845 < 0.0093	<i>ns</i>	0.7060 < 0.0192
Folha senescente	2011-2012	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2012-2013	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2013-2014	-0.7619 < 0.0115	-0.8184 < 0.0066	-0.8148 < 0.0069	<i>ns</i>
	2014-2015	-0.6816 < 0.0238	-0.7034 < 0.0197	-0.7686 < 0.0108	<i>ns</i>
	2015-2016	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	-0.7244 < 0.0163
Brotação	2011-2012	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2012-2013	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2013-2014	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2014-2015	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2015-2016	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Antese	2011-2012	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2012-2013	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2013-2014	<i>ns</i>	0.6021 < 0.0458	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2014-2015	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2015-2016	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Fruto imaturo	2011-2012	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2012-2013	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2013-2014	0.7831 < 0.0094	0.7831 < 0.0094	0.7614 < 0.0116	<i>ns</i>
	2014-2015	0.6163 < 0.0409	0.6671 < 0.0269	0.7034 < 0.0197	<i>ns</i>
	2015-2016	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0.7726 < 0.0104
Fruto maduro	2011-2012	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2012-2013	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	2013-2014	0.6494 < 0.0312	0.6270 < 0.0376	0.5934 < 0.0490	<i>ns</i>
	2014-2015	0.6902 < 0.0221	0.6338 < 0.0355	0.5986 < 0.0471	<i>ns</i>
	2015-2016	0.7976 < 0.0082	0.7106 < 0.0184	<i>ns</i>	<i>ns</i>

FONTE: O AUTOR (2017).

NOTA: n amostral: (60). Valores não negritados representam o valor da correlação, enquanto valores negritados indicam o p-valor, admitindo-se probabilidade de significância de 95%.

Para *B. salicifolius*, identificou-se um menor número de correlações entre os anos individualmente, assim como foram detectadas correlações da fenofase folha madura apenas

com as temperaturas do ano de 2012-2013. No que diz respeito à fenologia vegetativa, folha senescente foi a fenofase em que foram detectadas correlações em três anos consecutivos – essa fenofase inclusive foi a única a apresentar correlação com a precipitação, exclusivamente no ano de 2014-2015 (TABELA 4).

TABELA 4. RESULTADOS DA CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA AS FENOFASES VEGETATIVAS E REPRODUTIVAS DE *Blepharocalyx salicifolius*.

		<i>Blepharocalyx salicifolius</i>				
		Período	Tmin (°C)	Tméd (°C)	Tmáx (°C)	Pp (mm)
Folha madura	2011-2012		ns	ns	ns	ns
	2012-2013		ns	ns	ns	ns
	2013-2014		0.7644 <0.0112	0.7195 <0.0170	0.6970 <0.0208	ns
	2014-2015		ns	ns	ns	ns
	2015-2016		ns	ns	0.7186 <0.0172	ns
Folha senescente	2011-2012		-0.8216 <0.0064	-0.8216 <0.0064	-0.7716 <0.0105	ns
	2012-2013		-0.8593 <0.0044	-0.7809 <0.0096	-0.6704 <0.0262	ns
	2013-2014		-0.6409 <0.0335	-0.7163 <0.0175	-0.6748 <0.0252	ns
	2014-2015		ns	ns	ns	-0.5926 <0.0493
	2015-2016		ns	ns	ns	ns
Brotação	2011-2012		ns	ns	ns	ns
	2012-2013		ns	0.6244 <0.0384	0.7619 <0.0115	ns
	2013-2014		ns	ns	ns	ns
	2014-2015		ns	ns	ns	ns
	2015-2016		ns	ns	ns	ns
Antese	2011-2012		ns	ns	ns	ns
	2012-2013		ns	ns	ns	ns
	2013-2014		0.7251 <0.0162	0.7343 <0.0149	0.7343 <0.0149	ns
	2014-2015		ns	ns	ns	ns
	2015-2016		0.5913 <0.0499	0.5913 <0.0499	ns	ns
Fruto imaturo	2011-2012		ns	ns	ns	ns
	2012-2013		ns	ns	ns	ns
	2013-2014		0.7572 <0.0120	0.8030 <0.0077	0.8030 <0.0077	ns
	2014-2015		ns	ns	ns	ns
	2015-2016		ns	ns	ns	ns
Fruto maduro	2011-2012		ns	ns	ns	ns
	2012-2013		ns	ns	ns	ns
	2013-2014		ns	ns	ns	ns
	2014-2015		ns	ns	ns	ns
	2015-2016		ns	ns	ns	ns

FONTE: O AUTOR (2017).

NOTA: n amostral: (60). Admitindo-se probabilidade de significância de 95%.

A série histórica de temperaturas médias correlacionadas com os dados fenológicos amostrados indicaram apenas correlações de folha madura e senescente em *G. klotzschiana* e de folha senescente e fruto maduro em *B. salicifolius* (TABELA 5).

TABELA 5. CORRELAÇÃO DAS FENOFASES COM AS MÉDIAS HISTÓRICAS DE TEMPERATURA DE 1960-1991.

Fenofase	T _{méd} (°C) (1961-1990)	
	<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	<i>Blepharocalyx salicifolius</i>
Folha madura	-0.7190 <0.0171	0.7466 <0.0133
Folha senescente	0.7324 <0.0151	-
Brotação	-	-
Botão	-	-
Antese	-	-
Fruto imaturo	-	-
Fruto maduro	-	-0.6708 <0.0261

FONTE: O AUTOR (2017).

NOTA: n amostral: (60). Admitindo-se probabilidade de significância de 95%.

6.4 DISCUSSÃO

Durante os cinco anos de monitoramento, as espécies apresentaram variações quanto à intensidade dos seus eventos fenológicos compatíveis com variações meteorológicas importantes, notadamente com as condições térmicas e pluviométricas. Eventos meteorológicos, como a precipitação registrada entre 2015-2016, moldaram a intensidade de algumas fenofases, especialmente em *G. klotzschiana*, ao estender o período de senescência foliar. Ainda, em resposta a variações meteorológicas, no ano de 2012-2013, verificou-se redução da intensidade nas duas espécies avaliadas, causada especificamente por uma irregularidade da precipitação, experimentando-se meses consecutivos de valores baixos de precipitação (agosto e setembro / abril e maio) e alternância entre meses chuvosos e meses mais estáveis, de acordo com a precipitação esperada, resultando também em variações nas temperaturas.

G. klotzschiana tem suas fenofases reprodutivas variando mais ao longo dos anos, ao contrário de *B. salicifolius*, que parece responder de forma mais sincrônica durante os anos a essas flutuações meteorológicas, não incorporando tão marcadamente essas variações. Uma possível explicação pode estar relacionada ao papel que desempenham na sucessão ecológica, a primeira uma pioneira e a segunda uma secundária tardia, que se adaptam às condições microclimáticas em que estão inseridas, como estratégia de sobrevivência. Espécies convivendo em um mesmo ambiente e recebendo os mesmos estímulos ambientais podem apresentar comportamento fenológico diferenciado, como é o caso das espécies monitoradas neste estudo. A variação da fenologia dessas espécies é uma estratégia vantajosa, sendo um mecanismo importante para a manutenção de espécies que coexistem, reduzindo a competição por recursos

bióticos, como polinizadores e recursos abióticos, como a radiação (RATHCKE; LACEY, 1985).

As correlações detectadas entre as variáveis meteorológicas que mais variam ao longo dos anos (temperaturas e precipitação) sugerem que as espécies avaliadas são sensíveis a alterações de tais variáveis, dados os valores de correlação encontrados. As variáveis meteorológicas atuam como pistas para que as plantas possam concluir seu ciclo de vida e não podem ser avaliadas de forma unilateral, o que remete à necessidade de cautela ao assumir que determinadas pistas sejam os fatores que categoricamente atuam sobre o comportamento fenológico. Segundo Visser et al. (2010), não há razão para considerar que uma única variável possa atuar como sugestão para a fenologia. Isso seria simplificar muito o ciclo de vida das plantas. Contudo, fica evidente que essas pistas meteorológicas atuam de maneira a moldar a intensidade de cada fenofase.

Os organismos têm mecanismos diferentes e subjacentes aos ciclos anuais, mas geralmente combinam o tempo interno com informações de pistas externas para se prepararem para mudanças anuais previsíveis em seus ambientes (HELM et al., 2013). Embora não tenham sido detectadas correlações de algumas dessas variáveis com as fenofases, essa discussão pode ser orientada a considerar o ciclo circadiano das espécies. Os ciclos circadianos ocorrem sem a necessidade de influência de quaisquer sinais externos, sendo endógenos às plantas (McCLUNG, 2006), ou seja, as plantas parecem saber o momento exato de expressar suas fenofases. Os ritmos endógenos podem ser estimulados por pistas ambientais adequadas, tais como alterações nos níveis de irradiação ou de temperatura.

Essa informação também pode ser fortalecida ao se investigar as correlações das fenofases com a temperatura média histórica. A fenofase fruto maduro apresentou correlação com a média histórica, mas não com os dados correspondentes ao período de cinco anos do monitoramento, o que reforça o indicativo de que as espécies podem responder a um certo impulso genético que poderia estar relacionado mais à média histórica, mas que sofrem influência da temperatura atual (MENZEL et al., 2006).

Entre os anos, foram observadas variações das forças de associações testadas com as fenofases, resultando que uma fenofase fosse correlacionada com determinada variável em um ano sim e em outro ano não, sendo essas variações observadas basicamente com a temperaturas e a frutificação. Neste estudo, isso inclui não apenas temperaturas elevadas, mas também choques de frio de geadas subtropicais, que afetam os eventos floração, maturação dos frutos e até mesmo a produção de sementes que germinam com sucesso (BENDIX et al., 2006; CORTÉS-FLORES et al., 2013; STAGGEMEIER; MORELLATO, 2011).

Embora as fenofases não tenham sido correlacionadas com a precipitação durante os cinco anos de avaliação, individualmente foi detectada correlação no ano de 2015-2016, podendo ser resposta ao volume de precipitação registrado, que resultou na alteração da intensidade de fenofases, especialmente em *G. klotzschiana*.

A precipitação, quando se trata de mudanças climáticas globais, recebe menos atenção, porque os efeitos biológicos da temperatura são muitas vezes melhor compreendidos para a maioria dos organismos, porém é necessário reconhecer que os fatores que influenciam as populações interagem de formas complexas – a temperatura pode exercer sua influência, por exemplo, afetando a disponibilidade de umidade (ROOT et al., 2003). Neste trabalho, observaram-se correlações de algumas fenofases com a precipitação, especialmente no período correspondente a 2015-2016. Como mencionado, esse ano pode ser considerado atípico em relação à média anual de precipitação para a região de estudo, com uma precipitação de 2.035,8 mm, próxima às médias para a região litorânea do estado do Paraná (INMET, 2016). Alterações em volume de precipitação podem desencadear alterações na fenologia das plantas, mesmo em ambientes com estacionalidade climática.

Embora as variações na fenologia possam ter causas naturais, ou fatores não climáticos, os fatores climáticos podem ser responsáveis por algumas dessas tendências, sendo que o clima induzido pelo homem ou a mudança atmosférica é a explicação mais consensual para muitos (HUGHES, 2000). As mudanças no ciclo de vida dos organismos (fenologia) são um dos indicadores de alerta precoce mais amplamente utilizados nas mudanças climáticas, sendo, porém, um fato ainda pouco compreendido para os trópicos (MENDOZA; PERES; MORELLATO, 2016).

Os resultados apontam que uma mesma espécie pode ter um comportamento fenológico diferente entre os anos em que são avaliadas, ressaltando a necessidade de que os estudos fenológicos, independentemente da unidade fitogeográfica, precisam ser longos, uma vez que as alterações microclimáticas locais podem alterar a intensidade dos eventos fenológicos das espécies.

6.5 CONCLUSÕES

As espécies apresentam comportamento fenológico semelhante durante os anos, porém foram detectadas variações na intensidade das fenofases entre os anos analisados, podendo ser resposta das variações de temperatura e precipitação.

Com os dados de correlações obtidos entre as fenofases e as variáveis meteorológicas, foi possível concluir que diferentes sinais meteorológicos são sentidos pelas plantas para expressar suas fenofases. Ao que tudo indica, há uma tendência de as temperaturas serem importante fatores que influenciam as fenofases, mas que o período de monitoramento pode também regular esses fatores.

Estudos fenológicos de curta duração podem provocar conclusões equivocadas sobre os fatores que induzem o comportamento fenológico das espécies.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, J. C.; DE ALMEIDA, R. A.; FERNANDES, N. P. Fenologia de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, 1979.
- BENDIX, J.; HOMEIER, J.; ORTIZ, E. C.; EMCK, P.; BRECKLE, S. W.; RICHTER, M.; BECK, E. Seasonality of weather and tree phenology in a tropical evergreen mountain rain forest. **International Journal of Biometeorology**, v. 50, n. 6, p. 370-384, 2006.
- BORCHERT, R.; RENNER, S. S.; CALLE, Z.; NAVARRETE, D.; TYE, A.; GAUTIER, L.; SPICHIGER, R.; VON HILDEBRAND, P. Photoperiodic induction of synchronous flowering near the Equator. **Nature**, v. 433, n. 7026, p. 627-629, 2005.
- CLELAND, E. E.; CHUINE, I.; MENZEL, A.; MOONEY, H. A.; SCHWARTZ, M. D. Shifting plant phenology in response to global change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 7, p. 357-365, 2007.
- CORTÉS-FLORES, J.; ANDRESEN, E.; CORNEJO-TENORIO, G.; IBARRA-MANRÍQUEZ, G. Fruiting phenology of seed dispersal syndromes in a Mexican Neotropical temperate forest. **Forest Ecology and Management**, v. 289, p. 445-454, 2013.
- ENGEL, V. L.; MARTINS, F. R. Reproductive phenology of Atlantic forest tree species in Brazil: an eleven year study. **Tropical Ecology**, v. 46, n. 1, p. 1-16, 2005.
- FOURNIER, L. A.; CHARPANTIER, C. El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales. **Turrialba**, v. 25, n. 1, p. 45-48, 1975.
- HELM, B.; BEN-SHLOMO, R.; SHERIFF, M. J.; HUT, R. A.; FOSTER, R.; BARNES, B. M.; DOMINONI, D. Annual rhythms that underlie phenology: biological time-keeping meets environmental change. **Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1765, 2013.
- HUGHES, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 15, n. 2, p. 56-61, 2000.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). **Climate Change 2014 -Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects**. Cambridge University Press, 2014.
- MARQUES, M. C. M.; ROPER, J. J.; SALVALAGGIO, A. P. B. Phenological patterns among life-forms in a subtropical forest in southern Brazil. **Plant Ecology**, v. 173, p. 203-213, 2004.
- MCCLUNG, C. R. Plant circadian rhythms. **The Plant Cell**, v. 18, n. 4, p. 792-803, 2006.
- MENDOZA, I.; PERES, C. A.; MORELLATO, L. P. C. Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. **Global and Planetary Change**, v. 148, p.227-241, 2016.

- MENZEL, A. et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology**, v. 12, n. 10, p. 1969-1976, 2006.
- MENZEL, A. Phenology: its importance to the global change community. **Climatic Change**, v. 54, n. 4, p. 379-385, 2002.
- MORELLATO, L. P. C.; HADDAD, C. F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32, n. 4, p. 786-792, 2000.
- MORELLATO, L. P. C. *et al.* Linking plant phenology to conservation biology. **Biological Conservation**, v. 195, p. 60-72, 2016.
- MORELLATO, L. P. C.; CAMARGO, M. G. G.; GRESSLER, E. South and Central America: Phenology overview and perspectives. In: SCHWARTZ, M.D. (Ed.). **Phenology: An Integrative Environmental Science**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2013. p. 91-113.
- POST, E. S.; PEDERSEN, C.; WILMERS, C. C.; FORCHHAMMER, M. C. Phenological sequences reveal aggregate life history response to climatic warming. **Ecology**, v. 89, n. 2, p. 363-370, 2008.
- RATHCKE, B.; LACEY, E. P. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.16, p. 179-214, 1985.
- ROOT, T. L.; PRICE, J. T.; HALL, K. R.; SCHNEIDER, S. H.; ROSENZWEIG, C.; POUNDS, J. A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 57-60, 2003.
- STAGGEMEIER, V. G.; MORELLATO, L. P.C. Reproductive phenology of coastal plain Atlantic forest vegetation: comparisons from seashore to foothills. **International Journal of Biometeorology**, v. 55, n. 6, p. 843-854, 2011.
- STAGGEMEIER, V. G. et al. Clade-specific responses regulate phenological patterns in Neotropical Myrtaceae. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 17, n. 6, p. 476-490, 2015.
- VISSER, M. E.; CARO, S. P.; VAN OERS, K.; SCHAPER, S. V.; HELM, B. Phenology, seasonal timing and circannual rhythms: towards a unified framework. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1555, p. 3113-3127, 2010.
- VITASSE, Y.; PORTÉ, A. J.; KREMER, A.; MICHALET, R.; DELZON, S. Responses of canopy duration to temperature changes in four temperate tree species: relative contributions of spring and autumn leaf phenology. **Oecologia**, v. 161, n. 1, p. 187-198, 2009.