

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Biológicas

**VARIAÇÕES FENOLÓGICAS DE ÁRVORES DA FLORESTA ATLÂNTICA, EM
DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO**

Curitiba
2009

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Biológicas

**VARIAÇÕES FENOLÓGICAS DE ÁRVORES DA FLORESTA ATLÂNTICA, EM
DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO**

Fernanda Cristina Gil Cardoso

Prof. Dra. Márcia C. M. Marques
(Orientadora)

Prof. Dr. Renato Marques
(Co-orientador)

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Paraná
como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em
Ecologia e Conservação

Curitiba
2009



Ministério da Educação e Desporto
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação

PARECER

Os abaixo-assinados, membros da banca examinadora da defesa da dissertação de mestrado, a que se submeteu **Fernanda Cristina Gil Cardoso** para fins de adquirir o título de Mestre em Ecologia e Conservação, são de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do trabalho de conclusão da candidata.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação.

Curitiba, 10 de março de 2009

BANCA EXAMINADORA:



Profª. Drª. Marcia Cristina Mendes Marques
Orientadora e Presidente

Profª. Drª. Cátia Henriques Callado
Membro

Profª. Drª. Leonor Patrícia Cerdeira Morellato
Membro

VISTO:

Profa. Dra. Valéria Cunha Muschner
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer profundamente a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho, e em especial às seguintes pessoas:

À minha orientadora, Márcia Marques, pela dedicação, boa vontade e confiança em mim depositada e por ter me dado a oportunidade de crescer como pesquisadora.

Ao meu co-orientador Renato Marques, por toda a ajuda na dissertação, em campo, no laboratório e na parte burocrática.

Ao também co-orientador Paulo Botosso, pelos ensinamentos com a dendrocronologia.

Ao Projeto Solobioma, pelo financiamento da pesquisa e a todos os pesquisadores do projeto, tanto brasileiros como alemães, em especial à Kelly pela ajuda com a estatística, Gustavo pela grande ajuda em campo e no laboratório e Octavio, Thomaz, Joemir, Everaldo, pela ajuda nas coletas, preparação e análises de solo. Aos amigos alemães Luis e Rainer, pelo incentivo para a ida para a Alemanha em breve.

Ao CNPq pela concessão da bolsa, através do Projeto Solobioma.

À toda equipe da Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS), pela autorização de uso da área de estudo, por todo o auxílio em campo, em especial à Ricardo Britez, Reginaldo e à equipe de guarda-parques sempre prontos para ajudar.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, por terem feito esses dois anos de estudo muito mais agradáveis. Aos que participaram do curso de campo, que sem dúvidas será inesquecível. Ao professor James Roper, pelos ensinamentos.

A todos os membros (e ex-membros) do Laboratório de Ecologia Vegetal (LEV) da UFPR, em especial à Francine pela ajuda em campo, Rafael Serathiuk pela ajuda em campo e ajuda com informática e Victor.

À banca avaliadora desta dissertação, Cátia Callado e Patrícia Morellato, pelas sugestões.

Aos meus pais, Filemon e Margareth, pelo apoio incondicional, pelo carinho, por tudo que fazem por mim e por serem as pessoas que me fizeram chegar até aqui.

À minha irmã, Ana Silvia “Xixa”, por ser minha melhor amiga, companheira e estar sempre pronta para ajudar e ouvir. Ao meu irmão Fabio, minha cunhada Cynthia e meus sobrinhos Gabi e Cauã, por tantas alegrias que me dão. Ao meu namorado, Maurício, por tudo. Às minhas avós, tias (os), primas (os) e toda minha família.

À todas as minhas amigas que estão sempre presentes: as de infância, da faculdade, do mestrado, dos esportes, da vida. À Carol Scultori e Flora pela ajuda em campo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO GERAL	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
Referências	7
2 CAPÍTULO I - Ritmos sazonais de árvores tropicais em diferentes condições de solo	12
Resumo	13
Introdução	14
Material e Métodos	16
Resultados	22
Discussão	26
Literatura Citada	31
Figuras e Tabelas	37
3 CAPÍTULO II - Crescimento de duas espécies arbóreas tropicais, em diferentes tipos de solo	42
Resumo	43
Introdução	44
Material e Métodos	46
Resultados	51
Discussão	53
Referências	57
Figuras e Tabelas	61
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Brasil, localizando o Estado do Paraná (a) e destacando a Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba no estado (b); municípios do litoral, destacando a Reserva Natural do Rio Cachoeira (c). FONTE: www.guaracap.com, adaptado.....6

Fig 1. a. Comprimento do dia na latitude do local de estudo. **b.** Precipitação e temperatura média para estação meteorológica de Antonina, PR do período de 1999 a 2008. **c.** Profundidade média do lençol freático nas duas áreas de estudo na Reserva Natural do rio Cachoeira, sul do Brasil e precipitação do período de estudo.....40

Fig. 2. a-f. Fenologia (brotação, queda foliar, botões florais, flores, frutos imaturos e frutos maduros) das três espécies nos dois tipos de solo na Reserva Natural do Rio Cachoeira em Antonina, sul do Brasil.....41

Fig 1. a. Precipitação para estação meteorológica de Antonina, PR do período de estudo e profundidade média do lençol freático nas duas áreas de estudo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil. **b.** temperatura média para estação meteorológica de Antonina, PR do período de 1999 a 2008 e comprimento do dia na latitude do local de estudo.....65

Fig. 2. Incremento acumulado (mm) de *Senna multijuga* e *Cytharexylum myrianthum* nos dois tipos de solo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil.....66

Fig. 3. Índice de crescimento, precipitação do período de estudo e fenologia para *Cytharexylum myrianthum* (a) e *Senna multijuga* (b) em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil.....67

Fig.4. Resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) para *Cytharexylum myrianthum* (a) e *Senna multijuga* (b) em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil.....68

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Resultado da análise circular do comportamento fenológico de três espécies arbóreas, em duas classes de solo, no sul do Brasil. Todos os ângulos médios (u) são significativos pelo teste de Rayleigh ($P < 0.05$), com exceção de †.....37
- Tabela 2.** Correlações de Spearman (r_s) entre as fenofases e as variáveis climáticas (C. Dia= comprimento do dia, Temp. média = temperatura média, Precip. = precipitação, Lençol= profundidade do lençol freático), para as três espécies nos dois tipos de solo na Reserva Natural do Rio Cachoeira. $P < 0,05$. ns = não significativo. (n) = Número de meses anteriores à observação fenológica onde houve correlação.....38
- Tab. 1.** Médias (\pm EP) dos parâmetros nutricionais nos dois tipos de solo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil. ns= não significativo.....61
- Tab.2.** Correlações de Spearman (r_s) entre o crescimento acumulado e as fenofases, para duas espécies arbóreas, em dois tipos de solo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil. ns = não-significativo, $P < 0,05$. (n) = Número de meses anteriores à observação fenológica onde houve correlação mais forte.....62
- Tab. 3.** Correlações de Spearman (r_s) entre o incremento em diâmetro e as variáveis climáticas, para duas espécies arbóreas, em dois tipos de solo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil. $P < 0,05$; ns = não significativo, (n) = Número de meses anteriores à observação fenológica onde houve correlação mais forte.....63

RESUMO GERAL

A grande variedade de padrões fenológicos nas florestas tropicais não deve ser explicada apenas pelos fatores climáticos. Considerando-se que a disponibilidade de água no solo influencia o estado hídrico das plantas e o metabolismo total, é esperado que as condições do solo sejam importantes na regulação das atividades reprodutivas e vegetativas das plantas ao longo do tempo. O crescimento também depende de fatores como clima, comprimento do dia e características hídricas e nutricionais do solo. Foram realizadas observações fenológicas quinzenais (brotação, queda foliar, floração e frutificação), pelo período de um ano, em 180 árvores de três espécies arbóreas (*Alchornea glandulosa*, *Senna multijuga* e *Cytherexylum myrianthum*) da Floresta Atlântica no sul do Brasil. No mesmo período, foram também realizadas leituras quinzenais de crescimento em diâmetro do tronco utilizando cintas dendrométricas em duas espécies (*S. multijuga* e *C. myrianthum*). Foi investigado se os padrões fenológicos e o crescimento podem ser distintos em dois tipos de solo, contrastando nos teores de umidade e nutrientes: Gleissolo (mais úmido e pobre em nutrientes) e Cambissolo (drenado e teores médios de nutrientes). Os padrões fenológicos de cada espécie foram semelhantes e marcados por sazonalidade nas fenofases, nos dois tipos de solo. No entanto houve diferenças na frequência, pico e intensidade das fenofases, nos dois tipos de solo. As fenofases foram fortemente correlacionadas ($0,43 \leq r_s \leq 0,93$) com os fatores climáticos (temperatura média e precipitação) e o comprimento do dia, mas fracamente ($0,42 \leq r_s \leq 0,66$) com a profundidade do lençol freático. O crescimento apresentou correlações significativas principalmente com as fenofases brotação e frutificação ($0,44 \leq r_s \leq 0,82$). A média do incremento acumulado de indivíduos de *Cytherexylum myrianthum* foi menor no Gleissolo que no Cambissolo, enquanto que para *Senna multijuga* não houve diferenças. Houve fortes correlações entre crescimento do tronco e todas as variáveis climáticas, mas as relações foram mais fortes com comprimento do dia ($0,86 \leq r_s \leq 0,93$), precipitação ($0,82 \leq r_s \leq 0,93$) e temperatura média ($0,80 \leq r_s \leq 0,90$). Estes resultados demonstram, pela primeira vez, que as variações das características do solo são importantes fatores determinando os padrões fenológicos e crescimento de espécies arbóreas de florestas não-sazonais.

Palavras-chave: ritmos sazonais, diâmetro do tronco, clima, solo, nutrientes, Floresta Atlântica

ABSTRACT

The great variety of phenological patterns in tropical forests must not be explained only by climatic factors. Considering that soil water availability influences plant water status and total metabolism, soil conditions are also expected to be important on the regulation of plant reproductive and vegetative activities over time. Diameter growth also depends on factors such as climate, day length and soil factors. Phenological observations (flushing, leaf fall, flowering and fruiting) were performed every 15 days over one year for 180 trees of three tree species (*Alchornea glandulosa*, *Senna multijuga* and *Cytharexylum myrianthum*) in the Atlantic Forest in Southern Brazil. In this same period, data for diameter growth were collected every 15 days with fixed dendrometer bands in two of the three species (*S. multijuga* e *C. myrianthum*). We investigated if phenological patterns and diameter growth can be distinct in two types of soil with contrasting humidity and nutritional values: Gleisoil (more humidity and poor in nutrients) and Cambisoil (drier and intermediate nutrient values). Each species' phenological patterns were alike and marked by seasonality on the phenophases, in both types of soil. Phenophases were strongly correlated ($0.43 \leq r_s \leq 0.93$) with climate variables (mean temperature and rainfall) and day length, but, the correlations were weak ($0.42 \leq r_s \leq 0.66$) with the water table depth. Diameter growth was significantly correlated with flushing and fruiting ($0.44 \leq r_s \leq 0.82$). Mean cumulative growth for *C. myrianthum* was lower in the Gleisoil area than in Cambisoil, while there was no difference in growth between soils for *S. multijuga*. There were strong correlations between diameter growth and all the climatic variables, but they were stronger with day length ($0.86 \leq r_s \leq 0.93$), rainfall ($0.82 \leq r_s \leq 0.93$) and mean temperature ($0.80 \leq r_s \leq 0.90$). These results show, for the first time, that variations in the soil characteristics are important factors affecting phenological patterns and growth in tropical tree species.

Key-words: seasonal rhythms, diameter growth, climate, soil, nutrients, Atlantic Forest

INTRODUÇÃO GERAL

A fenologia é o estudo da ocorrência e das causas de eventos biológicos vegetativos e reprodutivos. No caso das plantas, a época em que esses eventos ocorrem é determinante para o sucesso da população, pois assegura a sobrevivência e o estabelecimento de indivíduos jovens. Os padrões fenológicos de uma espécie vegetal são, primariamente, determinadas pelas suas características intrínsecas, as quais tem uma forte relação filogenética e evolutiva. No entanto, o clima e as variações de fotoperíodo regulam a época, a intensidade, a duração e a periodicidade dos eventos (Rathcke & Lacey 1985, Ferraz *et al.* 1999). Além desses, as pressões exercidas pelas interações com herbívoros, dispersores e polinizadores também são sugeridos como fatores que moldariam a fenologia nas plantas ao longo do tempo (Snow 1965, Frankie *et al.* 1974, Wright & van Schaik 1994, Aide 1998).

Mesmo que fatores climáticos sejam de extrema importância para definição do comportamento fenológico das plantas, os fatores que possam influenciar internamente o seu estado hídrico poderiam alterar as respostas fisiológicas e fenologia (Hinckley *et al.* 1991). A água é muitas vezes considerada o fator ambiental mais importante que afeta o crescimento e a distribuição das árvores (Hinckley *et al.* 1991). Estudos em florestas tropicais secas verificaram uma forte relação entre o desenvolvimento fenológico (especialmente queda de folhas, brotação e floração) e o estado hídrico das árvores (Borchert 1992; Schongart *et al.* 2002). Este pode variar devido à disponibilidade de água no solo que atua de forma diferenciada de acordo com características da estrutura e deciduidade das folhas, densidade e capacidade de armazenamento de água da madeira e profundidade e densidade do sistema radicial (Borchert 1994). No entanto, mesmo pequenas oscilações na disponibilidade de água em florestas úmidas afetam a respostas fenológicas de algumas espécies (Newstrom *et al.* 1994, Borchert *et al.* 2005).

O tronco das árvores sofre contração e expansão conforme a água é utilizada e armazenada pela planta. A taxa de crescimento em diâmetro do tronco pode variar entre espécies e entre indivíduos de uma mesma espécie e ainda devido a fatores como idade, estação do ano e condições microclimáticas (Borchert 1999). O uso de faixas dendrométricas para explicar variações sazonais no crescimento em diâmetro da árvore, originadas por esta flexibilidade hidrostática do tronco, é uma ferramenta importante para explicar variações individuais na fenologia das plantas (Pélissier & Pascal 2000, Felker & Leon 2005). Árvores

tropicais podem apresentar considerável variação de diâmetro do tronco até mesmo ao longo do dia (Sheil 2003). Em florestas úmidas, estas variações parecem ser anualmente cíclicas e estar relacionadas com padrão de precipitação e estado de umidade do solo (Sheil 1995; Péliissier & Pascal 2000, Silva *et al.* 2002, Schongart *et al.* 2002).

Além das variações na disponibilidade de água, os diferentes teores de nutrientes podem fazer do solo um substrato variável que altera o crescimento e os padrões fenológicos das plantas. Em clima temperado, fatores como profundidade do solo, pH e fatores químicos específicos do solo parecem modificar a fenologia de muitas plantas (Seghieri *et al.* 1995, Wielgolaski 2001). Solos mais ricos em nutrientes podem implicar em maior produção de flores (Sperens 1997). Por outro lado, excesso de alguns elementos como o cobre (Brun *et al.* 2003) e outros metais (Ryser & Sauder 2006) podem agir negativamente na floração, tempo de vida das folhas e no amadurecimento dos frutos. Embora estas alterações pareçam pequenas, podem causar fortes efeitos ao nível de população, comunidade e até ecossistemas.

Florestas tropicais demonstram uma grande variedade de padrões fenológicos vegetativos e reprodutivos e também podem apresentar ciclos fenológicos periódicos (Marques *et al.* 2004, Morellato *et al.* 2000, Chapman *et al.* 1999, Frankie *et al.* 1974). As fenofases brotação e queda de folhas tendem a ocorrerem em períodos opostos (Morellato *et al.* 1989, Fournier 1976). A queda de folhas, nas espécies decíduas, tem uma tendência a ocorrer no período mais seco (Frankie *et al.* 1974) e é mínima na estação chuvosa e a brotação normalmente ocorre na transição entre as estações seca e úmida (Fournier 1976; Morellato & Leitão-Filho 1990, 1992). A floração geralmente está relacionada com a frutificação (Fournier 1976) e ocorre na transição entre as estações seca e úmida (Morellato & Leitão-Filho 1990, 1992). A época de frutificação, porém, está relacionada ao tipo de fruto, à síndrome de dispersão e ao estrato ocupado pelos indivíduos adultos (Smythe 1970; Wheelwright 1985; Morellato & Leitão-Filho 1990, 1992). Os frutos anemocóricos geralmente frutificam na estação mais seca e os frutos zoocóricos amadurecem ao longo de todo o ano ou na estação mais úmida (Morellato *et al.* 1989) quando os níveis de umidade são suficientes para a maturação de frutos carnosos (Lieberman 1982).

A maioria dos estudos fenológicos em florestas tropicais aborda comunidades (Morellato *et al.* 2000, Marques & Oliveira 2004, Marques *et al.* 2004). Embora existam alguns estudos ao nível populacional (Wheelwright 1986, Schirone *et al.* 1990, Martín-Gajardo & Morellato 2003, Goulart *et al.* 2005), poucos exploram simultaneamente as variações que existem dentro de populações de plantas em relação aos fatores ambientais.

Objetivos

Neste estudo foram avaliados a fenologia e crescimento de três espécies de árvores (uma decídua e duas não decíduas) da Floresta Atlântica (Floresta Ombrófila Densa) crescendo em Gleissolo e Cambissolo, na região de Antonina, litoral do Paraná. O objetivo é verificar se a época de ocorrência, a intensidade dos eventos fenológicos e as taxas de incremento em diâmetro de árvores tropicais são diferenciadas em solos variando em disponibilidade hídrica e de nutrientes.

Espécies estudadas

As espécies escolhidas para o estudo foram *Alchornea glandulosa*, *Cytharexylum myrianthum* e *Senna multijuga*. São espécies comuns na Floresta Ombrófila Densa e importantes na regeneração de áreas degradadas.

A. glandulosa Poepp. pertence à família Euphorbiaceae, que possui cerca de 6000 espécies distribuídas por todo o mundo, principalmente nos trópicos (Souza & Lorenzi 2005). É uma planta dióica, perenifólia, heliófita, semi-decídua, pioneira, de 15-30 m de altura, que ocorre na América do Sul desde o Panamá até Argentina, sendo que no Brasil ocorre em todo o país, comumente em beiras de rio e em planícies aluviais da Floresta Atlântica (Lorenzi 1992, Secco 2004).

Senna multijuga (Rich.) H.S. Irwin & Barneby é uma arvoreta da família Leguminosae, de 2 a 10 m de altura, que ocorre na América do Sul, América Central e México, sendo que no Brasil é comumente encontrada nas encostas da Floresta Atlântica no sul e sudeste do país (Lorenzi 1992, Rodrigues *et al.* 2005). Também conhecida como aleluia ou chuva-de-ouro, é uma planta heliófita, pioneira, semi-decídua, característica das matas secundárias (Lorenzi 1992, Rodrigues *et al.* 2005).

Cytharexylum myrianthum Cham. é uma árvore de 8 a 20 metros de altura, pertencente à família Verbenaceae e que ocorre da Bahia ao Rio Grande do sul nas encostas da Floresta Atlântica, principalmente em estádios iniciais de sucessão. Trata-se de espécie decídua, heliófita, seletiva higrófila, ocorrendo principalmente em locais úmidos e brejosos. É espécie dióica, onde alguns indivíduos produzem frutos todos os anos e outros nunca os produzem (Rocca & Sazima 2006).

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Reserva Natural do Rio Cachoeira (25°19'15" S e 45°42'24 W, altitude de 2 a 900 m s.n.m), uma área de 8.600 ha localizada no município de Antonina e inserida no domínio da Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba no litoral do Estado do Paraná, sul do Brasil (Fig. 1). A área é de propriedade da organização não-governamental Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS). O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é o subtropical úmido mesotérmico (Cfa) sem estação seca definida e isento de geadas nas regiões serranas e chuvoso tropical sempre úmido (Aft) na planície. Os dados climáticos médios para um período de 9 anos mostram uma precipitação anual de 2218 mm e temperatura média de 21,2 °C. Na reserva são encontradas diferentes tipologias vegetacionais, de acordo com a classificação de Veloso *et al.* (1991): Floresta Ombrófila Densa nas sub-formações Submontana, de Terras Baixas e Aluvial, além Formações Pioneiras de Influência Fluvial. Em cada uma dessas tipologias, têm-se ainda florestas em regeneração natural e em diferentes estádios de desenvolvimento, além de áreas de restauração ecológica (Ferretti & Britez 2006).

Em 2000, a organização não-governamental SPVS iniciou, juntamente com parcerias internacionais, projetos de combate ao aquecimento global (Projeto de Restauração da Floresta Atlântica; Projeto de Ação Contra o Aquecimento Global em Guaraqueçaba e Projeto Piloto de Reflorestamento em Antonina), quando foi necessário o estabelecimento de novas estratégias de restauração e o desenvolvimento de novas técnicas para áreas de maior extensão, o que resultou nos plantios de mudas em áreas abertas e plantios de enriquecimento em capoeiras (Ferretti & Britez 2006). Os primeiros plantios, agora com oito anos de idade, já estão bem estabelecidos, com a maioria das espécies de árvores já adultas e com alturas de até 15 m.

Na Reserva Natural do Rio Cachoeira foram levantados solos das classes Neossolos, Gleissolos, Argissolos e Cambissolos. Para o presente estudo foram escolhidas áreas em Gleissolo e em Cambissolo. A classe Gleissolo compreende solos hidromórficos, permanente ou periodicamente saturados por água, mal drenados, constituídos por material mineral, que normalmente apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo. Podem ter textura arenosa somente nos horizontes superficiais, desde que seguidos de horizonte glei. A gleização é causada em decorrência do regime de umidade redutor em meio anaeróbico, com deficiência de oxigênio devido ao encharcamento do solo por longo período,

o que implica no surgimento de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido a compostos ferrosos resultantes da escassez de oxigênio causada pelo encharcamento. Provoca, também, a redução e solubilização de ferro, promovendo translocação e re-precipitação dos seus compostos (Embrapa 1999). Os Cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com características que variam muito de um local para outro, podendo ser desde fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho escuro, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração coloidal. Normalmente, possuem horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (Embrapa 1999).

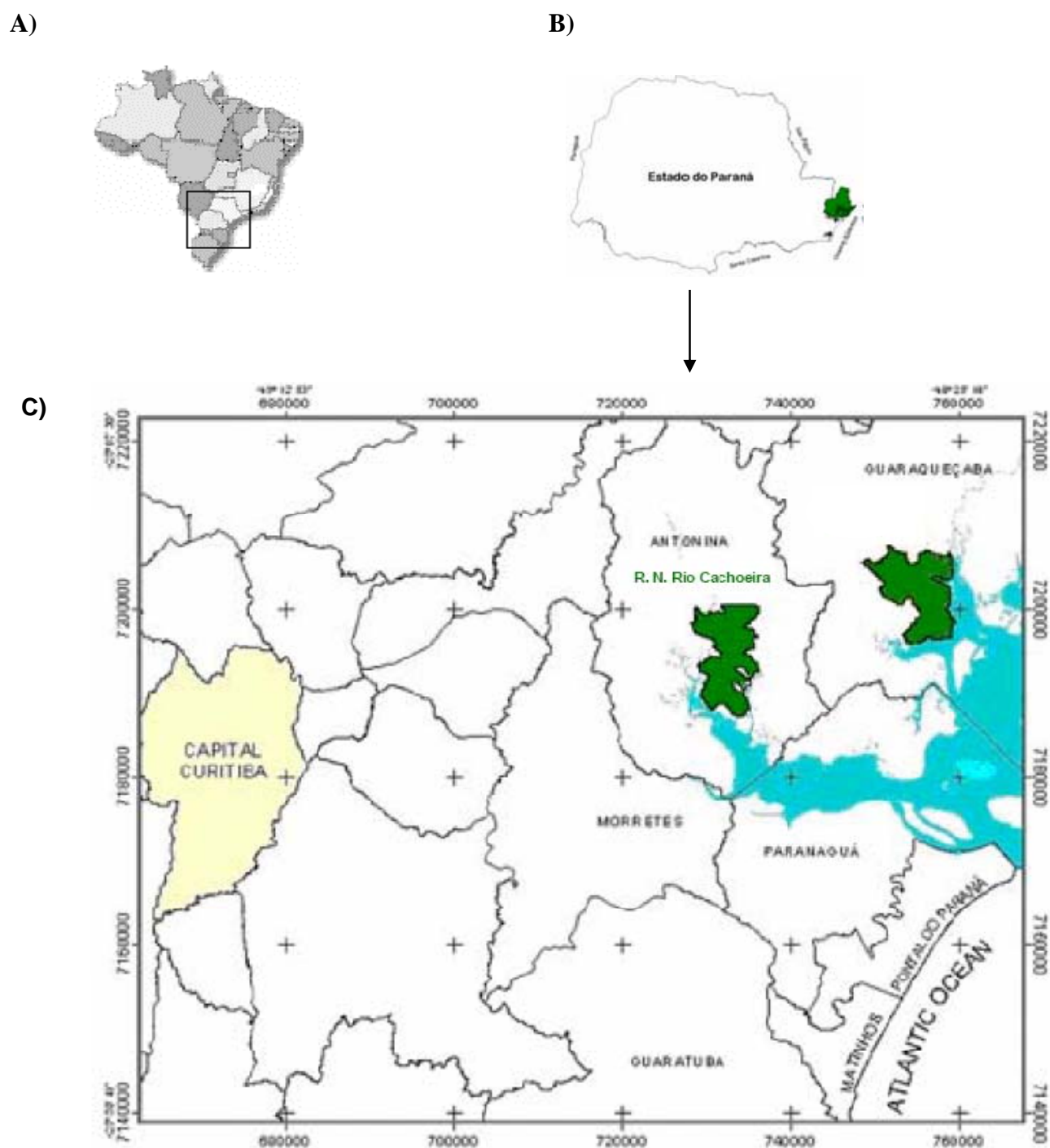


Figura 1 - Mapa do Brasil, localizando o Estado do Paraná (a) e destacando a Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba no estado (b); municípios do litoral, destacando a Reserva Natural do Rio Cachoeira (c). FONTE: www.guaracap.com, adaptado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDE, T. M. Herbivory as a selective agent on the timing of leaf production in a tropical understory community. **Nature**, v.336, pp. 574-575. 1988.

BORCHERT, R. Computer Simulation of Tree Growth Periodicity and Climatic Hydroperiodicity in Tropical Forests. **Biotropica**, v. 24, n. 3, pp. 385-395. 1992.

BORCHERT, R. Soil and Stem Water Storage Determine Phenology and Distribution of Tropical Dry Forest Trees. **Ecology**, v. 75, n. 5, pp. 1437-1449, 1994.

BORCHERT, R. Climatic periodicity, phenology and cambium activity in tropical dry forest trees. **IAWA Journal**, v. 20, pp. 239–247. 1999.

BORCHERT, R.; ROBERTSON, K.; SCHWARTZ, M. D.; WILLIAMS-LINERA, G. Phenology of temperate trees in tropical climates. **International Journal of Biometeorology**, v. 50, n. 1. 2005.

BRUN, L. A.; CORFF, J. L.; MAILLET, J. Effects of elevated soil copper on phenology, growth and reproduction of five ruderal plant species. **Environmental Pollution** v.122, pp. 361–368. 2003.

CHAPMAN, C. A.; WRANGHAM, R. W.; CHAPMAN, L. J.; KENNARD, D. K.; ZANNE, A. E. Fruit and flower phenology at two sites in Kibale National Park, Uganda. **Journal of Tropical Ecology**, v. 15, p. 189-211. 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FELKER, P.; LEON, V. D. D. An improved tool for the fabrication of dendrometer bands to estimate growth as function of treatments in slow growing native *Prosopis* stands. **Forest Ecology and Management**, v. 209, pp. 353–356. 2005.

FERRAZ, D. K.; ARTES, R.; MANTOVANI, W.; MAGALHÃES, L. M. Fenologia de árvores em fragmento de mata em São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59 n. 2, pp. 305-317. 1999.

FERRETTI, A. R.; BRITZ, R. M. Ecological restoration, carbon sequestration and biodiversity conservation: The experience of the Society for Wildlife Research and Environmental Education (SPVS) in the Atlantic Rain Forest of Southern Brazil. **Journal of Nature Conservation**, v. 14, pp. 249-259. 2006.

FOURNIER, L. A. Observaciones fenológicas en el bosque húmedo de pré-montano de San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. **Turrialba**, v. 26, pp. 54-59. 1976.

FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G.; OPLER, P. A. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, v. 62, pp. 881-913. 1974.

GOULART M. F.; LEMOS FILHO, J. P.; LOVATO M. B. Phenological variation within and among populations of *Plathymenia reticulata* in Brazilian Cerrado, Atlantic Forest and transitional sites. **Annals of Botany** v. 96, pp. 445–455. 2005.

HINCKLEY, T. M., RICHTER, H., SCHULTE, P. J. Water relations. In: RAGHAVENDRA, A. S. (ed.). **Physiology of trees**. New York: Wiley Interscience, pp. 137-162. 1991.

LIEBERMAN, D. Seasonality and phenology in a dry tropical forest in Ghana. **Journal of Ecology**, v. 70, pp. 791-806. 1982.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**, vol. I, ed. Plantarum, 1992.

MARQUES, M. C. M.; ROPER, J. J.; SALVALAGGIO, A. P. B. Phenological patterns among plant life forms in a Subtropical Forest in Southern Brazil. **Plant Ecology**, v. 173, n. 2, pp. 191-201. 2004.

MARQUES, M. C. M.; 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, pp. 713-723. 2004.

MARTIN-GAJARDO, I. S, MORELLATO, L. P. C. Inter and intraspecific variation on reproductive phenology of Atlantic forest Rubiaceae: ecology and phylogenetic constraints. **Revista de Biologia Tropical**, v. 51, n. 3-4, pp. 691-698. 2003.

MORELLATO, L. P. C.; RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. F.; JOLY, C. A. Estudo comparativo da fenologia de espécies arbóreas de floresta de altitude e floresta mesófila semidecídua na Serra do Japi, Jundiá, São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 12, pp. 85-98. 1989.

MORELLATO, L. P. C.; LEITÃO-FILHO, H. F. Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em Floresta Mesófila na Serra do Japi, Jundiá, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, n. 1, pp. 163-173. 1990.

MORELLATO, L. P. C.; LEITÃO-FILHO, H. F. Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi. In: L. P. C. Morellato (Org.). **História Natural da Serra do Japi**. Ecologia e preservação de uma área de floresta no sudeste do Brasil. Campinas: Unicamp/Fapesp, 1992. pp. 112-140.

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, pp. 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, pp. 142-159. 1994.

PÉLISSIER, R.; PASCAL, J. P. Two-year tree growth patterns investigated from monthly girth records using dendrometer bands in a wet evergreen forest in India. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, pp. 429-446. 2000.

RATHCKE, B.; LACEY, E. P. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 16, pp. 179-214. 1985.

ROCCA, M. A.; SAZIMA, M. The dioecious, sphingophilous species *Citharexylum myrianthum* (Verbenaceae): Pollination and visitor diversity. **Flora**, v. 201, pp. 440-450. 2006.

RODRIGUES, S. R.; FLORES, A. S.; MIOTTO, S. T. S.; BAPTISTA, L. R. M. O gene (Leguminosae, Caesalpinoidea) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta bot. Bras**, v. 19, pp. 1-16. 2005.

RYSER, P.; SAUDER, W. R. Effects of heavy-metal-contaminated soil on growth, phenology and biomass turnover of *Hieracium piloselloides*. **Environmental Pollution**, v. 140, pp. 52-61. 2006.

SCHIRONE B, LEONE A, MAZZOLENI S, SPADA F. A new method of survey and data analysis in phenology. **Journal of Vegetation Sciences**, v. 2, pp. 27–34. 1990.

SCHONGART, 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, pp. 581-597. 2002.

SECCO, R. S. **Flora Neotropica**. Monograph 93. Alchorneae (Euphorbiaceae). 2004. 194 p.

SEGHIERI, J., FLORET, CH., PONTANIER, R. Plant phenology in relation to water availability: herbaceous and woody species in the savannahs of northern Cameroon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 11, pp. 237–254. 1995.

SHEIL, D. A critique of permanent plot methods and analysis with examples from Budongo Forest, Uganda. **Forest Ecology and Management**, v. 77, pp. 11-34. 1995.

SHEIL, D. Growth assessment in tropical trees: large daily diameter fluctuations and their concealment by dendrometer bands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 33, n. 10, pp. 2027–2035. 2003.

SMYTHE, N. Relationships between fruiting seasons and seed dispersal methods in a neotropical forest. **The American Naturalist**, v. 104, n. 935, pp. 25-35. 1970.

SNOW, D.W. A possible selective factor in the evolution of fruiting seasons in tropical forest. **Oikos** v.15, pp. 274- 281. 1965.

SPERENS, U. Long-term variation in, and effects of fertiliser addition on, flower, fruit and seed production in the tree *Sorbus aucuparia* (Rosaceae) **Ecography**, vol. 20, n. 6, pp. 521-534. 1997.

SILVA, R. P.; SANTOS, J.; TRIBUZY, E. S.; CHAMBERS, J. Q.; NAKAMURA, S.; HIGUCHI, N. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 166, pp. 295–301. 2002.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2005.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, L.; LIMA, J. L. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais do Rio de Janeiro, 1991.

WHEELWRIGHT, N. T. Competition for dispersers, and the timing of flowering and fruiting in a guild of tropical trees. **Oikos**, v. 44, pp. 465-477. 1985.

WIELGOLASKI, F. E. Phenological modifications in plants by various edaphic factors. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, pp. 196–202. 2001

WRIGHT, S. J.; VAN SCHAIK, C. P. Light and the phenology of tropical trees. **The American Naturalist**, v. 143, n. 1, pp. 193-199. 1994.

CAPÍTULO I*

RITMOS SAZONAIS DE ÁRVORES TROPICAIS EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SOLO

* Capítulo preparado de acordo com as normas da revista *Annals of Botany*

Ritmos Sazonais de Árvores Tropicais em Diferentes Condições de Solo

FERNANDA C. G. CARDOSO, MARCIA C. M. MARQUES e RENATO MARQUES

*Laboratório de Ecologia Vegetal; Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas,
Universidade Federal do Paraná; Caixa Postal 19031; 81531-980 Curitiba - PR – Brazil.*

RESUMO

- *Introdução e Objetivos* A grande variedade de padrões fenológicos nas florestas tropicais não deve ser explicada apenas pelos fatores climáticos. Considerando-se que a disponibilidade de água no solo influencia o estado hídrico das plantas e o metabolismo total, é esperado que as condições do solo sejam importantes na regulação das atividades reprodutivas e vegetativas das plantas ao longo do tempo. Este estudo teve o objetivo de investigar se os padrões fenológicos podem ser distintos em dois tipos de solo, contrastando nos teores de umidade e nutrientes: Gleissolo (mais úmido e pobre em nutrientes) e Cambissolo (drenado e teores médios de nutrientes).
- *Métodos* Foram realizadas observações fenológicas quinzenais (brotação, queda foliar, floração e frutificação), em 180 árvores de três espécies arbóreas (*Alchornea glandulosa*, *Senna multijuga* e *Cytherexylum myrianthum*) da Floresta Atlântica no sul do Brasil em área de Cambissolo e Gleissolo.
- *Principais resultados* Os padrões fenológicos de cada espécie foram semelhantes e marcados por sazonalidade nas fenofases, nos dois tipos de solo. No entanto houve diferenças na frequência, pico e intensidade das fenofases, nos dois tipos de solo. As fenofases foram fortemente correlacionadas ($0,43 \leq r \leq 0,93$) com os fatores climáticos (temperatura e precipitação) e o fotoperíodo, mas fracamente ($0,42 \leq r \leq 0,66$) com a profundidade do lençol freático.
- *Conclusões* Estes resultados demonstram, pela primeira vez, que as variações das características do solo são importantes fatores determinando os padrões fenológicos de espécies arbóreas tropicais.

Palavras-chave: Floresta Atlântica, fenologia, clima, solo, *Cytherexylum myrianthum*, *Senna multijuga*, *Alchornea glandulosa*, comprimento do dia, lençol freático.

INTRODUÇÃO

A fenologia, ou a distribuição das atividades reprodutivas e vegetativas das plantas nos trópicos ao longo do tempo, é principalmente regulada pelo comprimento do dia (Wright e Van Schaik, 1994 ; Fenner, 1998 ; Morellato *et al.*, 2000 ; Borchert *et al.*, 2005), temperatura (Morellato *et al.*, 2000) e precipitação (Lieberman, 1982 ; Reich e Borchert, 1984 ; Morellato *et al.*, 1989). Espécies tropicais demonstram uma grande variedade de padrões fenológicos vegetativos e reprodutivos (Frankie *et al.*, 1974 ; Chapman *et al.*, 1999) e sua fenologia ainda não é totalmente compreendida.

Os ritmos sazonais das plantas podem também refletir as variações de outros fatores ambientais, além do clima (Wright e Van Schaik, 1994). Por exemplo, as características hídricas do solo podem resultar em diferenças na disponibilidade de água para planta (Reich e Borchert, 1984), afetando a ocorrência e intensidade das fenofases. Solos arenosos (e drenados) e solos argilosos (e inundados) podem, além de conservar quantidades distintas de água, disponibilizar os nutrientes de maneiras diferenciadas (Embrapa, 1999). Em clima temperado, a umidade do solo pode determinar algumas fenofases (Bach, 2002). Também foi demonstrado que a profundidade, pH, fatores químicos específicos e disponibilidade de água do solo, parecem alterar a fenologia nestes sistemas temperados (Seghieri *et al.*, 1995 ; Wielgolaski, 2001). Uma maior quantidade de nutrientes no solo, por exemplo, pode levar a uma variação na intensidade de algumas fenofases (Sperens, 1997). Adicionalmente, a composição química e o pH do solo podem contribuir com um variação no tempo de início da floração e frutificação e variação na taxa de amadurecimento dos frutos (Wielgolaski, 2001 ; Brun *et al.*, 2003 ; Ryser e Sauder, 2006). As fenofases vegetativas também podem ser afetadas (Ryser e Sauder, 2006), reduzindo o tempo de vida das folhas. Essas alterações, apesar de pequenas, podem causar fortes efeitos nos padrões fenológicos das plantas em clima

temperado, mas nenhuma informação se tem sobre tais variações em espécies arbóreas tropicais.

Em espécies arbóreas, há forte relação entre a disponibilidade interna de água da planta e o desenvolvimento fenológico (Borchert, 1994). A queda de folhas, por exemplo, geralmente ocorre na época de menor disponibilidade de água na planta, e, após a reidratação, seguem as fenofases floração e brotação (Borchert, 1992; Schongart *et al.*, 2002). Mesmo espécies que ocorrem em climas não-sazonais apresentam periodicidade na ocorrência das fenofases e os eventos do ciclo de vida podem ocorrer em resposta à disponibilidade de água, concentrando grande parte dos processos envolvidos no crescimento nos períodos com maior umidade (Reich, 1995 ; Fenner, 1998 ; Bencke e Morellato, 2002 ; Marques e Oliveira, 2004). A capacidade de armazenamento de água na planta varia de acordo com a estrutura e deciduidade das folhas, a densidade e estrutura da madeira e a profundidade e densidade do sistema radicial (Borchert, 1994). Também a forma de vida da planta, a taxa de crescimento relativa e a massa dos frutos e sementes também podem influenciar a fenologia de algumas espécies (Bach, 2002 ; Castro-Díez *et al.*, 2003 ; Marques *et al.*, 2004). Portanto, avaliar a fenologia em espécies variando em deciduidade pode ser uma ferramenta para compreender a variedade de padrões fenológicos de uma comunidade.

A maioria dos estudos fenológicos com espécies tropicais aborda o conjunto de espécies das comunidades (Morellato *et al.*, 2000 ; Marques e Oliveira, 2004 ; Marques *et al.*, 2004), mas poucos interpretam as variações intra-populacionais (Wheelwright, 1986 ; Martín-Gajardo e Morellato, 2003 ; Goulart *et al.*, 2005). Sendo assim, as variações fenológicas em populações e os fatores que causam essas variações em espécies tropicais ainda não são muito bem compreendidos.

Neste estudo foi avaliada a fenologia das populações de três espécies arbóreas (*Alchornea glandulosa*, *Senna multijuga* e *Cytherexylum myrianthum*) em uma região tropical

e úmida no sul do Brasil. O estudo foi desenvolvido com o objetivo de verificar se os padrões fenológicos podem ser distintos em dois tipos de solo, contrastando nos teores de umidade e nutrientes: Gleissolos (solos úmidos e pobres) e Cambissolos (solos drenados e com maior teor de nutrientes). Especificamente, buscaram-se responder às seguintes questões: (1) Quais são as variações fenológicas das populações nos dois tipos de solo? (2) A fenologia relaciona-se com as variáveis climáticas (temperatura, precipitação), comprimento do dia e profundidade do lençol freático? (3) Há diferenças no pico, sazonalidade e intensidade das fenofases nos dois tipos de solo?

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Reserva Natural do Rio Cachoeira (25°19'15" S e 45°42'24 W, altitude de 2 a 900 m s.n.m.), uma área de 8.600 ha localizada no município de Antonina (PR), litoral sul do Brasil. A reserva está dentro de uma grande área do bioma da Floresta Atlântica (Floresta Ombrófila Densa), com 313 mil ha de florestas, estuários, baías, ilhas, mangues e planícies, sendo parte de um dos principais remanescentes de Floresta Atlântica no Brasil (Ferreti e Britez, 2006).

O clima predominante na região, segundo a classificação de Köeppen, é o chuvoso tropical sempre úmido Af(t) na planície. Os dados climáticos médios para um período de 09 anos (1999 a 2008) para a estação meteorológica de Antonina, PR (a 10 km da área de estudo) mostram uma precipitação anual de 3106 mm e temperatura média de 21 °C (Fig. 1).

Os solos na Reserva variam entre Neossolos, Gleissolos, Cambissolos e Argissolos (Ferreti e Britez, 2006). No presente estudo foi avaliada a fenologia de plantas crescendo em Gleissolos e Cambissolos. Os primeiros ocupam terraços adjacentes às planícies aluviais,

sendo, portanto, hidromórficos, minerais, arenosos, de fertilidade variável e permanentemente ou periodicamente saturados por água. Os Cambissolos compreendem solos não-hidromórficos, minerais, de fertilidade variável e com elevados valores em silte (Embrapa 1999). Especificamente nas áreas onde foram desenvolvidos os estudos fenológicos, o Gleissolo apresenta menores teores de alumínio e carbono que o Cambissolo, o qual possui maiores teores de cálcio, magnésio e fósforo. O pH e os teores de potássio não diferem entre eles (Capítulo II). Em relação à granulometria do solo, o Gleissolo apresenta maiores teores de argila e areia, enquanto que o Cambissolo apresenta maior teor de silte (Capítulo II).

As áreas de Gleissolo e Cambissolo escolhidas para o estudo fenológico foram baseadas em mapeamento prévio (Ferreti e Britez, 2006) e são locais onde houve o estabelecimento de um projeto de restauração ecológica há oito anos antes do início do presente estudo. Este procedimento foi tomado para evitar que as diferenças na idade, no tamanho das árvores (copa, diâmetro, biomassa total) e no espaçamento entre indivíduos pudessem interferir nos resultados. O sistema de restauração nestas áreas consistia no plantio direto de mudas de espécies pioneiras, feito manualmente, num espaçamento de 2x3m. Como o clima da região é ameno e a precipitação é bem distribuída ao longo do ano (> 70 mm em cada mês), a restauração é eficiente, a sobrevivência alta (>70%) e o crescimento de plantas muito rápido. No início do estudo fenológico, todas as árvores da área apresentavam entre 3 e 10 m de altura e já tinham experimentado pelo menos um evento reprodutivo. Maiores detalhes sobre os sistemas de restauração podem ser encontrados em Ferreti e Britez (2006) e Bruel (2006).

Espécies estudadas

Foram escolhidas para o estudo três espécies arbóreas pioneiras e comuns nos estádios iniciais do desenvolvimento sucessional da Floresta Ombrófila Densa e que são freqüentes

nas duas áreas escolhidas para o estudo: *Alchornea glandulosa* Poepp., *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin e Barneby e *Cytherexylum myrianthum* Cham.

A. glandulosa (Euphorbiaceae), é uma espécie semi-decídua, dióica, heliófita, de 15-30 m de altura que ocorre em todo Brasil e em grande parte da América do Sul (Lorenzi, 1992 ; Secco, 2004). *S. multijuga* (Leguminosae) é uma arvoreta semi-decídua, dióica, heliófita, de 2 a 10 m de altura que ocorre na América do Sul, América Central e México, sendo que no Brasil é comumente encontrada nas encostas da Floresta Ombrófila Densa no sul e sudeste do país (Lorenzi, 1992 ; Rodrigues *et al.*, 2005). *C. myrianthum* (Verbenaceae) é decídua, heliófita, seletiva higrófila, ocorrendo principalmente em locais úmidos e brejosos. É árvore de 8 a 20 m de altura, que ocorre do litoral nordeste ao sul do Brasil (Lorenzi, 1992 ; Rocca e Sazima, 2006).

Métodos

Um estudo preliminar sobre a fenologia das espécies foi realizado durante dois anos (junho de 2004 a julho de 2006) ao longo de trilhas que percorriam florestas secundárias na Reserva. Para *C. myrianthum* e *S. multijuga* foram observados, mensalmente, cinco indivíduos de cada espécie, quanto à presença de brotação, queda foliar, flores e frutos. Para *A. glandulosa* foram feitas observações fenológicas não sistematizadas em indivíduos presentes ao longo das trilhas, durante o mesmo período. A variação fenológica (número de indivíduos em cada fenofase, em cada mês) dos três períodos de observações (2004, 2005, 2007) nas três espécies, foi muito semelhante ($0,46 \leq r_s \leq 0,91$, $P < 0,05$). Portanto, assumimos que as variações interanuais são pouco significativas nestes casos e que o estudo fenológico do último ano representa, aproximadamente, o padrão local da espécie.

Para o estudo fenológico em plantas presentes nas áreas de restauração foram marcados, de forma aleatória, aproximadamente 60 indivíduos de cada uma das três espécies

(total de 177 árvores) em cada tipo de solo (Tab. 1). Todos os indivíduos marcados foram plantados na mesma época e, portanto, possuem a mesma idade. A observação do comportamento fenológico (brotação, queda foliar, floração, frutificação) das árvores foi realizada quinzenalmente ao longo de 12 meses, com início em outubro de 2007. A floração foi diferenciada entre botões florais e flores abertas. A frutificação foi diferenciada em frutos em desenvolvimento (imaturos) e frutos maduros (frutos prontos para a dispersão). Para o registro do brotamento foi verificada a presença de folhas de tamanho inferior ao normal, de coloração mais clara e/ou consistência membranácea e o desenvolvimento de gemas foliares. Para a fenofase queda de folhas, foram consideradas as falhas na copa das árvores e a presença de folhas caídas embaixo da planta (Morellato *et al.*, 2000 ; Marques *et al.*, 2004). Para a quantificação das fenofases, a abundância de cada fenofase foi estimada e categorizada da seguinte maneira: (0) ausência total da fenofase, (1) pequeno número (de 1 a 50) de estruturas representativas da fenofase (brotos, flores, frutos ou folhas senescentes), ocupando até 30% da área da copa (2) número intermediário (de 50 a 100) das estruturas ocupando entre 30 % e 70% da copa, (3) número alto (≥ 100) de estruturas, ocupando densamente mais de 70% da copa.

A disponibilidade de água no solo foi monitorada em 12 piezômetros instalados na área de Gleissolo e 17 no Cambissolo. Os piezômetros foram construídos com canos de PVC de 10 cm de diâmetro, perfurados e instalados a uma profundidade de 100 a 150 cm da superfície do solo (Walthall e Ingram, 1984). A disposição dos piezômetros nas áreas era próxima aos grupos de indivíduos de forma a representar, o mais próximo possível, a situação de disponibilidade hídrica das árvores analisadas. Durante o período de estudo e a cada quinze dias foram feitas leituras da altura do lençol freático no solo com um arame graduado.

Os dados climáticos do período de estudo e dos últimos nove anos, referentes à precipitação e temperaturas máxima, média e mínima, foram obtidos do Instituto Tecnológico SIMEPAR para a estação meteorológica de Antonina.

Análise dos dados

Em cada espécie, para verificar os períodos de ocorrência, pico e a duração de cada fenofase foram realizadas análises estatísticas circulares, utilizando o software ORIANA 2 (Kovach, 2003). Neste procedimento, os meses foram convertidos em ângulos com intervalos de 15° para cada observação (0° = primeira quinzena de janeiro, 15° = segunda quinzena de janeiro até 345° = segunda quinzena de dezembro), num total de 24 intervalos de 15°. Foi calculada a frequência de ocorrência dos indivíduos de cada espécie, em cada variável fenológica, dentro de cada ângulo. Dessa forma, foram calculados os seguintes parâmetros: ângulo médio u (em seguida convertido para data média), comprimento do vetor médio r (índice de sincronia : uma medida de concentração em torno do ângulo médio que indica se a fenofase é concentrada em torno de um pico e se há sincronia entre os indivíduos), desvio-padrão circular e intervalos de confiança. Adicionalmente, foi executado o teste de Rayleigh (z), que determina a significância do ângulo médio, testando se há sazonalidade nas fenofases (Morellato *et al.*, 2000). Esses dados permitiram verificar o padrão fenológico geral das espécies e testar, através dos intervalos de confiança (adaptado de Sokal e Rohlf, 1995 ; Tabela P), uma possível diferença entre o comportamento fenológico das espécies nos dois tipos de solo.

Em cada espécie, para testar possíveis relações entre fenofases nos dois tipos de solo (Gleissolo e Cambissolo), foram realizadas correlações de Spearman (Zar, 1999), utilizando o número de indivíduos em cada fenofase. De maneira semelhante, as relações entre fenofases

dentro de uma mesma espécie e classe de solo também foram testadas por correlações de Spearman, de maneira a verificar as possíveis sobreposições entre elas.

As diferenças nas frequências das categorias de intensidade das fenofases (de 0 a 3) entre os dois tipos de solo foram verificadas por teste de independência (teste G). Nesta análise, as fenofases botão e floração foram consideradas como uma só, assim como frutos imaturos e frutos maduros.

As possíveis relações entre fenofases e as variáveis climáticas (precipitação e temperaturas máximas, médias e mínimas) e comprimento do dia foram calculados através de coeficientes de correlação de Spearman (r_s), utilizando o número de indivíduos com presença de cada fenofase e os dados climáticos mensais. Para este teste foram utilizados os dados climáticos históricos (nove anos) e os dados do período de estudo. Como os valores dos coeficientes de correlação utilizando o clima histórico foram maiores que para o clima anual, optou-se por apresentar apenas os primeiros. Também, as relações com as temperaturas máxima, média e mínima foram semelhantes, sendo, portanto, apresentados apenas os resultados com a temperatura média. Correlações de Spearman foram executadas também para testar as relações entre fenofases e profundidade do lençol freático e entre o lençol e as variáveis climáticas, utilizando os valores quinzenais ($n=24$). Em todos os casos, as correlações foram feitas com o clima do período de estudo e com o clima de 1 a 4 meses anteriores à observação, para verificar se há um possível atraso da resposta das plantas aos fatores estudados. Para a média do número de meses de atraso para cada variável climática, foram somados os atrasos de todas as fenofases.

RESULTADOS

Variações no clima e lençol freático

No período de estudo, o clima seguiu um padrão semelhante ao dos últimos anos, com uma precipitação total de 2194 mm e uma temperatura média mensal de 21°C. O mês com maior precipitação foi fevereiro com 443,8 mm e o mês com menor precipitação foi agosto com 33,2 mm de chuva (Fig. 1C), a metade do normal para esse mês nos últimos anos. O mês mais quente foi março (média de 25,5°C) e o mês mais frio foi julho (média de 15,5°C).

A variação do lençol freático foi semelhante no Gleissolo e no Cambissolo, porém, no Cambissolo ele esteve mais profundo na maior parte do ano (Fig. 1C). A maior profundidade (menor quantidade de água disponível para as plantas) ocorreu nos meses de junho, julho e setembro (período de menor precipitação) e a menor profundidade (mais próximo da superfície) no mês de março, final da estação mais úmida (Fig. 1C).

Todas as variáveis climáticas foram relacionadas entre si: temperatura média com comprimento do dia do mês anterior ($r_s = 0,98$), precipitação com temperatura do mês anterior ($r_s = 0,92$), precipitação e comprimento do dia do mês anterior ($r_s = 0,93$; todos $P < 0,001$). A profundidade do lençol freático foi negativamente relacionada com a precipitação do mesmo mês, tanto no Gleissolo ($r_s = -0,82$), quanto no Cambissolo ($r_s = -0,79$; todos $P < 0,001$), indicando que quanto maior a precipitação, mais próximo o lençol freático da superfície do solo.

Padrões fenológicos gerais das espécies

Em *Alchornea glandulosa* todas as fenofases foram significativamente sazonais (Teste de Rayleigh: $P < 0,0001$) (Tab. 1). O pico de brotação ocorreu na época mais úmida e a queda

foliar ocorreu principalmente nos meses mais secos, de maio a junho (Fig. 2). A formação de botões florais ocorreu de março a julho e, logo após, abriram-se as flores (abril a junho; Fig. 2). Estas duas fenofases foram fortemente correlacionadas nos dois solos ($r_s = 0,85$ e $0,83$, $P < 0,0001$). A formação dos frutos ocorreu nos meses de maio a outubro e estes ficaram maduros nos meses de agosto a outubro (Fig. 2). A produção de frutos imaturos e a brotação ocorreram em períodos opostos (Gleissolo: $r_s = -0,67$; Cambissolo: $r_s = -0,71$; ambos $P < 0,001$). A concentração da fenofase (r) foi relativamente baixa para brotação e queda foliar (0,33 a 0,60), mostrando menor sincronia entre os indivíduos. Já nas fenofases reprodutivas, essa sincronia foi mais alta ($r > 0,82$) (Tab. 1).

As fenofases foram também significativamente sazonais para *Cytharexylum myrianthum* (Teste de Rayleigh: $P < 0,05$), com exceção da frutificação no Cambissolo. O período de brotação de outubro a maio, abrangendo a estação úmida e o início da mais seca, e o período de queda foliar foi de março a dezembro, abrangendo o final da estação úmida e a estação mais seca (Figs. 1B e 2). A formação de botões florais e flores abertas ocorreram em novembro e dezembro e foram fortemente correlacionadas (Gleissolo: $r_s = -0,99$; Cambissolo: $r_s = -0,66$; $P < 0,001$). A formação de frutos ocorreu nos meses de dezembro a fevereiro e a maturação foi em janeiro e fevereiro (Fig. 2). A sincronia entre os indivíduos foi a mais alta das três espécies ($r > 0,5$), sugerindo que *C. myrianthum* tem menor variação intraespecífica na ocorrência das fenofases (Tab. 1).

Senna multijuga também apresentou todas as fenofases sazonais (Teste de Rayleigh: $P < 0,01$). A brotação teve pico de setembro a janeiro e a queda foliar foi de junho a agosto. A formação de botões florais ocorreu de dezembro a março, seguida pela abertura das flores de fevereiro a março, aproximadamente na mesma época ($r_s = 0,47$ em ambos os solos; $P < 0,05$). Os frutos começaram a ser produzidos em março, estendendo-se até maio e o período de maturação e dispersão das sementes foi registrado até outubro (Fig. 2). A sincronia na

brotação e na queda foliar foi bastante baixa ($0,09 < r < 0,36$), mas foi elevada para botões, flores, frutos imaturos e frutos maduros ($r > 0,72$) (Tab. 1).

Padrões fenológicos nos dois tipos de solo

Para as três espécies, todas as fenofases foram correlacionadas ($0,51 \leq r_s \leq 1,00$; $P < 0,05$) entre os dois tipos de solo; por exemplo, a brotação no Cambissolo foi correlacionada com a brotação no Gleissolo e assim por diante. No entanto, houve variações na duração (número de observações), data média e intensidade (frequência das categorias) das fenofases nos dois tipos de solo (Tab. 1; Fig. 2).

Em *A. glandulosa* as fenofases foram mais longas e/ou mais indivíduos apresentaram a fenofase (maior número de observações) no Gleissolo que no Cambissolo (Tab. 1). O pico (ângulo médio) não diferiu significativamente (sobreposição dos intervalos de confiança) entre os dois tipos de solo (Tab. 1). As frequências das intensidades (0 a 3) das fenofases nos dois tipos de solo foram distintas para brotação ($G= 28,11$; $GL=2$; $P < 0,0001$), queda foliar ($G= 37,67$; $GL=2$; $P < 0,0001$) e frutificação ($G= 18,67$; $GL=2$; $P < 0,0001$). As maiores intensidades da brotação (categorias 2 e 3), e da frutificação (categorias 3) ocorreram no Cambissolo, enquanto que na queda foliar, a maior frequência das categorias 2 e 3 foram encontradas no Gleissolo.

Em *C. myrianthum*, a duração de todas as fenofases (exceto a brotação) foi maior no Cambissolo. Os picos de queda foliar e floração foram 23 dias antecipados no Gleissolo em relação ao Cambissolo, enquanto as demais fenofases não diferiram nos dois tipos de solo. Queda foliar e floração intensas (categoria 3) foram mais frequentes em Gleissolo que Cambissolo (respectivamente, $G= 14,24$; $GL=2$; $P = 0,0008$ e $G= 5,25$; $GL=1$; $P = 0,02$). Já as frequências de intensidades da brotação e frutificação não foram distintas nos dois tipos de solo ($P > 0,05$).

A duração da brotação e queda foliar em *S. multijuga* foi maior no Gleissolo, enquanto que as demais fenofases foram mais extensas no Cambissolo. Os picos de todas as fenofases não diferiram entre as duas classes de solo. A frutificação foi mais intensa (maior frequência da categoria de intensidade 3) no Cambissolo ($G= 8,19$; $GL=2$; $P = 0,01$). As frequências de intensidade das demais fenofases não diferiram entre os dois tipos de solo ($P > 0,05$).

Relação entre a fenologia, clima e profundidade do lençol freático

Os eventos fenológicos das três espécies relacionaram-se com o comprimento do dia, o clima e a profundidade do lençol freático e tais relações seguiram um mesmo padrão nos dois tipos de solo (Tab. 2). No geral, as correlações com o comprimento do dia (valor médio de $r_s= 0,70$), temperatura ($r_s= 0,71$) e precipitação ($r_s= 0,69$) foram mais fortes que com a profundidade do lençol freático ($r_s= 0,52$). As correlações das fenofases com as variáveis climáticas e edáficas sugerem um atraso na resposta das plantas a tais variáveis. A média do número de meses de atraso para cada variável climática foi : 1,5 meses para comprimento do dia, 1,9 para temperatura, 1,7 para precipitação e 1,8 para o lençol freático.

Em *A. glandulosa* a brotação foi positivamente relacionada com o aumento de comprimento do dia, temperatura e precipitação, enquanto para as demais fenofases a relação foi, em geral, inversa. As fenofases apresentaram correlações com a profundidade do lençol freático, sendo a direção e intensidade destas relações variáveis entre as fenofases (Tab. 2).

Para *C. myrianthum*, brotação e queda foliar foram as fenofases que apresentaram correlações mais fortes com as variáveis climáticas, seguidas de frutos maduros (apenas no gleissolo) e frutos imaturos. Floração e botões florais tiveram maior número de correlações no Gleissolo que no Cambissolo (Tab. 2). As correlações dos eventos fenológicos com o lençol freático não foram significativas na maioria dos casos, mas para brotação e queda foliar foram encontrados os maiores coeficientes de correlação (Tab. 2).

Em *S. multijuga*, brotação foi negativamente relacionada com comprimento do dia, temperatura e precipitação, enquanto que para as demais fenofases, a relação foi positiva (Tab. 2). Esta foi a espécie que apresentou mais correlações significativas e maiores coeficientes de correlação entre as fenofases e a profundidade do lençol freático, sendo os valores mais altos verificados em relação à brotação (Tab. 2).

DISCUSSÃO

Padrões fenológicos e clima

Mesmo crescendo sob as mesmas condições climáticas, as três espécies apresentaram características fenológicas distintas, o que pode ser explicado pelas diferenças filogenéticas e pela história evolutiva das mesmas (Wright e Calderon, 1995 ; Fenner, 1998; Aguilar *et al.*, 2006). *Alchornea glandulosa* e *Senna multijuga* possuem uma distribuição geográfica mais ampla, estendo-se por grande parte da América do sul e parte da América Central , enquanto que *Cytherexylum myrianthum* é restrita à Floresta Ombrófila Densa brasileira (Lorenzi, 1992 ; Rodrigues *et al.*, 2005 ; Rocca e Sazima, 2006). Sendo assim, estas espécies possuem diferentes histórias evolutivas, que são fortes determinantes de seus padrões fenológicos (Wright e Calderón, 2005). Também, a falta de sincronia das fenofases entre as diferentes espécies é esperada, uma vez que não há uma pronunciada sazonalidade no regime hídrico, o que poderia restringir algumas fenofases em alguns períodos do ano (Günter *et al.*, 2008).

A ocorrência de sazonalidade (ângulo médio significativo na análise circular) em todas as fenofases nas três espécies mostrou que elas têm padrões fenológicos bem definidos, todas com padrão anual segundo Newstrom *et al.* (1994), que é caracterizado pela ocorrência do evento fenológico uma vez ao ano. O valor de *r*, contudo, foi relativamente baixo nas fenofases vegetativas, mostrando que estas não são muito concentradas em torno de uma data

média, ocorrem com uma amplitude maior (maior duração) e são, portanto assíncronas. Apenas para *C. myrianthum*, que é uma espécie decídua, a queda de folhas concentrou-se em um determinado período do ano (junho a agosto). Já para as fenofases reprodutivas, nas três espécies, os valores altos de r mostraram que tratam-se de espécies com sincronia fenológica nos dois tipos de solo. As fenofases reprodutivas ocorrem num período curto. No caso de *C. myrianthum*, este período coincidiu com o verão, o que, indiretamente favorece a polinização e dispersão nesta que é época onde a disponibilidade de animais polinizadores e dispersores é maior (Van Schaik *et al.*, 1993). Isto garantiria a reprodução e chegada de sementes ao solo num período propício ao estabelecimento das plantas (Van Schaik *et al.*, 1993 ; Marques e Oliveira, 2008).

A brotação e a queda foliar foram consideradas sazonais neste estudo, para as três espécies avaliadas. Em florestas com disponibilidade hídrica constante, sem estação seca severa, a queda foliar e brotação contínuas são estratégias mais vantajosas para a planta, por permitir translocação de nutrientes (a partir da folha velha) e taxa fotossintética constantes durante todo o ano (Jackson, 1978). No entanto, a sazonalidade aqui observada pode ser interpretada como uma forma de maximização da fotossíntese nas folhas novas durante a estação mais úmida, compensando a baixa longevidade das folhas (Kikuzawa, 1995). *C. myrianthum*, que é uma espécie decídua, apresentou um comportamento de queda foliar típico deste grupo (Callado *et al.*, 2001 ; Shrestha *et al.*, 2007), permanecendo sem folhas por alguns meses, seguido por um período prolongado de produção de novas folhas.

Embora todas as espécies tenham apresentado sazonalidade na floração, esta fenofase transcorreu de maneiras distintas entre elas. O pico de floração no período mais úmido observado em *C. myrianthum*, também foi encontrado em outros locais para esta espécie (Rocca e Sazima, 2006). Por outro lado, *A. glandulosa* floresceu na época mais seca. Esse comportamento pode ser explicado pela rápida redução da transpiração e reidratação dos

tecidos internos, promovidos pela queda das folhas, estimulando a formação das flores (Reich e Borchert, 1984). Além disso, a floração pode ocorrer como uma consequência do brotamento, nas espécies que formam estruturas reprodutivas em ramos em desenvolvimento Bach (2002). Haveria uma otimização no gasto de energia com a produção de folhas e flores em épocas próximas, pois a transferência da energia assimilada direto para os órgãos de crescimento é menos onerosa que a estocagem (van Schaik *et al.*, 1993 ; Wright, 1996).

A maior parte da frutificação de *A. glandulosa* e *S. multijuga* ocorreu no período mais seco. Esse padrão não é usual para espécies arbóreas tropicais (Günter *et al.*, 2008 , no Equador ; Bach, 2002, na Austrália e Grombone-Guaratini e Rodrigues, 2002, no sudeste do Brasil). No entanto, por ser uma espécie anemocórica e decídua, a frutificação de *S. multijuga* durante a estação seca, seria facilitada pelo vento (De Lampe *et al.*, 1992 ; Knowles e Parrotta, 1995 ; Morellato e Leitão-Filho, 1996). Já as espécies com frutos carnosos (como *C. myrianthum*) tendem a frutificar na estação úmida, pois os maiores níveis de umidade facilitam o desenvolvimento desse tipo de fruto (White, 1994). Plantas com frutos e sementes maiores têm o período de frutificação mais longo, pois precisam de mais tempo para o amadurecimento dos frutos (Castro-Díez *et al.*, 2003). Porém, *S. multijuga*, que possui sementes pequenas, foi a espécie que apresentou o período de frutificação mais longo, talvez por possuir sementes anemocóricas, que permanecem na árvore por mais tempo enquanto são dispersas pelo vento.

As relações entre fenofases e clima mostraram um atraso de 1,5 a 1,7 meses nas três espécies. É comum a ocorrência de atrasos nas respostas das plantas aos fatores climáticos. Após o estímulo, a planta pode demorar até alguns meses para emitir brotos, botões e frutos ou para liberar as folhas senescentes (Marques *et al.*, 2004). A média desses atrasos varia bastante entre áreas florestais tropicais: até oito meses de atraso em floresta montana no Equador (Günter *et al.*, 2008), até 11 meses em floresta úmida também no Equador (Bendix

et al., 2006) e até seis meses em floresta no sul do Brasil (Marques *et al.*, 2004). Portanto, neste estudo, o atraso de resposta às fenofases foi relativamente baixo.

Em relação às variáveis climáticas, o comprimento do dia e temperatura foram os fatores mais relacionados com todas as fenofases. Essas duas variáveis, no entanto, são altamente correlacionadas e devem ser tratadas juntas nas relações com a fenologia. A variação sazonal do comprimento do dia é o único sinal ambiental que é constante de ano para ano, portanto, é considerado o fator mais importante para desencadear as fenofases em espécies tropicais (Morellato *et al.*, 2000 ; Marques *et al.*, 2004 ; Borchert *et al.*, 2005). O comprimento do dia é uma função da declinação solar (Borchert *et al.*, 2005) e é fortemente relacionado com a temperatura. Como a região de estudo encontra-se no limite sul dos trópicos, essa variação é maior, podendo influenciar ainda mais a fenologia do que nas florestas localizadas nas latitudes menores (Marques *et al.*, 2004). Outros estudos também encontraram relações entre o comportamento fenológico e a precipitação (Reich e Borchert, 1984 ; Wright e van Schaik, 1994). Bach (2002), em floresta sazonal, encontrou fortes relações entre precipitação e o pico da frutificação sugerindo que a disponibilidade de água é o principal determinante da frutificação. Adicionalmente, Seghieri *et al.* (1995) sugeriram que nos casos em que a mudança foliar (brotação e queda foliar) é contínua, há um maior grau de independência da precipitação. No presente estudo, as três espécies tiveram brotação e queda foliar sazonais, o que pode explicar as fortes correlações com a precipitação.

O lençol freático foi, aparentemente, um fator secundário no desencadeamento das respostas fenológicas das espécies estudadas. As respostas diferenciadas das espécies em relação a este fator podem ter ocorrido devido às diferentes profundidades das raízes de cada espécie. Por exemplo, *C. myrianthum*, que teve o menor número de correlações com o lençol freático, talvez tenha raízes mais profundas que alcançam água até quando o lençol encontra-se mais baixo. As correlações com botões florais foram na sua maioria negativas, indicando

que quanto mais profundo o lençol, menor a presença dos botões. Embora a profundidade do lençol freático possa influenciar fortemente a fenologia de plantas situadas em regiões tropicais secas (Hsiao *et al.*, 1976 ; Seghieri *et al.*, 1995 ; Do *et al.*, 2005) em florestas tropicais úmidas este fator parece ter uma importância menor no comportamento fenológico.

Fenologia e características do solo

Foram observadas diferenças nas datas de início, na duração, nos picos e nas intensidades das fenofases de plantas crescendo em diferentes tipos de solo. Estes resultados, pela primeira vez, adicionam as condições edáficas como fatores que também influenciam a fenologia de espécies arbóreas tropicais, além dos fatores climáticos previamente descritos (Günter *et al.*, 2008).

O comportamento das espécies (número de ocorrências de cada fenofase e a intensidade) frente aos diferentes tipos de solo ocorreu de maneira diversificada. Isto pode ser resultado de diferentes fatores, como por exemplo, espécies com crescimento mais rápido, podem esgotar os recursos do solo mais rapidamente que as espécies com menor taxa de crescimento (Castro-Díez *et al.*, 2003). Em duas das espécies aqui avaliadas (*A. glandulosa* e *C. myrianthum*), o maior número de ocorrências das fenofases no Gleissolo do que no Cambissolo e a maior intensidade de queda foliar no Gleissolo podem ter ocorrido porque os indivíduos em Gleissolo tiveram as fenofases mais amplas ao longo do ano do que os indivíduos em Cambissolo. Embora as correlações da fenologia com as variações sazonais do lençol freático tenham sido relativamente fracas, uma possível explicação para o ocorrido são as diferenças marcantes na profundidade total do lençol. No Gleissolo, o lençol freático esteve sempre mais próximo da superfície, disponibilizando água continuamente para as plantas, possibilitando a ocorrência das fenofases por períodos mais longos. Essa hipótese pode explicar também a maior quantidade de flores e frutos para *A. glandulosa* e *C. myrianthum* no Gleissolo. Já, para *S. multijuga*, ocorreu o oposto para a frutificação, sendo no Cambissolo a

maior quantidade de frutos produzidos. É possível que, o fato do solo apresentar maiores teores de nutrientes poderia favorecer a produção de frutos nesta espécie.

Os resultados mostraram, pela primeira vez, que embora o clima regule fortemente a fenologia de árvores tropicais, diferenças nas características do solo podem alterar os padrões fenológicos em algumas espécies, o que deve ser levado em consideração nas interpretações dos padrões fenológicos das florestas tropicais.

LITERATURA CITADA

Aguilar R, Ashworth L, Galetto L, Aizen M. 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology Letters* **9**: 968-980.

Bach CS. 2002. Phenological patterns in monsoon rainforests in the Northern Territory, Australia. *Austral Ecology* **27**: 477-489.

Bencke CSC, Morellato LPC. 2002. Estudo comparativo da fenologia de nove espécies arbóreas em três tipos de Floresta Atlântica no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* **25**: 237-248.

Bendix J, Homeier J, Cueva Ortiz E, Emck P, Breckle SW, Richter M, Beck E. 2006. Seasonality of weather and tree phenology in a tropical evergreen mountain rain forest. *International Journal of Biometeorology* **50**: 370-384.

Borchert R. 1992. Computer simulation of tree growth periodicity and climatic hydroperiodicity in tropical forests. *Biotropica* **24**: 385-395.

Borchert R. 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology* **75**: 1437-1449.

Borchert R, Robertson K, Schwartz MD, Williams-Linera G. 2005. Phenology of temperate trees in tropical climates. *International Journal of Biometeorology* **50**: 57-65.

Bruel BO. 2006. *Restauração da Floresta Atlântica no litoral do Paraná: avaliação de dois sistemas de plantio e da regeneração natural.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil.

Brun LA, Corff JL, Maillet J. 2003. Effects of elevated soil copper on phenology, growth and reproduction of five ruderal plant species. *Environmental Pollution* **122**: 361–368.

Callado CH, Silva Neto SJ, Scarano FR, Barros CF, Costa CG. 2001. Anatomical features of growth rings in flood-prone trees of the Atlantic rain forest in Rio de Janeiro, Brazil. *IAWA Journal* **22**: 29-42.

Castro-Díez P, Montserrat-Martí G, Cornelissen JHC. 2003. Trade-offs between phenology, relative growth rate, life form and seed mass among 22 Mediterranean woody species. *Plant Ecology* **166**: 117-129.

Chapman CA, Wrangham RW, Chapman LJ, Kennard DK, Zanne AE. 1999. Fruit and flower phenology at two sites in Kibale National Park, Uganda. *Journal of Tropical Ecology* **15**: 189-211.

De Lampe MG, Bergeron Y, McNeil R, Leduc A. 1992. Seasonal flowering and fruiting patterns in tropical semiarid vegetation of north-eastern Venezuela. *Biotropica* **24**: 64–76.

Do FC, Goudiaby VA, Gimenez O, Diagne AL, Diouf M, Rocheteau A, Akpo LE. 2005. Environmental influence on canopy phenology in the dry tropics. *Forest Ecology and Management* **215**: 319-328.

Embrapa. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* Rio de Janeiro : Centro Nacional de Pesquisa de Solos.

Fenner M. 1998. The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **1**: 78–91.

Ferretti AR, Britez RM. 2006. A restauração da Floresta Atlântica no litoral do Estado do Paraná: os trabalhos da SPVS. In: Galvão APM, Porfírio-da-Silva V, eds. *Restauração Florestal: fundamentos e estudos de caso.* Colombo: Embrapa Florestas, 87-102.

Fournier LA. 1976. Observaciones fenológicas en el bosque húmedo de pré-montano de San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. *Turrialba* **26**: 54-59.

Frankie GW, Baker HG, Opler PA. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* **62**: 881-913.

Hsiao TC, Acevedo E, Fereres E, Henderson DW. 1976. Water stress, growth and osmotic adjustment. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* **273**:479-500.

Jackson JF. 1978. Seasonality of flowering and leaf-fall in Brazilian Subtropical Lower Montane Moist Forest. *Biotropica* **10**:38-42.

Goulart MF, Lemos Filho JP, Lovato MB. 2005. Phenological variation within and among populations of *Plathymenia reticulata* in Brazilian Cerrado, Atlantic Forest and transitional sites. *Annals of Botany* **96**: 445–455.

Grombone-Guaratini MT, Rodrigues RR. 2002. Seed bank and seed rain in a seasonal semi-deciduous forest in south-eastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology* **18**:759-774.

Günter S, Stimm B, Cabrera M, Diaz ML, Lojan M, Ordoñez E, Richter M, Weber M. 2008. Tree phenology in montane forests of southern Ecuador can be explained by precipitation, radiation and photoperiodic control. *Journal of Tropical Ecology* **24**: 247-258.

Kikuzawa K. 1995. Leaf phenology as an optimal strategy for carbon gain in plants. *Canadian Journal of Botany* **73**: 158–163.

Knowles OH, Parrotta JA. 1995. Amazonian forest restoration: an innovative system for native species selection based on phenological data and field performance indices. *Commonwealth Forestry Review* **74**:230–252.

Kovach Computing Services. 2003. Oriana version 2.0 for windows. Anglesey, Wales.

Lieberman D. 1982. Seasonality and phenology in a dry tropical forest in Ghana. *Journal of Ecology* **70**: 791-806.

Lorenzi, H. 1992. Árvores brasileiras, vol. I. Nova Odessa: Plantarum.

Marques MCM, Oliveira PEAM. 2004. 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* **27**: 713-723.

Marques MCM, Roper JJ, Salvalaggio, APB. 2004. Phenological patterns among plant life forms in a Subtropical Forest in Southern Brazil. *Plant Ecology* **173**: 203-213.

Marques MCM, Oliveira PEAM. 2008. Seasonal rhythms of seed rain and seedling emergence in two tropical rain forests in southern Brazil. *Plant Biology* **10**: 596 – 603.

Martin-Gajardo IS, Morellato LPC. 2003. Inter and intraspecific variation on reproductive phenology of Atlantic forest Rubiaceae: ecology and phylogenetic constraints. *Revista de Biologia Tropical* **51**: 691-698.

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

Morellato PC, Leitao HF. 1996. Reproductive phenology of climbers in a south-eastern Brazilian forest. *Biotropica* **28**: 180–191.

Morellato LPC, Talora DC, Takahasi A, Bencke CC, Romera EC, Zipparro VB. 2000. Phenology of Atlantic Rain Forest trees: a comparative study. *Biotropica* **32**: 811-823.

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

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

Reich PB. 1995. Phenology of tropical forests – patterns, causes, and consequences. *Canadian Journal of Botany* **73**: 164–174.

Rocca MA, Sazima M. 2006. The dioecious, sphingophilous species *Citharexylum myrianthum* (Verbenaceae): Pollination and visitor diversity. *Flora* **201**: 440–450.

Rodrigues SR, Flores AS, Miotto STS, Baptista LRM. 2005. O gene (Leguminosae, Caesalpinoidea) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* **19**: 1-16.

Ryser P, Sauder WR. 2006. Effects of heavy-metal-contaminated soil on , growth, phenology and biomass turnover of *Hieracium piloselloides*. *Environmental Pollution* **140**: 52-61.

Schongart J, Piedade MTF, Ludwigshausen S, Horna V, Worbes M. 2002. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology* **18**: 581-597.

Secco RS. 2004. *Flora Neotropica*. Monograph 93. Alchorneae (Euphorbiaceae). 194 p.

Seghieri J, Floret CH, Pontanier R. 1995. Plant phenology in relation to water availability: herbaceous and woody species in the savannahs of northern Cameroon. *Journal of Tropical Ecology* **11**: 237– 254.

Shrestha B, Uprety Y, Nepal K, Tripathi S, Jha P. 2007. Phenology and water relations of eight woody species in the Coronation Garden of Kirtipur, central Nepal. *Himalayan Journal of Sciences* **4**: 49-56.

Sokal RR, Rohlf FJ. 1995. *Biometry*. San Francisco: Freeman.

Sperens U. 1997. Long-term variation in, and effects of fertiliser addition on, flower, fruit and seed production in the tree *Sorbus aucuparia* (Rosaceae). *Ecography* **20**: 521-534.

Van Schaik CP, Terborgh JW, Wright SJ. 1993. The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology and Systematics* **24**: 353–77.

Walthall S, Ingram S. 1984. The investigation of aquifer parameters using multiple piezometers. *Ground Water* **22**: 25–30.

Wheelwright NT. 1986. A seven-year study of individual variation in fruit production in tropical bird-dispersed tree species in the family Lauraceae. In: Estrada A, Fleming TH, eds. *Frugivores and Seed Dispersal*. Amsterdam: W. Junk, 19-35.

White LJT. 1994. Patterns of fruit-fall phenology in the Lope Reserve, Gabon. *Journal of Tropical Ecology* **10**: 289–312.

Wielgolaski FE. 2001. Phenological modifications in plants by various edaphic factors. *International Journal of Biometeorology* **45**: 196–202.

Wright SJ, Van Schaik CP. 1994. Light and the phenology of tropical trees. *The American Naturalist* **143**: 193-199.

Wright SJ, Calderon O. 1995. Phylogenetic patterns among tropical flowering phenologies. *Journal of Ecology* **83**:937–948.

Wright SJ. 1996. Phenological responses to seasonality in tropical forest plants. In: Mulkey SS, Chazdon RL, Smith AP, eds. *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. New York: Chapman & Hall, 440–60.

Zar JH. 1999. *Biostatistical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall.

- 1 **Tab 1.** Resultado da análise circular do comportamento fenológico de três espécies arbóreas, em duas classes de solo, no sul do Brasil. Todos os
- 2 ângulos médios (u) são significativos pelo teste de Rayleigh ($P < 0,05$), com exceção de †.

	Tipo de solo (n° de indivíduos)	<i>Alchornea glandulosa</i>		<i>Cytharexylum myrianthum</i>		<i>Senna multijuga</i>	
		Gleissolo (32)	Cambissolo (24)	Gleissolo (31)	Cambissolo (30)	Gleissolo (31)	Cambissolo (30)
BROTAÇÃO	Observações	339	289	386	368	511	475
	u (95% IC)	10,4° (358,5-22,4)	34,4° (22,3-46,5)	345,3° (337,8-352,7)	353,6° (345,9-1,29)	315,5° (304,7-326,2)	316,9° (307,0-326,7)
	Data média	11 Jan	4 Fev	16 Dez	24 Dez	16 Nov	17 Nov
	Desvio padrão circular	80,7°	85,9°	67,1°	67,3°	86,6°	82,1°
	Comprimento (r)	0,35	0,37	0,50	0,50	0,32	0,36
QUEDA FOLIAR	Observações	468	145	283	252	595	471
	u (95% IC)	175° (164,0-186,0)	185,2° (175,5-194,9)	130,2° (125,0-135,5)	153,0° (147,9-158,2)	87,1° (49,6-124,6)	97,5° (65,2-129,8)
	Data média	26 Jun	8 Jul	12 Mai	4 Jun	29 Mar	9 Abr
	Desv. pad,circular	85,9°	57,6°	45,4°	42,4°	126,7°	119,6°
	Comprimento (r)	0,32	0,60	0,73	0,76	0,09	0,11
BOTÕES FLORAIS	Observações	42	15	42	13	64	71
	u (95% IC)	134,7° (128,5-140,9)	132,1° (120,0-144,2)	315° (311,4-318,6)	321,9° (317,3-326,5)	34° (29,6-38,4)	32,1° (28,6-35,6)
	Data média	17 Mai	14 Mai	15 Nov	22 Nov	3 Fev	2 Fev
	Desv. pad,circular	20,6°	21,5°	11,8°	7,5°	18,1°	15,2°
	Comprimento (r)	0,94	0,93	0,98	0,99	0,95	0,96
FLOR ABERTA	Observações	39	13	24	4	64	71
	u (95% IC)	148,8° (143,9-153,8)	209,8° (136,3-154,6)	323,2° (319,7-326,6)	345°	57,9° (54,5-61,4)	54,2° (51,7-56,8)
	Data média	31 Mai	1 Ago	24 Nov	16 Dez	28 Fev	24 Fev
	Desv. pad,circular	14,9°	34,6°	8,64°	-	8,2°	8,1°
	Comprimento (r)	0,96	0,97	0,99	1	0,99	0,99
FRUTOS IMATUROS	Observações	111	20	14	5	31	63
	u (95% IC)	209,8° (203,4-216,2)	206,6° (192,7-220,5)	3,2° (353,6-12,7)	18° (4,0-32,1)	99,7° (94,1-105,4)	97,6° (92,4-102,9)
	Data média	1 Ago	4 Fev	3 Jan	18 Jan	11 Abr	9 Abr
	Desv. pad,circular	34,6°	31,8°	16,3°	11,2°	16°	21,3°
	Comprimento (r)	0,83	0,86	0,96	0,98	0,96	0,93
FRUTOS MADUROS	Observações	71	18	9	2	80	184
	u (95% IC)	246° (239-8-252,3)	240,3° (223,5-257,0)	26,8 (13,4-40,2)	30° †	177,3° (167,3-187,3)	187,7 (181,2-194,3)
	Data média	6 Set	1 Set	27 Jan	30 Jan	29 Jun	9 Jul
	Desv. pad,circular	26,8°	36,3°	17,1°	-	46°	45,9°
	Comprimento (r)	0,90	0,82	0,96	1	0,72	0,73

Tab. 2. Correlações de Spearman (r_s) entre as fenofases e as variáveis climáticas (C. Dia= comprimento do dia, Temp. média = temperatura média, Precip. = precipitação, Lençol= profundidade do lençol freático), para as três espécies nos dois tipos de solo na Reserva Natural do Rio Cachoeira. $P < 0,05$. ns = não significativo. (n) = Número de meses anteriores à observação fenológica onde houve correlação

		C. Dia	Temp. média	Precip.	Lençol
<i>Alchornea glandulosa</i>					
Brotação	Gleissolo	0.63 (0)	0.60 (0)	0.59 (0)	-0.44 (1,5)
	Cambissolo	0.68 (2)	0.67 (1)	0.64 (1)	-0.50 (1)
Queda foliar	Gleissolo	-0.80 (0)	0.67 (4)	-0.72 (0)	ns
	Cambissolo	-0.80 (1)	-0.84 (0)	-0.79 (0)	0.61 (0,5)
Botões florais	Gleissolo	-0.68 (0)	0.77 (3)	0.79 (4)	-0.59 (3)
	Cambissolo	0.68 (4)	0.75 (3)	0.75 (4)	-0.66 (3)
Floração	Gleissolo	-0.66 (0)	0.70 (4)	-0.55 (0)	-0,54 (3,5)
	Cambissolo	-0.59 (0)	0.65 (4)	0.57 (4)	-0,54 (4)
Frutos imaturos	Gleissolo	-0.83 (2)	-0.83 (1)	-0.81 (1)	0,42 (1)
	Cambissolo	-0.82 (1)	-0.82 (0)	-0.80 (0)	0,49 (0)
Frutos maduros	Gleissolo	-0.78 (3)	-0.78 (2)	-0.69 (2)	ns
	Cambissolo	-0.75 (3)	-0.72 (0)	-0.66 (2)	0,49 (1,5)
<i>Cytharexylum myrianthum</i>					
Brotação	Gleissolo	0.84 (0)	-0.87 (4)	0.70 (0)	0,54 (4)
	Cambissolo	0.88 (0)	-0.86 (4)	0.79 (0)	0,51 (4)
Queda foliar	Gleissolo	0.83 (4)	0.88 (3)	0.92 (4)	-0.48 (2)
	Cambissolo	-0.86 (0)	0.83 (4)	0.79 (4)	-0,60 (4)
Botões florais	Gleissolo	0.45 (0)	-0.56 (4)	-0.46 (3)	ns
	Cambissolo	ns	-0.43 (4)	ns	0,48 (1,5)
Floração	Gleissolo	0.46 (0)	-0.56 (4)	-0.44 (3)	ns
	Cambissolo	ns	ns	ns	ns
Frutos imaturos	Gleissolo	0.61 (1)	0.53 (0)	0.62 (1)	ns
	Cambissolo	0.56 (1)	0.53 (0)	0.53 (1)	-0,43 (0)
Frutos maduros	Gleissolo	0.64(1)	0.65 (0)	0.65 (1)	ns
	Cambissolo	ns	ns	ns	ns
<i>Senna multijuga</i>					
Brotação	Gleissolo	-0.84 (4)	-0.89 (3)	-0.85 (3)	0,60 (3,5)
	Cambissolo	-0.81 (4)	-0.93 (4)	-0.86(4)	0,66 (3,5)
Queda foliar	Gleissolo	ns	ns	ns	ns
	Cambissolo	ns	ns	ns	-0,43 (3,5)
Botões florais	Gleissolo	0.67 (2)	0.70 (0)	0.70 (1)	-0.51 (0)
	Cambissolo	0.67 (2)	0.70 (0)	0.70 (1)	-0,55 (0)
Floração	Gleissolo	0.53(2)	0.56 (1)	0.56 (2)	-0,50 (0)
	Cambissolo	0.53 (2)	0.56 (1)	0.56 (2)	-0,51 (1)
Frutos imaturos	Gleissolo	0.54 (3)	0.61 (2)	0.61 (3)	-0,50 (1,5)
	Cambissolo	0.50 (4)	0.45 (2)	0.48 (3)	-0,58 (1,5)
Frutos maduros	Gleissolo	-0.85 (0)	-0.84 (0)	-0.91 (0)	0,52 (0)
	Cambissolo	-0.84 (1)	-0.84 (0)	-0.92 (0)	0,49 (0,5)

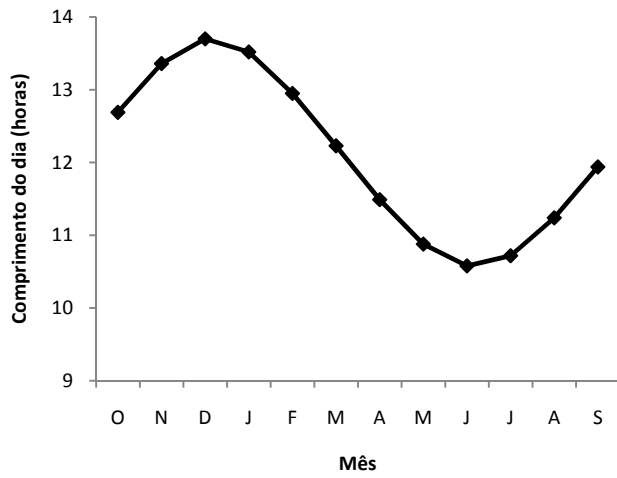
Legendas das figuras

Fig 1. a. Comprimento do dia na latitude do local de estudo. **b.** Precipitação e temperatura média para estação meteorológica de Antonina, PR do período de 1999 a 2008. **c.** Profundidade média do lençol freático nas duas áreas de estudo na Reserva Natural do rio Cachoeira, sul do Brasil e precipitação do período de estudo.

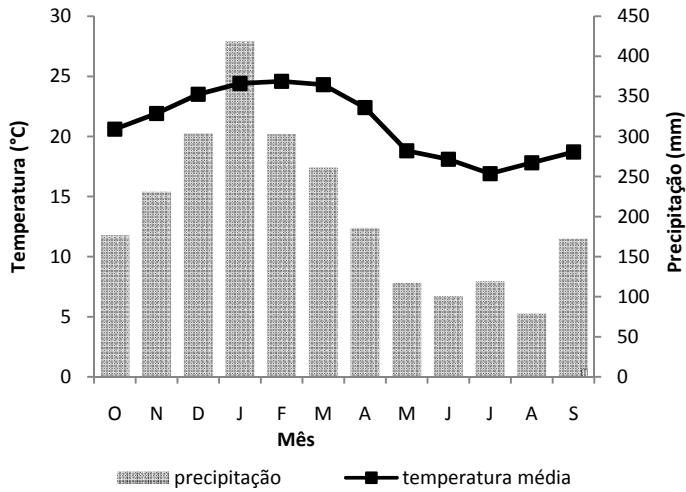
Fig. 2. a-f. Fenologia (brotação, queda foliar, botões florais, flores, frutos imaturos e frutos maduros) das três espécies nos dois tipos de solo na Reserva Natural do Rio Cachoeira em Antonina, sul do Brasil.

Figura 1

A)



B)



C)

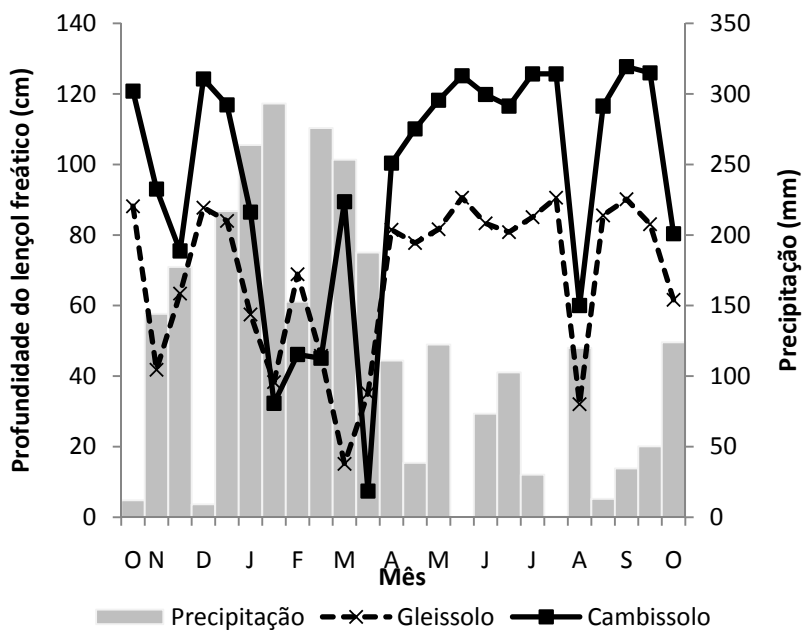
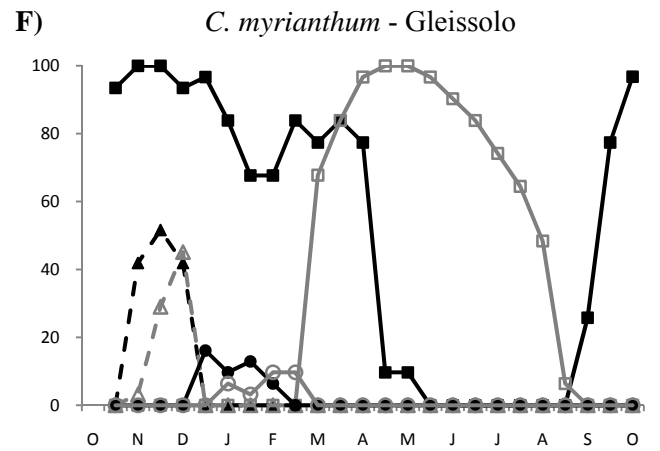
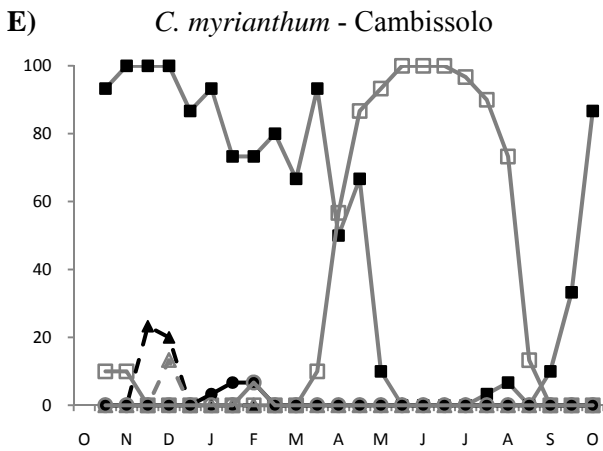
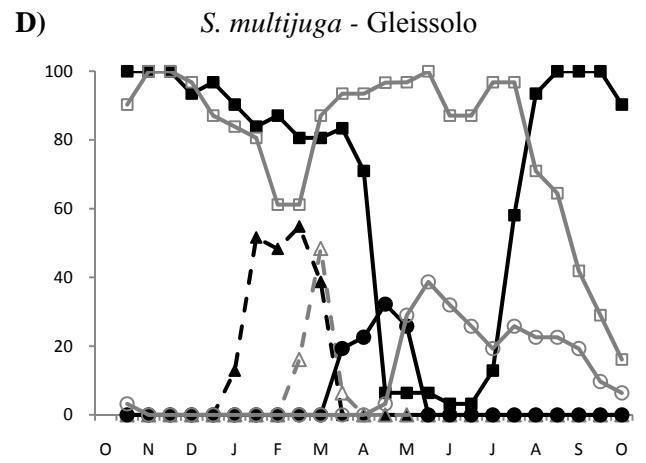
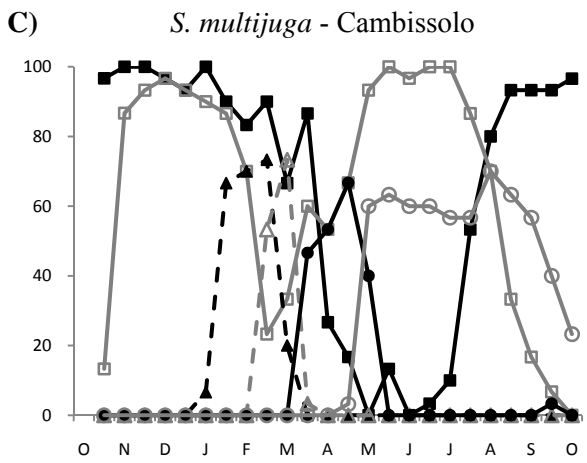
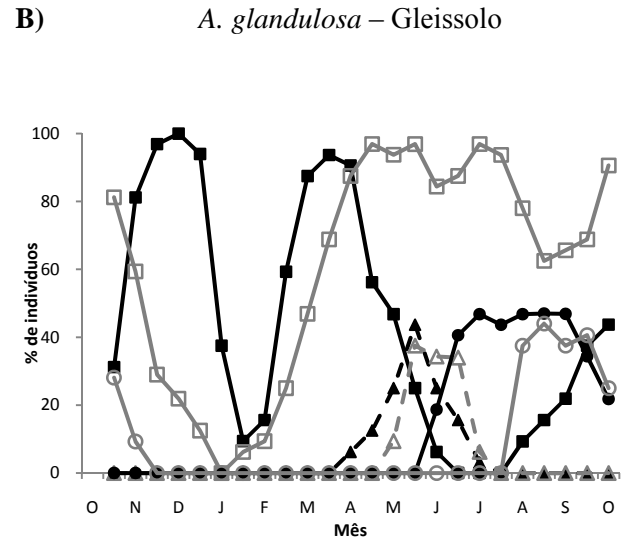
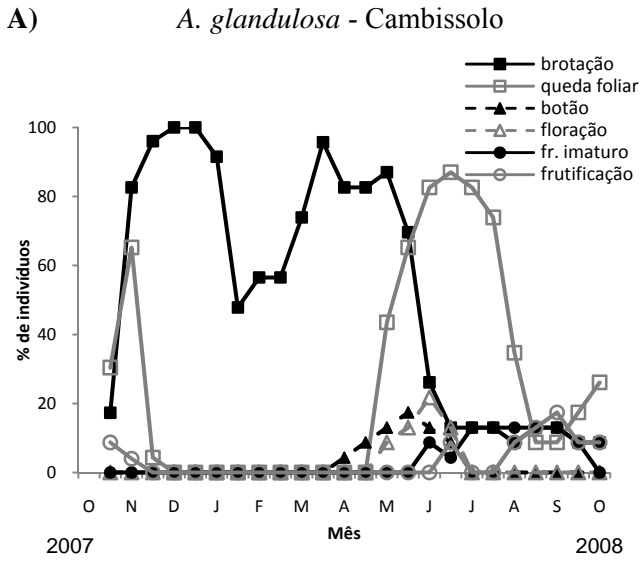


Figura 2



CAPÍTULO II*

CRESCIMENTO RADIAL E FENOLOGIA DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS TROPICAIS, EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO

* Capítulo preparado de acordo com as normas da revista *Trees – Structure and Function*

Crescimento radial e fenologia de duas espécies arbóreas tropicais, em diferentes tipos de solo

FERNANDA C. G. CARDOSO, MARCIA C. M. MARQUES, RENATO MARQUES, PAULO C. BOTOSSO

Laboratório de Ecologia Vegetal; Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná; Caixa Postal 19031; 81531-980 Curitiba - PR – Brazil.

Resumo

O crescimento e a distribuição das atividades reprodutivas e vegetativas das plantas ao longo do tempo dependem de fatores como clima e comprimento do dia. Para verificar se também as características hídricas e nutricionais do solo podem influenciar nos padrões fenológicos de árvores tropicais, foram realizadas leituras do crescimento do tronco e observações fenológicas (brotação, queda foliar, floração e frutificação), quinzenalmente e pelo período de um ano, de 122 árvores de duas espécies (*Senna multijuga* e *Cytherexylum myrianthum*) de Floresta Atlântica no sul do Brasil. Procurou-se saber se plantas crescendo em diferentes tipos de solo apresentam diferenças no crescimento e se este está relacionado com as demais fenofases. O comportamento fenológico e o crescimento transcorreram de forma diferenciada nas duas espécies. Enquanto o incremento acumulado de *C. myrianthum* foi maior no Cambissolo, em *Senna multijuga* não houve diferenças nas taxas de crescimento nas duas situações. Nas duas espécies, o crescimento foi relacionado positivamente com as fenofases brotação e frutificação ($0,44 < r_s < 0,82$), com o comprimento do dia ($0,86 < r_s < 0,93$), precipitação ($0,82 < r_s < 0,93$), temperatura média ($0,80 < r_s < 0,90$) e profundidade do lençol freático ($0,52 < r_s < 0,66$). Esses resultados sugerem, pela primeira vez, que o crescimento é regulado, primariamente pelo clima, mas que diferenças nutricionais e hídricas do solo podem moldar as taxas de incremento de biomassa, alterando os padrões fenológicos das espécies de árvores tropicais.

Palavras-chave: ritmos sazonais, crescimento radial, diâmetro do tronco, clima, solo, Floresta Atlântica

Introdução

A distribuição das atividades reprodutivas e vegetativas de espécies arbóreas tropicais é principalmente regulada pelo comprimento do dia (Wright e Van Schaik 1994 ; Borchert et al. 2005), temperatura (Morellato et al. 2000) e precipitação (Lieberman 1982 ; Reich e Borchert 1984). Outros fatores, no entanto, como características do solo e relações hídricas da planta também podem interferir no comportamento fenológico e no crescimento das plantas. Nas florestas tropicais, as estações do ano são geralmente definidas por mudanças no estado hídrico e os eventos do ciclo de vida podem ocorrer em resposta à disponibilidade de água (Fenner 1998).

O tronco das árvores sofre contração e expansão conforme a água é utilizada e armazenada pela planta. A taxa de crescimento em diâmetro do tronco pode variar entre espécies e entre indivíduos de uma mesma espécie e, ainda, devido a fatores como idade, estação do ano e condições microclimáticas (Ferri 1979). Árvores tropicais podem apresentar considerável variação de diâmetro do tronco até mesmo ao longo do dia (Sheil 2003). Em florestas úmidas, estas variações parecem ser anualmente cíclicas e estar relacionadas com o padrão de precipitação e do estado hídrico do solo (Sheil 1995; Pélissier e Pascal 2000 ; Silva et al. 2002).

A água é muitas vezes considerada o fator ambiental mais importante que afeta o crescimento e a distribuição das árvores (Hinckley et al. 1991). As fenofases podem ser fortemente relacionadas com as variações sazonais no estado hídrico da planta, que pode variar devido à disponibilidade de água no solo em conjunto com outros fatores, tais como estrutura e deciduidade das folhas, densidade e capacidade de armazenamento de água da madeira e profundidade e densidade do sistema radicial (Borchert 1994). A queda de folhas geralmente segue a época de menor disponibilidade de água, e após a reidratação seguem as fenofases floração e brotação (Borchert 1994).

Da mesma forma, em florestas com regime cíclico de inundação, as árvores podem demonstrar comportamento periódico engatilhado pelo regime de enchentes, sendo que o maior incremento normalmente ocorre no período sem inundação (Schongart et al. 2002). A inundação causa queda de folhas que leva a um período de dois meses de dormência cambial e à formação de um anel anual (Schongart et al. 2002). Pode haver também uma forte variação anual no crescimento do tronco, claramente relacionada à alternância regular entre períodos de forte precipitação e períodos de longa seca (Pélissier e Pascal 2000).

Mesmo plantas crescendo sob o mesmo regime hídrico apresentam diferenças nos padrões fenológicos. Estas podem ser causadas pela variação dos componentes do contínuo solo-planta-atmosfera que determina o estado hídrico da planta (Hinckley et al. 1991). Ritmos anuais de mudança foliar e incremento em diâmetro existem mesmo em ambientes constantes e gatilhos sazonais em florestas úmidas afetam a resposta ao incremento anual de diâmetro em algumas espécies (Newstrom et al. 1994 ; Borchert et al. 2005). O'Brien et al. (2008) constatou que houve menor incremento em diâmetro nos meses que seguiram a queda foliar em várias espécies decíduas, enquanto que nas espécies não-decíduas não foi encontrada relação entre crescimento em diâmetro e fenologia.

Wielgolaski (1974, 2001) afirma que a fenologia pode ser modificada por outros fatores ambientais incluindo fatores relacionados ao solo. Uma maior quantidade de nutrientes no solo, por exemplo, pode levar a um aumento no número de flores (Sperens 1997). Brun et al. (2003) verificaram um atraso na floração e frutificação de plantas ruderais devido a altas concentrações de cobre no solo. Ryser e Sauder (2006) constataram que a floração é muito sensível à concentração de metais no solo, o tempo de vida das folhas foi reduzido quando a taxa de metais no solo estava muito alta ou muito baixa e, além disso, houve uma variação no tempo de amadurecimento dos frutos. Correlações entre as fenofases e aspectos físicos do solo como porcentagem de argila, areia e silte foram encontradas por Wielgolaski (2001). Esse mesmo autor também fez correlação entre as

fenofases e a taxa de nutrientes do solo como cálcio, magnésio e fósforo. Outro fator do solo, o pH, também pode ter influência nas fenofases (Wielgolaski 2001).

Neste estudo avaliamos comparativamente, o crescimento radial (incremento em diâmetro do tronco) e fenologia de duas espécies arbóreas tropicais diferindo na deciduidade das folhas (*Cyatharexylum myrianthum*, decídua; *Senna multijuga*, semi-decídua) em dois tipos de solo, com disponibilidade de água e nutrientes distintos: Gleissolos (solos úmidos e pobres) e Cambissolos (solos drenados e com maior teor de nutrientes). Buscamos responder às seguintes questões: (1) o crescimento das árvores difere nos dois tipos de solo? (2) o crescimento está associado às demais fenofases da plantas (queda foliar, brotação, floração, frutificação)? (3) existe relação entre crescimento, fenofases, teores de nutrientes e granulometria do solo? (4) há relações entre crescimento e variáveis climáticas (temperatura e precipitação), comprimento do dia e profundidade do lençol freático? As respostas a estas questões foram interpretadas de acordo com as características de deciduidade das espécies.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Reserva Natural do Rio Cachoeira (25°19'15" S e 45°42'24" W, altitude entre 2 e 900 m s.n.m.), uma área de 8.600 ha localizada em Antonina (PR), litoral sul do Brasil. A reserva está dentro do bioma Floresta Atlântica (Floresta Ombrófila Densa), com 313 mil ha de florestas, estuários, baías, ilhas, mangues e planícies, sendo parte de um dos principais remanescentes de Floresta Atlântica no Brasil (Ferreti and Britez 2006).

O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é o subtropical úmido mesotérmico (Cfa) sem estação seca definida e isento de geadas nas regiões serranas e chuvoso tropical sempre úmido Af(t) na planície. Os dados climáticos médios para um período de 9 anos

(1999 a 2008) para a estação meteorológica de Antonina, PR (a 10 km da área de estudo) mostram uma precipitação anual de 3106 mm e temperatura média de 21°C. No período de estudo, a precipitação anual (2194 mm) e a temperatura média mensal (21°C) estiveram, aproximadamente, dentro dos padrões históricos. O mês de fevereiro e o de março foram, respectivamente, o mais úmido e quente (respectivamente, 25,5°C e 443,8 mm) e julho e agosto, respectivamente, o mais frio e seco (15,5°C e 33,2 mm) (Capítulo 1).

Os solos na Reserva variam entre Neossolos, Gleissolos, Cambissolos e Argissolos (Ferreti e Britez 2006). No presente estudo foi avaliada a fenologia de plantas crescendo em Gleissolo e Cambissolos. Os primeiros ocupam terraços adjacentes às planícies aluviais, sendo, portanto, hidromórficos, minerais, arenosos, de fertilidade variável e permanentemente ou periodicamente saturados por água. Os Cambissolos compreendem solos não-hidromórficos, minerais, de fertilidade variável e com elevados valores em silte (Embrapa 1999).

As áreas de Gleissolo e Cambissolo escolhidas para o estudo fenológico foram baseadas em mapeamento prévio (Ferreti e Britez 2006) e são locais onde houve o estabelecimento de um projeto de restauração ecológica há oito anos antes do início do presente estudo. Este procedimento de escolha das árvores em áreas de restauração foi realizado para evitar que as diferenças na idade, no tamanho das árvores (copa, diâmetro, biomassa total) e no espaçamento entre indivíduos pudessem interferir nos resultados. O sistema de restauração nestas áreas consistia no plantio direto de mudas de espécies pioneiras, feito manualmente, num espaçamento de 2x3m. Como o clima da região é ameno e a precipitação é bem distribuída ao longo do ano (> 70 mm em cada mês), a restauração é eficiente, a sobrevivência alta (>70%) e o crescimento de plantas muito rápido. No início do estudo fenológico todas as árvores da área apresentavam entre 03 e 10m de altura e já tinham experimentado, pelo menos, um evento reprodutivo. Maiores detalhes sobre os sistemas de restauração podem ser encontrados em Ferreti e Britez (2006) e Bruel (2006).

Espécies estudadas

Foram escolhidas para o estudo duas espécies arbóreas pioneiras, uma decídua e uma não decídua, comuns nos estádios iniciais do desenvolvimento sucessional da Floresta Ombrófila Densa e que são freqüentes nas duas áreas escolhidas para o estudo: *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin and Barneby e *Cytherexylum myrianthum* Cham.

S. multijuga (Leguminosae) é uma arvoreta de 2 a 10 m de altura, semi-decídua, dióica, heliófita que ocorre na América do Sul, América Central e México, sendo que no Brasil é comumente encontrada nas encostas da Floresta Ombrófila Densa no sul e sudeste do país (Lorenzi 1992 ; Rodrigues et al. 2005). *C. myrianthum* (Verbenaceae) é árvore de 8 a 20 m de altura, decídua, heliófita, seletiva higrófito, ocorrendo principalmente em locais úmidos e brejosos, do litoral nordeste ao sul do Brasil (Lorenzi 1992 ; Rocca e Sazima 2006).

Métodos

Características do solo: A disponibilidade de água no solo foi monitorada em 12 piezômetros instalados na área de Gleissolo e 17 no Cambissolo. Os piezômetros foram construídos com canos de PVC de 10 cm de diâmetro, perfurados e instalados a uma profundidade de 100 a 150 cm da superfície do solo. A disposição dos piezômetros nas áreas era próxima aos indivíduos marcados para observação fenológica de forma a representar, o mais próximo possível, a situação de disponibilidade hídrica das árvores analisadas. Durante o período de estudo e a cada quinze dias foram feitas leituras da altura do lençol freático no solo com um arame graduado.

As características físicas e nutricionais do solo de cada área foram determinadas através de coletas sistematizadas e análise em laboratório. Foram coletadas amostras sob 15 indivíduos de cada espécie (total de 60 amostras). As coletas foram feitas na profundidade de 0 a 10 cm em três pontos equidistantes (aproximadamente 100 cm) sob cada árvore. Posteriormente, as amostras foram

misturadas em saco plástico, para que uma única amostra pudesse representar cada um dos indivíduos. Após a coleta, o solo foi levado ao laboratório, seco ao ar livre e peneirado. Após este processo, foram realizadas as análises químicas padrão (pH, P, H + Al, Ca, Mg, K, Al e C) seguindo os métodos de Embrapa (1997) e as análises físicas (granulométricas) para determinação dos teores de argila, silte e areia através do método do densímetro (Embrapa 1997).

Crescimento e fenologia: Para o estudo do crescimento e fenologia em plantas presentes nas áreas de restauração foram marcados aleatoriamente dentre as árvores plantadas 61 indivíduos de cada espécie (total de 122 árvores) nas áreas de Gleissolo e Cambissolo (cerca de 30 indivíduos de cada espécie em cada tipo de solo). O crescimento em diâmetro do tronco (à 1,30 m acima do solo) foi medido por meio de cintas dendrométricas permanentes de aço com precisão de 0,2 mm (Botosso e Tomazello-Filho 2001). As leituras de crescimento foram realizadas quinzenalmente por um período 12 meses (24 leituras). Em todos os indivíduos a primeira leitura foi ajustada a 0 para que fosse monitorado apenas o subsequente aumento ou diminuição de diâmetro do tronco. A instalação das cintas dendrométricas foi feita pelo menos um mês antes do início das leituras para que houvesse um ajuste das mesmas ao tronco das árvores (O'Brien et al. 2008).

Foram realizadas, concomitantemente à leitura das cintas, observações do comportamento fenológico (fenofases: brotação, queda foliar, floração, frutificação) de todas as árvores. Para o registro do brotamento foi verificada a presença de folhas de tamanho inferior ao normal, de coloração mais clara e/ou consistência membranácea e o desenvolvimento de gemas foliares. Para a fenofase queda de folhas, foram consideradas as falhas na copa das árvores e a quantidade de folhas caídas embaixo da planta. A floração foi diferenciada entre botões florais e flores abertas e a frutificação foi diferenciada em frutos em desenvolvimento (imaturos) e frutos maduros (frutos prontos para a dispersão) (Morellato et al. 2000; Marques et al. 2004).

Análise dos dados

Para cada espécie, o crescimento médio nos dois tipos de solo, foi comparado através de teste t ou teste de Wilcoxon, conforme os dados apresentavam ou não distribuição normal. O índice de crescimento foi calculado, para cada espécie, utilizando a razão entre a média do crescimento quinzenal e a média de crescimento anual (Spathelf et al. 2000).

As possíveis relações entre fenofases e o crescimento foram avaliadas por correlações de Spearman (r_s , Zar 1999), utilizando o número de indivíduos com determinada fenofase e o incremento acumulado em diâmetro (mm) por mês. As relações entre o crescimento e as variáveis climáticas (precipitação e temperaturas máximas, médias e mínimas) e comprimento do dia foram também avaliadas pelo mesmo teste (r_s), utilizando a média mensal do crescimento de todos os indivíduos de cada espécie e os dados climáticos mensais. Para este teste foram utilizados os dados climáticos históricos (nove anos) e os dados do período de estudo. Como os valores dos coeficientes do clima histórico foram maiores que para o clima anual, optou-se por apresentar apenas os primeiros. Também, as relações com as temperaturas máxima, média e mínima foram semelhantes, sendo, portanto, apresentados apenas os resultados com a temperatura média. Correlações de Spearman foram executadas também para testar as relações entre crescimento e profundidade do lençol freático e entre fenofases e o lençol, utilizando os valores quinzenais ($n=24$). Em todos os casos, as correlações foram feitas com o clima (ou profundidade do lençol) do período de estudo e com os dados de 1 a 4 meses anteriores à observação, para verificar se há um possível atraso da resposta das plantas aos fatores estudados.

Para verificar as possíveis relações entre o crescimento, as demais fenofases e os nutrientes do solo, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA). Esta análise de ordenação foi escolhida porque os dados apresentavam, aproximadamente, uma relação linear entre si (McCune e Grace 1999). Para tanto, para cada espécie, foi construída uma matriz principal contendo os dados de fenologia (média do número total de ocorrências para cada fenofase) e a média de crescimento

por indivíduo, ambos considerando indivíduos presentes nos dois tipos de solo. A matriz secundária continha os valores médios de pH, Al, K, P, Mg, Ca, C, teor de silte, areia e argila das amostras de solo referentes a cada um dos indivíduos. As análises foram realizadas com o programa PC-ORD (5.0) e de acordo com McCune e Grace (1999).

Resultados

Composição química do solo e profundidade do lençol freático

O Gleissolo apresentou maiores teores de alumínio e carbono que o Cambissolo, o qual possuiu maiores teores de cálcio, magnésio e fósforo. O pH e os teores de potássio não diferiram entre eles (Tab. 1). A variação do lençol freático foi semelhante no Gleissolo e no Cambissolo, porém, no Cambissolo ele esteve mais profundo na maior parte do ano. A maior profundidade (menor quantidade de água disponível para as plantas) ocorreu nos meses de junho, julho e setembro (período de menor precipitação), quando o lençol ficou a mais de 120 cm de profundidade no Cambissolo e cerca de 90 cm no Gleissolo (Fig. 1a.). A menor profundidade (mais próximo da superfície) foi no mês de março, final da estação mais úmida, quando o lençol esteve, em média, a 7 cm no Cambissolo e 13 cm no Gleissolo (Fig. 1a).

Crescimento, fenologia e clima

Ao final de 12 meses, todos os indivíduos marcados apresentaram crescimento positivo. Em *Cytherexylum myrianthum* o crescimento no Cambissolo foi acentuado nos primeiro sete meses após o início do experimento, enquanto que no Gleissolo e para *Senna multijuga* o crescimento foi menor (Fig. 2). A média (\pm EP) do incremento acumulado para os indivíduos de *C. myrianthum* foi maior ($Z= 5,39$, $P < 0,0001$) no Cambissolo ($66,9 \pm 5,1$ mm) que no Gleissolo ($18,7 \pm 1,3$ mm). Isso representa, ao final de 12 meses, um total de 21,3 mm e 5,9 mm, respectivamente, no diâmetro

a altura do peito (DAP) das plantas. Para *S. multijuga* o crescimento médio acumulado (\pm EP) não diferiu ($t= 2,001$; $P > 0,05$) entre Gleissolo ($38,2 \pm 2,03$ mm) e Cambissolo ($36,5 \pm 2,1$ mm), representando um total de 12,2 mm e 11,6 mm no DAP das árvores .

Em *C. myrianthum* o crescimento apresentou relação com a brotação e queda foliar nos dois tipos de solo (Tab. 2), os quais ocorreram, respectivamente, de setembro a maio e de março a novembro (Fig. 3a). O incremento em diâmetro também foi relacionado com a produção de frutos imaturos e maduros (Tab. 2), que iniciou-se em dezembro e estendeu-se até fevereiro, no período mais úmido e quente (Fig. 3a). O crescimento não foi relacionado com a floração (botões e flores), que ocorreu nos meses de novembro a dezembro (Tab. 2, Fig. 3a).

Para *S. multijuga* também houve relação entre crescimento e brotação, que teve pico de agosto a janeiro (Tab. 2, Fig. 3b). O crescimento foi negativamente relacionado com produção de frutos maduros (Tab. 2), apontando que estes dois eventos ocorrem em períodos opostos (Tab. 2, Fig. 3b). A produção de frutos iniciou-se em março, final do período mais úmido, e os frutos maduros estiveram presentes por um longo período, até outubro (Fig. 3b). Ao contrário de *C. myrianthum*, o crescimento de *S. multijuga* relacionou-se positivamente com a floração (botões florais e flores), que transcorreu de janeiro a março (Tab. 2, Fig. 3b). Não houve relações entre crescimento e queda de folhas (evento contínuo, com pico de maio a julho).

Houve fortes correlações entre crescimento em diâmetro e todas as variáveis climáticas, comprimento do dia e altura do lençol freático, nos dois tipos de solo (Tab. 2). As relações do crescimento com o comprimento do dia ($0,86 \leq r_s \leq 0,93$), foram mais fortes que precipitação ($0,82 \leq r_s \leq 0,93$), temperatura média ($0,80 \leq r_s \leq 0,90$) e profundidade do lençol freático ($0,52 \leq r_s \leq 0,66$). O único caso onde não houve correlação significativa foi entre o crescimento de *S. multijuga* e a profundidade do lençol, na área de Gleissolo.

A Análise de Componentes Principais (PCA) para *C. myrianthum* extraiu três principais componentes de variação, que juntos somaram 75,5% da variabilidade do conjunto de dados. O

componente I contribuiu com 41,8% da variância (autovalor = 3,34). O componente II contribuiu com 18,3% da variância (autovalor=1,47) e o componente III contribuiu com 15,3% da variância (autovalor=1,22). O crescimento esteve associado aos solos mais ricos em nutrientes, ou seja, solos menos ácidos e com maiores concentrações de Cálcio, Magnésio e Fósforo e também com maior teor de silte. A ausência de folhas esteve mais associada aos altos teores de alumínio enquanto as demais fenofases (brotação, queda de folhas, botões florais, flores, frutos imaturos e maduros) estiveram associados, mesmo que fracamente (vetores relativamente pequenos), aos maiores teores de argila e areia. A brotação foi a fenofase que menos se relacionou às variáveis do solo (Fig. 4a).

Em *S. multijuga*, de acordo com a PCA, foram dois os principais componentes de variação, que juntos somaram 63,1% da variabilidade do conjunto de dados. O componente I contribuiu com 47,7% da variância (autovalor = 3,34) e o componente II contribuiu com 15,4% da variância (autovalor=1,08). Nesta espécie, houve maior relação entre o crescimento e as fenofases flores, frutos maduros e brotação com os teores de Cálcio e Magnésio e silte. Já com os teores de Alumínio e Carbono, esta relação foi negativa. A queda foliar, assim como para *C. myrianthum*, mostrou relação com o teor de Alumínio, porém com menos intensidade (Fig. 4b).

Discussão

As duas espécies avaliadas no presente estudo apresentaram crescimento positivo e fortemente relacionado com o clima, porém com padrões diferenciados frente às características do solo. Enquanto *Cytherexylum myrianthum* apresentou taxas de incremento em diâmetro maiores em solo mais rico em nutrientes e drenado (Cambissolo), *Senna multijuga* mostrou-se indiferente a estas características. Tais diferenças, associadas às características de deciduidade das espécies e à ocorrência das demais fenofases, indicam estratégias distintas para o crescimento de árvores tropicais.

Ao final dos 12 meses o crescimento total acumulado foi relativamente alto para as duas espécies (*C. myrianthum*: 18,7 mm no Gleissolo e 66,9 mm no Cambissolo, *S. multijuga*: 38,2 mm no Gleissolo e 36,5 mm no Cambissolo), o que é esperado para espécies pioneiras. Estes valores são, em geral, superiores aos que Lisi et al. (2008) encontraram para espécies de florestas estacionais ($< 30 \text{ mm.ano}^{-1}$, para 22 das 24 espécies estudadas) e que O'Brien et al. (2008) verificaram em espécies de floresta úmida da Costa Rica ($< 12 \text{ mm.ano}^{-1}$, para 10 espécies avaliadas). O incremento em diâmetro de *C. myrianthum* foi muito diferente nos dois tipos de solo. Esta espécie é provavelmente mais sensível às condições hídricas e nutricionais do solo enquanto que *S. multijuga* parece menos sensível (ou mais tolerante à falta de nutrientes e excesso de água). As diferenças no crescimento não foram apenas entre as espécies, mas ocorreu também dentro das populações (observações pessoais). Árvores cujas copas recebem maior incidência de luz, por exemplo, têm maior crescimento e, conseqüentemente, sofrem maior transpiração devido à radiação e exposição ao vento (Pélissier e Pascal 2000), o que pode ter ocorrido no presente estudo.

Entre os dois tipos de solo, o período de ocorrência das fenofases foi semelhante, mas a intensidade, pico e duração de cada fenofase apresentaram diferenças (Capítulo I). As correlações entre o crescimento e brotação (nas duas espécies no Cambissolo e em *C. myrianthum* no Gleissolo) indicam que a planta investe em crescimento em diâmetro na mesma época em que investe na produção de folhas. No caso da *S. multijuga* no Gleissolo, esta correlação ocorreu com dois meses de atraso, sugerindo que primeiro a planta investe no acúmulo de reservas no caule e apenas posteriormente inicia o crescimento dos ramos e folhas. Relação negativa entre crescimento e queda foliar ocorreu apenas para *C. myrianthum* provavelmente por esta ser uma espécie decídua e, simultaneamente a ausência total das folhas, ocorre uma baixa atividade cambial. A deciduidade, segundo O'Brien et al. (2008) é o fator mais importante que influencia na variação do crescimento em diâmetro e é comum que árvores decíduas cresçam menos que o normal no mês subsequente à queda de folhas em comparação aos meses em que estão com a copa cheia. Isso pode ocorrer

porque o crescimento depende do carbono fixado recentemente, que está indisponível no período sem folhas ou está sendo destinado para outra função, por exemplo, a reconstituição do tecido foliar (Latt et al. 2001). Segundo Borchert (1999), em árvores decíduas em clima sazonal, a brotação ocorre quando a planta está bem hidratada (período úmido), coincidindo com o início da atividade cambial e a queda de folhas no período de menor precipitação e atividade cambial baixa. Por outro lado, as árvores semi-decíduas não passam por stress hídrico, mas apenas trocam suas folhas durante a estação seca e a atividade cambial continua normalmente durante este período (Borchert 1999). Esta explicação parece ser plausível também para árvores em clima pouco sazonal, como no caso do presente estudo.

A relação entre botões florais e flores e crescimento em *S. multijuga* mostrou que esta espécie floresceu na mesma época (novembro e dezembro) em que se iniciou o período de crescimento de tronco, e, dois meses após, quando o valor das correlações se mostrou mais forte foi quando ocorreu o pico de crescimento. As correlações com frutificação foram positivas (e com pouco atraso) para *C. myrianthum*, pois esta espécie produz frutos carnosos no período mais úmido que é o mais propício para sua formação e coincidiu com o período de maior crescimento do tronco. Já, a forte correlação negativa entre o crescimento e os frutos maduros de *S. multijuga* pode ter ocorrido por estes permanecerem na planta por um longo período, enquanto ocorre a dispersão de suas sementes anemocóricas no período mais seco e de menor atividade de crescimento.

O crescimento do tronco mostrou-se muito dependente das variáveis climáticas estudadas, mesmo neste local de estudo onde o clima não apresenta sazonalidade marcada. Em climas temperados a variação sazonal da temperatura é a principal variável climática agindo sobre o desenvolvimento e a atividade cambial da árvore, enquanto que em climas tropicais com sazonalidade hídrica a variável climática mais importante é a precipitação (Borchert 1999). No entanto, neste estudo, onde o clima é tropical, mas não apresenta forte sazonalidade hídrica, a variável climática que mais fortemente relacionou-se à atividade cambial foi o comprimento do dia.

Estas correlações com comprimento do dia e também com temperatura média e precipitação podem indicar que estas variáveis climáticas atuam como gatilhos para o início do período de crescimento das árvores. Um a dois meses após o máximo de fotoperíodo (que ocorre em dezembro), as plantas apresentaram valores elevados de crescimento em diâmetro mensal. Para *S. multijuga* as correlações obtidas foram mais fracas nas variáveis relacionadas à água (precipitação e profundidade do lençol freático), o que pode ter ocorrido porque esta parece ser menos sensível às alterações na disponibilidade hídrica. Lisi et al. (2008) também constataram que o crescimento do tronco corresponde às mudanças sazonais da precipitação, com o maior incremento ocorrendo durante a estação mais úmida.

A forte diferença no crescimento entre os tipos de solo em *C. myrianthum* foi suportada pela PCA, pois o crescimento mostrou-se associado aos nutrientes do solo (especialmente Cálcio, Magnésio e Fósforo), que estão presentes em maior quantidade no Cambissolo. O solo em que houve maior crescimento foi o solo com maior quantidade de nutrientes, maior teor de silte, menos ácido e menos tóxico (menor teor de Alumínio). O Alumínio também esteve sempre associado às fenofases relacionadas à perda de folhas, talvez pela sua toxicidade. Maiores teores de argila e menores de silte favoreceram a antecipação da brotação e/ou a floração em espécies temperadas (Wielgolaski 2001), o que pode ter ocorrido com as espécies do presente estudo. O pH e os teores de Cálcio, que parecem influenciar positivamente a brotação e floração de *S. Multijuga*, foram citados também por Wielgolaski (2001) como possíveis fatores que modificam a fenologia das plantas.

Esses resultados sugerem que o crescimento é regulado, primariamente pelo clima, mas que variações das características do solo são importantes para a regulação da fenologia e da atividade cambial das plantas, podendo moldar as taxas de incremento de biomassa e alterar os padrões fenológicos das espécies de árvores tropicais.

Referências

- Bruel BO (2006) Restauração da Floresta Atlântica no litoral do Paraná: avaliação de dois sistemas de plantio e da regeneração natural. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Brasil.
- Borchert R (1994) Soil and Stem Water Storage Determine Phenology and Distribution of Tropical Dry Forest Trees. *Ecology* 75: 1437-1449.
- Borchert R (1999) Climatic periodicity, phenology and cambium activity in tropical dry forest trees. *IAWA Journal* 20: 239–247.
- Borchert R, Robertson K, Schwartz MD, Williams-Linera G (2005) Phenology of temperate trees in tropical climates. *Int. Jour. Biomet.* 50: 57-65.
- Botosso PC, Tomazello Filho M (2001) Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: Maia NB, Martos HL, Barella W (ed). *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. EDUC, São Paulo, pp. 145–171.
- Brun LA, Corff JL, Maillet J (2003). Effects of elevated soil copper on phenology, growth and reproduction of five ruderal plant species. *Environmental Pollution* 122: 361–368.
- Embrapa (1997) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.
- Embrapa (1999). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- Fenner M (1998) The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 1: 78–91.
- Ferretti AR, Britez RM (2005) A restauração da Floresta Atlântica no litoral do Estado do Paraná: os trabalhos da SPVS. In: Galvão APM, Porfírio-Da-Silva V (ed). *Restauração Florestal: fundamentos e estudos de caso*. Embrapa Florestas, Colombo, pp. 87-102.

Ferri MG (1979) *Fisiologia Vegetal*, vol. 2, Editora Pedagógica, São Paulo.

Hinckley TM, Richter H, Schulte PJ (1991) Water relations. In: Raghavendra AS (ed). *Physiology of trees*. John Wiley, New York, pp. 137-162.

Latt CR, Nair PKR, Kang, BT (2001) Reserve carbohydrate levels in the boles and structural roots of five multipurpose tree species in a seasonally dry tropical climate. *For. Ecol. Manage.* 146: 145–158.

Lisi CS, Tomazello F^o M, Botosso PC, Roig FA, Maria VRB, Ferreira-Fedele L, Voigt ARA (2008) Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. *IAWA Journal* 29: 189–207.

Lorenzi H (1992) *Árvores brasileiras*, vol. I, Ed. Plantarum, Nova Odessa.

Lieberman D (1982) Seasonality and phenology in a dry tropical forest in Ghana. *Journal of Ecology* 70: 791-806.

Marques MCM, Roper JJ, Salvalaggio, APB (2004) Phenological patterns among plant life forms in a Subtropical Forest in Southern Brazil. *Plant Ecology* 173: 203-213.

McCune B, Grace MJB (1999) *Analysis of Ecological Communities*. Oregon, USA. MjM Software Design.

Morellato LPC, Talora DC, Takahasi A, Bencke CC, Romera EC, Zipparro VB (2000) Phenology of Atlantic Rain Forest trees: a comparative study. *Biotropica* 32: 811-823.

Newstrom LE, Frankie GW, Baker HG (1994) A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26: 142-159.

O'Brien JJ, Oberbauer SF, Clark DB, Clark DA (2008) Phenology and stem diameter increment in Costa Rica Wet Tropical forest. *Biotropica* 40: 151-159.

Pélissier R, Pascal JP (2000) Two-year tree growth patterns investigated from monthly girth records using dendrometer bands in a wet evergreen forest in India. *Journal of Tropical Ecology* 16: 429-446.

- Reich PB, Borchert R (1984) Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology* 72: 61-74.
- Rocca MA, Sazima M (2006) The dioecious, sphingophilous species *Citharexylum myrianthum* (Verbenaceae): Pollination and visitor diversity. *Flora* 201: 440–450.
- Rodrigues SR, Flores AS, Miotto STS, Baptista LRM (2005) O gene (Leguminosae, Caesalpinoidea) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta bot. Bras.* 19: 1-16.
- Ryser P, Sauder WR (2006) Effects of heavy-metal-contaminated soil on growth, phenology and biomass turnover of *Hieracium piloselloides*. *Environmental Pollution* 140: 52-61.
- Schongart J, Piedade MTF, Ludwigshausen S, Horna V, Worbes M (2002) Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology* 18: 581-597.
- Sheil D (1995) A critique of permanent plot methods and analysis with examples from Budongo Forest, Uganda. *Forest Ecology and Management* 77: 11-34.
- Sheil D (2003) Growth assessment in tropical trees: large daily diameter fluctuations and their concealment by dendrometer bands. *Can. J. For. Res.* 33: 2027–2035.
- Spathelf P, Fleig FD, Vaccaro S, Esber LM (2000) Análise dendroecologica de *Ocotea pulchella* Nees et Mart. Ex Nees (Canela-lageana) na Serra Geral de Santa Maria, RS, Brasil. *Ciência Florestal* 10: 97-110.
- Sperens U (1997) Long-term variation in, and effects of fertiliser addition on, flower, fruit and seed production in the tree *Sorbus aucuparia* (Rosaceae). *Ecography* 20: 521-534.
- Silva RP, Santos J, Tribuzy ES, Chambers JQ, Nakamura S, Higuchi, N (2002) Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166: 295–301.
- Wielgolaski FE (1974) Phenology in agriculture. In: Lieth H (ed) *Phenology and seasonality modeling*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 369–381.
- Wielgolaski FE (2001) Phenological modifications in plants by various edaphic factors. *International Journal of Biometeorology* 45: 196–202.

Wright SJ, Van Schaik CP (1994) Light and the phenology of tropical trees. *The American Naturalist* 143: 193-199.

Zar JH (1999) *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, New Jersey.

Tab. 1. Médias (\pm EP) dos parâmetros nutricionais e físicos nos dois tipos de solo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil. ns= não significativo

	Cambissolo	Gleissolo	Z (P)
pH CaCl₂	4,07 \pm 0,04	4,01 \pm 0,02	0,16 (ns)
Al (cmol_c/dm³)	1,67 \pm 0,14	2,15 \pm 0,10	2,30 (<i>P</i> < 0,05)
H + Al (cmol_c/dm³)	6,81 \pm 0,21	7,41 \pm 0,18	1,82 (ns)
Ca (cmol_c/dm³)	2,40 \pm 0,39	0,19 \pm 0,03	6,59 (<i>P</i> < 0,0001)
Mg (cmol_c/dm³)	0,63 \pm 0,07	0,15 \pm 0,01	6,48 (<i>P</i> < 0,0001)
K (cmol_c/dm³)	0,10 \pm 0,01	0,09 \pm 0,004	1,00 (ns)
P (ppm)	8,54 \pm 0,39	6,90 \pm 0,40	2,40 (<i>P</i> < 0,05)
C (g/dm³)	26,07 \pm 0,43	29,53 \pm 0,69	3,53 (<i>P</i> < 0,0005)
Teor de Argila	379,67 \pm 8,0	439,67 \pm 11,3	3,82 (<i>P</i> = 0,0001)
Teor de Silte	566,57 \pm 10,1	391,06 \pm 16,0	5,99 (<i>P</i> < 0,0001)
Teor de Areia	53,77 \pm 9,9	169,27 \pm 16,6	5,49 (<i>P</i> < 0,0001)

Tab.2. Correlações de Spearman (r_s) entre o crescimento acumulado e as fenofases, para duas espécies arbóreas, em dois tipos de solo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil. ns = não-significativo, $P < 0,05$. (n) = Número de meses anteriores à observação fenológica onde houve correlação mais forte.

	<i>Cytherexylum myrianthum</i>		<i>Senna multijuga</i>	
	Cambissolo	Gleissolo	Cambissolo	Gleissolo
Brotação	0,46 (0)	0,51 (0)	0,44 (0)	-0,58 (2)
Queda foliar	0,47 (2)	0,53 (2)	ns	ns
Botão Floral	ns	ns	0,63 (2)	0,69 (2)
Flor	ns	ns	0,42 (2)	0,43 (2)
Fruto imaturo	0,57 (0)	0,64 (0)	ns	ns
Fruto maduro	0,43 (1)	0,62 (0)	-0,82 (0)	-0,81 (0)

Tab. 3. Correlações de Spearman (r_s) entre o incremento em diâmetro e as variáveis climáticas, para duas espécies arbóreas, em dois tipos de solo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil. $P < 0,05$; ns = não significativo, (n) = Número de meses anteriores à observação fenológica onde houve correlação mais forte.

	<i>Cytherexylum myrianthum</i>		<i>Senna multijuga</i>	
	Cambissolo	Gleissolo	Cambissolo	Gleissolo
Comprimento do Dia	0,93 (2)	0,87 (1)	0,86 (1)	0,86 (1)
Temperatura Média	0,90 (0)	0,86 (0)	0,82 (0)	0,80 (0)
Precipitação	0,93 (1)	0,82 (0)	0,82 (0)	0,84 (0)
Profundidade do lençol	-0,66 (0)	-0,66 (0)	- 0,52 (0)	ns

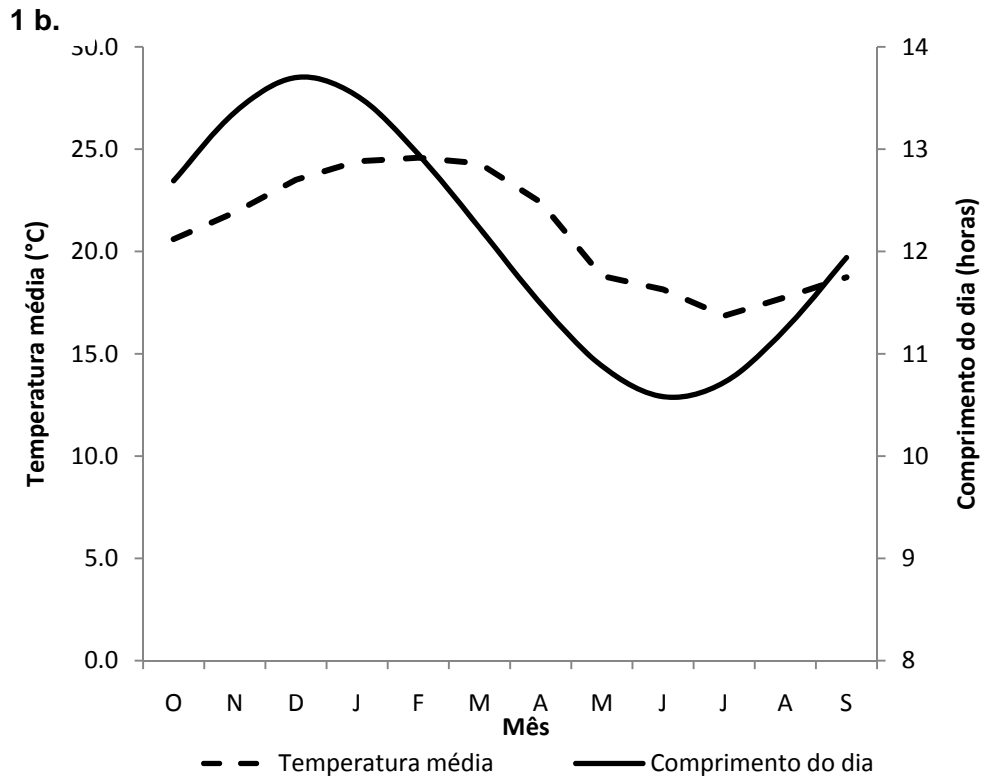
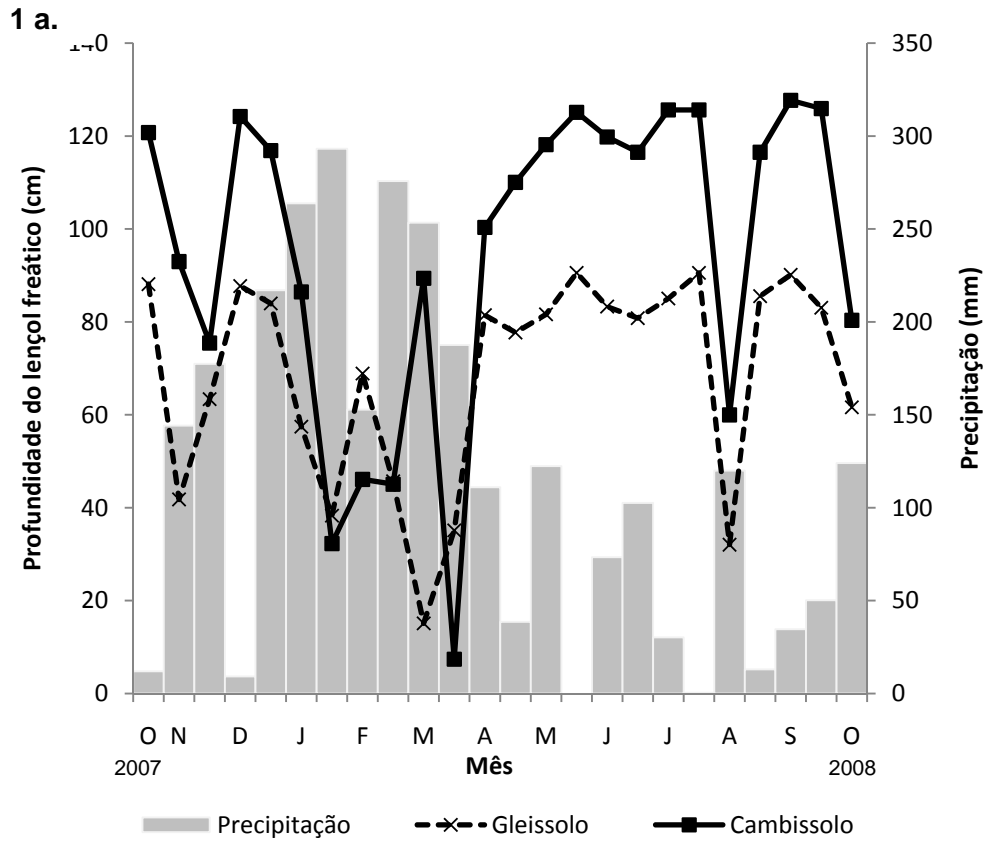
Legendas das figuras

Fig 1. a. Precipitação para estação meteorológica de Antonina, PR do período de estudo e profundidade média do lençol freático nas duas áreas de estudo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil. **b.** temperatura média para estação meteorológica de Antonina, PR do período de 1999 a 2008 e comprimento do dia na latitude do local de estudo.

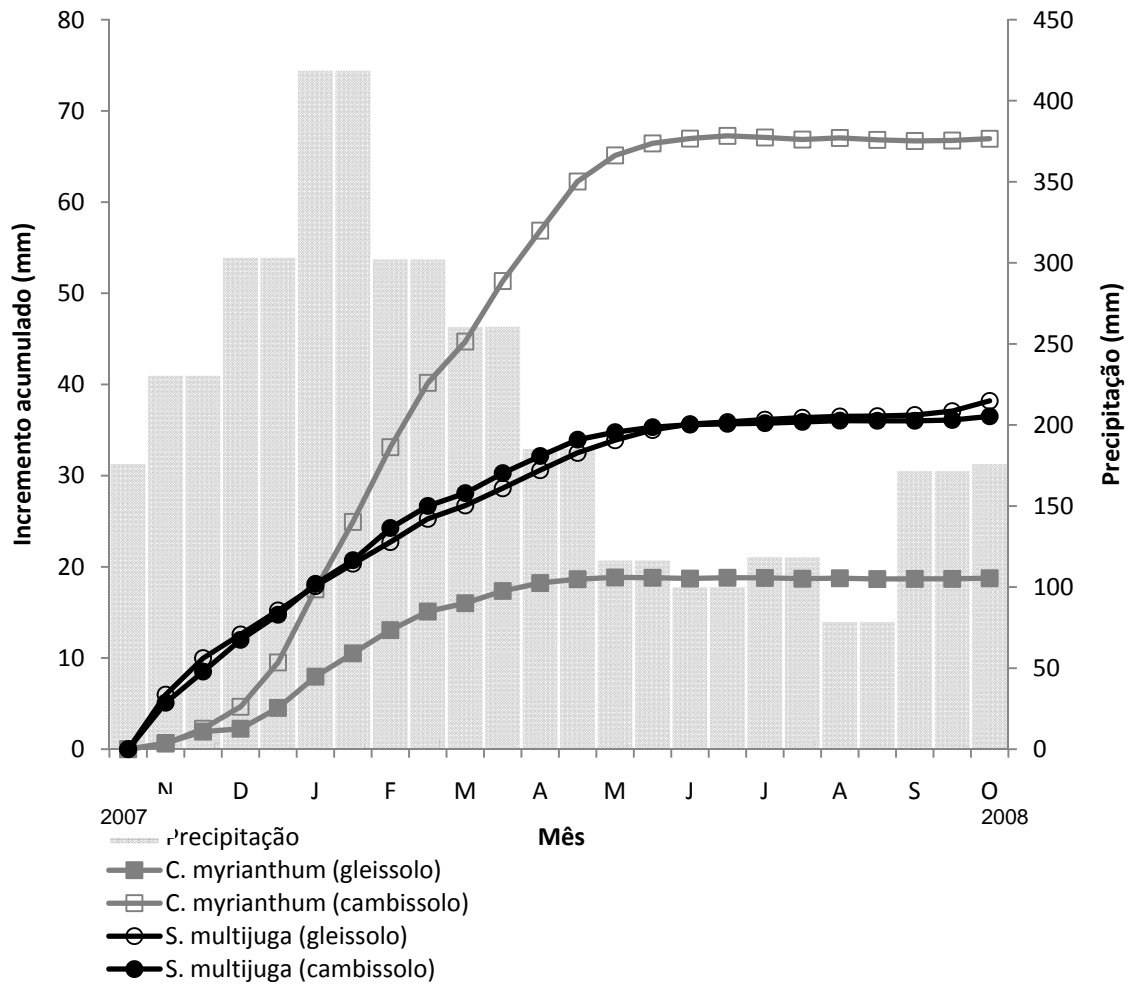
Fig. 2. Incremento acumulado (mm) de *Senna multijuga* e *Cytharexylum myrianthum* nos dois tipos de solo, em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil.

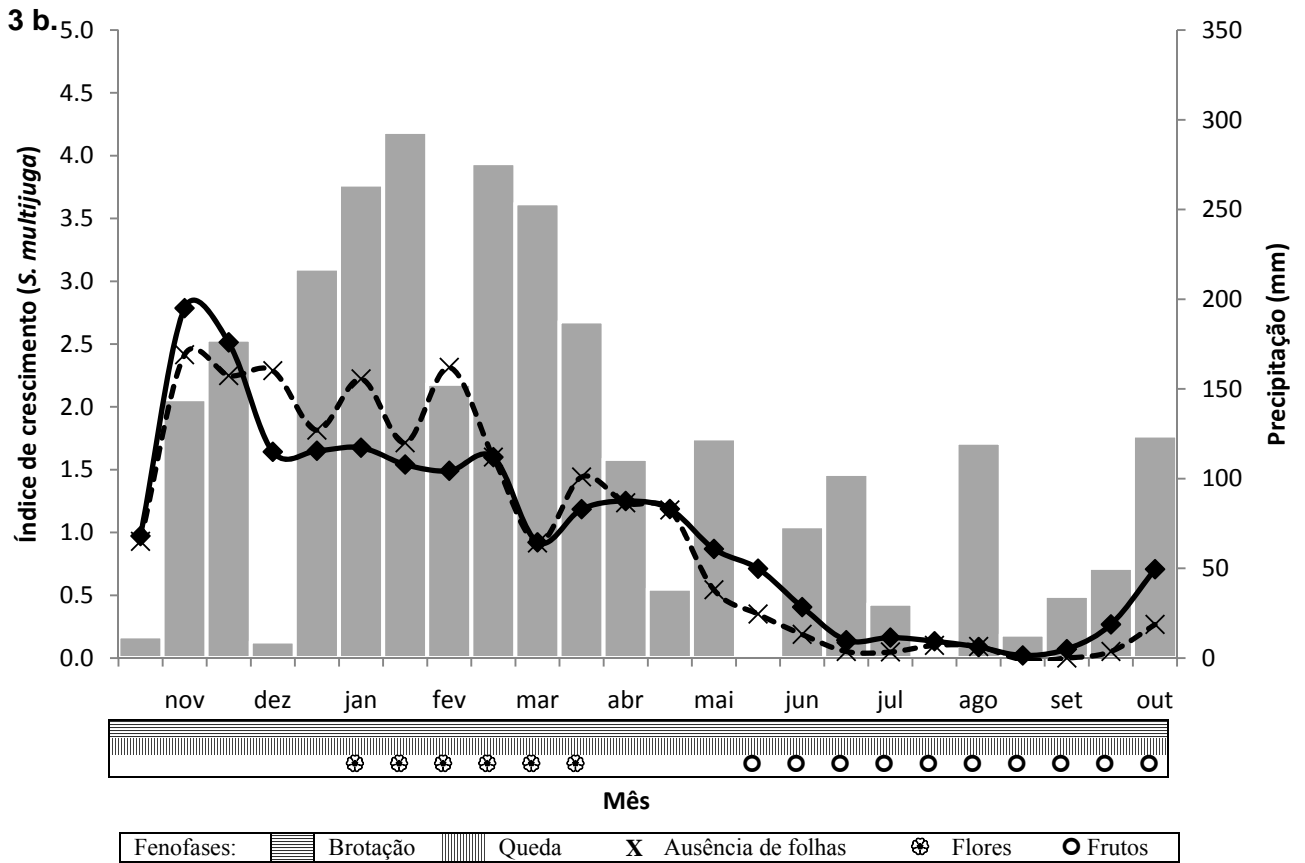
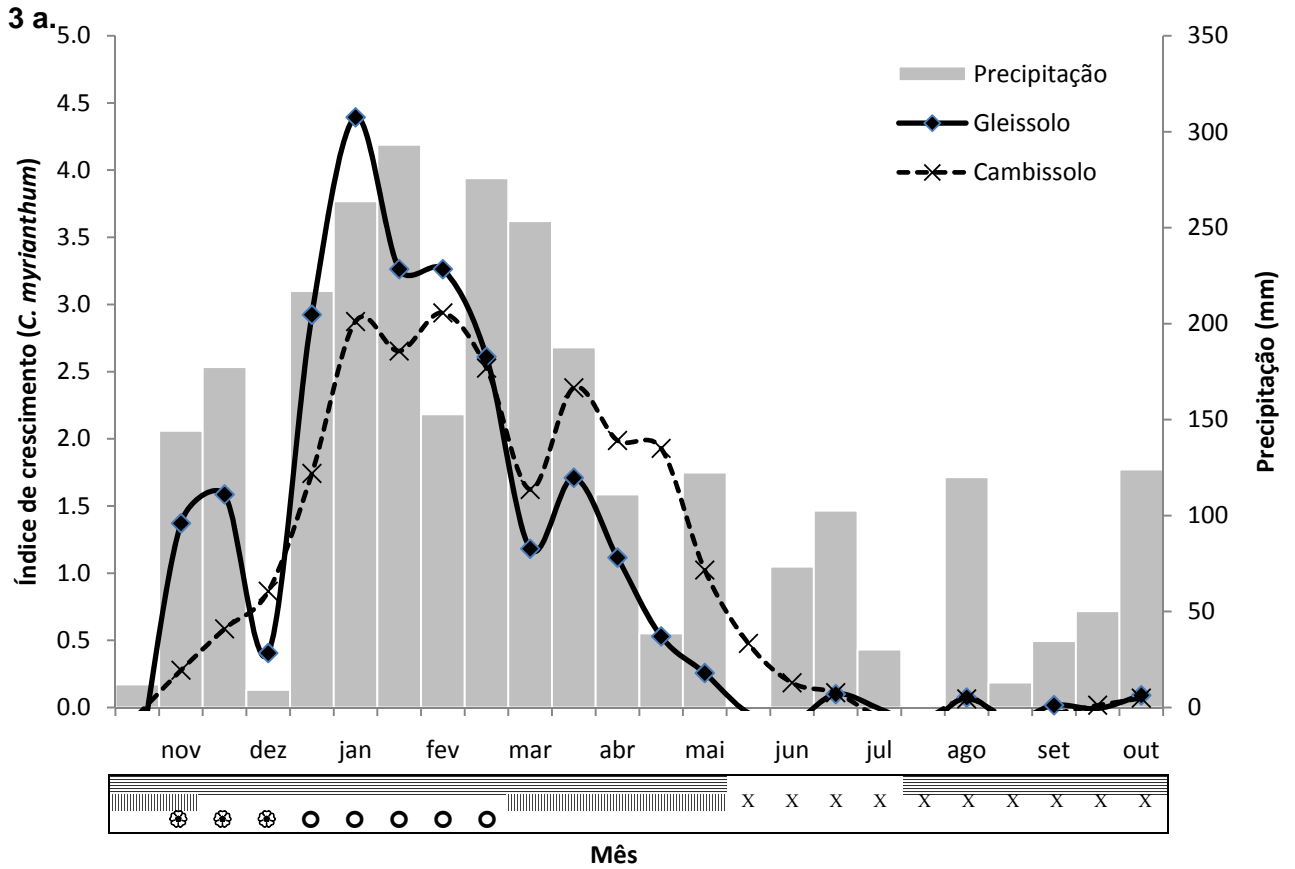
Fig. 3. Índice de crescimento, precipitação do período de estudo e fenologia para *Cytharexylum myrianthum* (a) e *Senna multijuga* (b) em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil.

Fig.4. Resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) para *Cytharexylum myrianthum* (a) e *Senna multijuga* (b) em área de Floresta Atlântica, sul do Brasil.

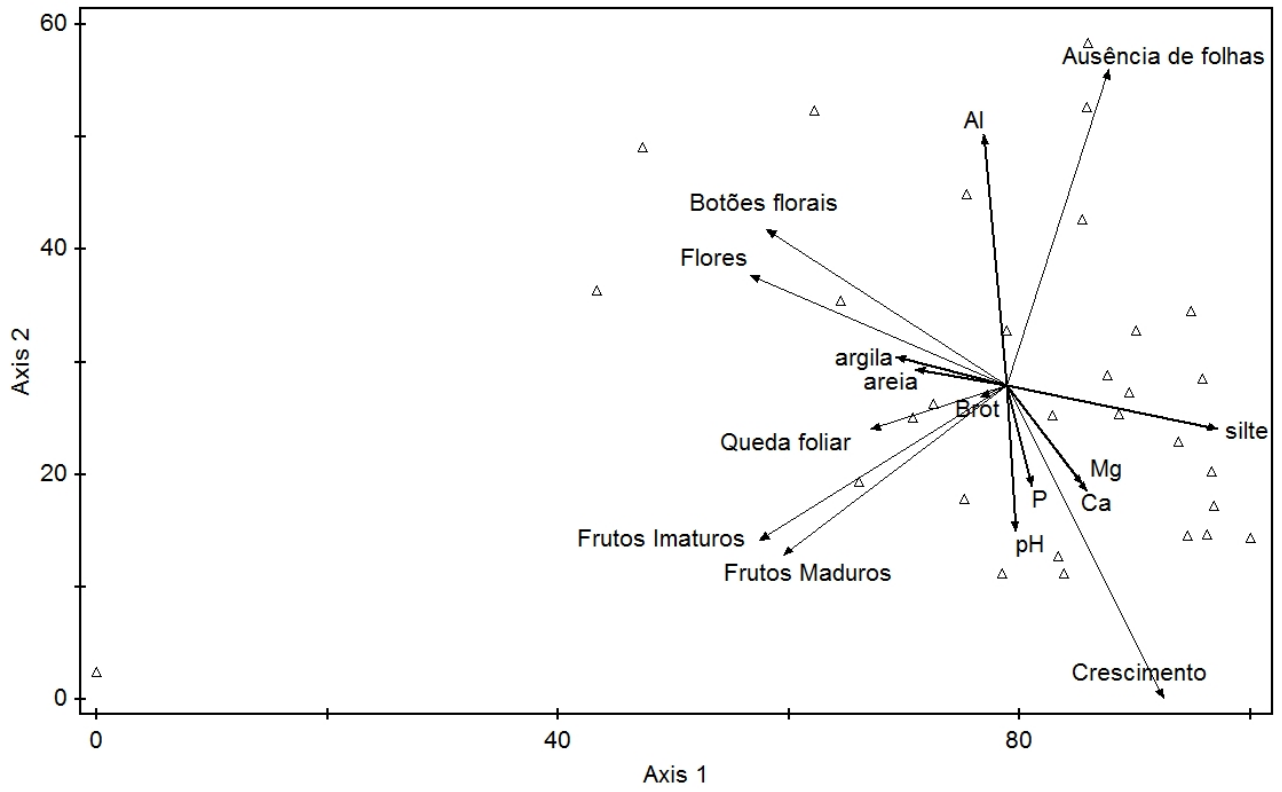


2.

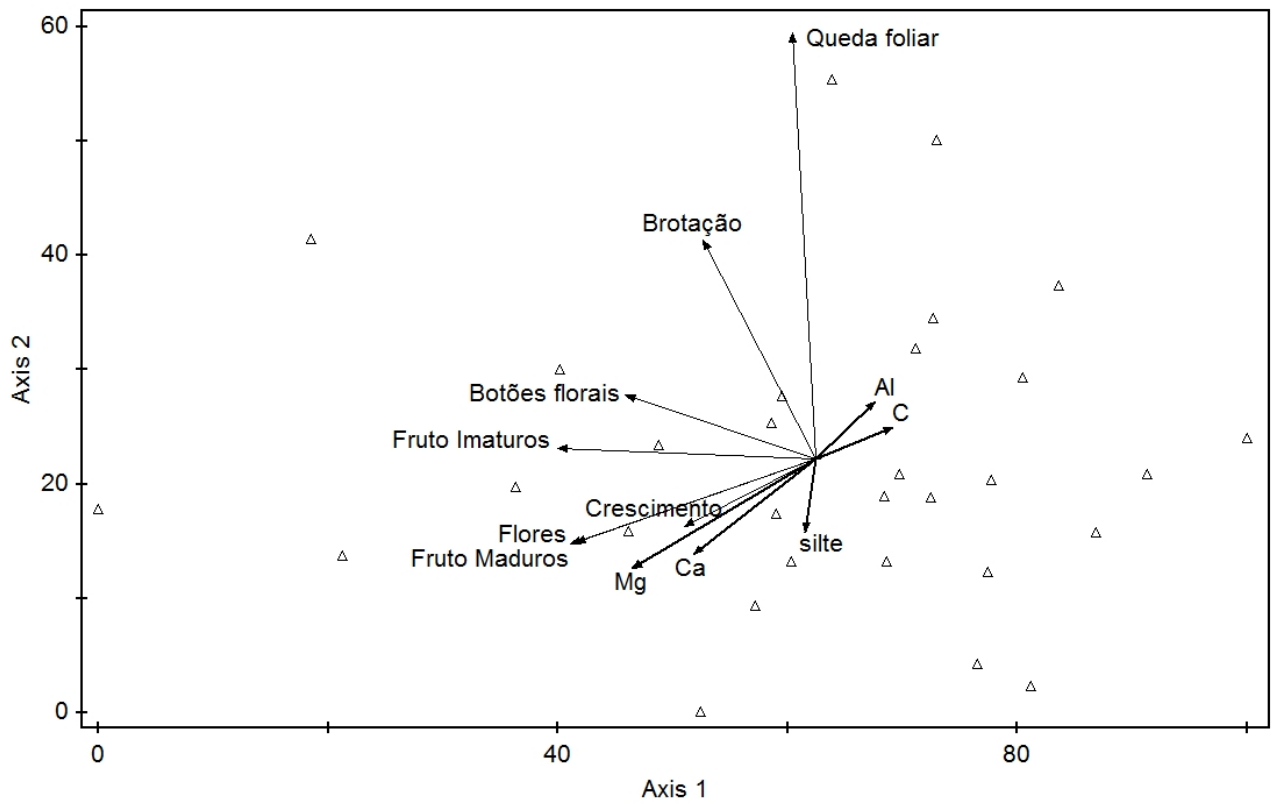




4 a.



4 b.



Considerações finais

Os resultados do acompanhamento fenológico e crescimento radial de *Alchornea glandulosa*, *Cytharexylum myrianthum* e *Senna multijuga* em Cambissolo (solo drenado e com maior teor de nutrientes) e Gleissolo (solos úmido e pobres) ao longo de um ano no sul do Brasil, demonstraram que :

- O comportamento fenológico das espécies é fortemente influenciado pelo clima. O comprimento do dia e a temperatura mostram-se altamente correlacionados e, por esta razão, devem ser tratados juntos na hora de relacioná-los com as respostas das plantas. O lençol freático é, aparentemente, um fator secundário na definição do comportamento fenológico das plantas.
- A grande maioria das fenofases, para as três espécies, mostrou sazonalidade, mostrando que, mesmo em florestas com pouca sazonalidade climática, como no local de estudo, a fenologia das plantas ainda é intimamente relacionadas com o clima.
- As variações das características do solo são importantes para a regulação da fenologia e do incremento em diâmetro das plantas. A frequência, pico e intensidade das fenofases variaram entre tipos de solo. Em *A. glandulosa*, por exemplo, as fenofases eram mais longas (maior número de observações) no Gleissolo que no Cambissolo, enquanto que em *C. myrianthum*, a duração de todas as fenofases (exceto a brotação) era maior no Cambissolo. Já, em *S. multijuga*, a duração da brotação e queda foliar foram maiores no Gleissolo, enquanto que as demais fenofases foram mais extensas no Cambissolo.
- As respostas do crescimento às características do solo diferem entre as espécies. Algumas espécies (como *C. myrianthum*) podem reagir mais fortemente às variações nas características do solo, enquanto que outras (como *S. multijuga*) parecem não ser tão

sensíveis a estas variações, o que também pode estar relacionado à deciduidade contrastante das espécies. Em *C. myrianthum*, o crescimento esteve associado aos solos mais ricos em nutrientes (menos ácidos e com maiores concentrações de Ca, Mg, P e K). Em *S. multijuga*, o crescimento não mostrou fortes relações com os parâmetros do solo.

- Todos esses resultados trazem uma nova abordagem nas interpretações fenológicas de espécies tropicais, contribuindo para o conhecimento da fenologia e do padrão de crescimento nestas florestas ainda tão pouco compreendidas.