Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes

Monique Silva Costa

Dinâmica de crescimento de *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) na Floresta Atlântica do estado do Rio de Janeiro: fenologia, atividade cambial e dendrocronologia.

Rio de Janeiro

2011

Monique Silva Costa

Dinâmica de crescimento de *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) na Floresta Atlântica do estado do Rio de Janeiro: fenologia, atividade cambial e dendrocronologia.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Área de Concentração em Conservação e Utilização da Biodiversidade, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Cátia Henriques Callado

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

C837 Costa, Monique Silva.
Dinâmica de crescimento de *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) na Floresta Atlântica do Estado do Rio de Janeiro: fenologia, atividade cambial e dendrocronologia / Monique Silva Costa. - 2011.
68 f.

Orientadora: Cátia Henriques Callado.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal.

1. Meliaceae – Crescimento – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. 2. Dendrocronologia – Rio de Janeiro (RJ) - Teses. 3. Mata Atlântica - Teses. 4. Fenologia vegetal – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. I. Callado, Cátia Henriques. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes. IV. Título.

CDU 582.752.3(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução parcial desta dissertação.

_____ _____

Assinatura Data

Monique Silva Costa

Dinâmica de crescimento de *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) na Floresta Atlântica do estado do Rio de Janeiro: fenologia, atividade cambial e dendrocronologia.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Área de Concentração em Conservação e Utilização da Biodiversidade, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Biologia Vegetal.

Aprovado em 22/02/2011.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Cátia Henriques Callado

Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes - UERJ

Banca Examinadora:

_____

Prof[a]. Dr[a]. Maura Da Cunha
Centro de Biociências e Biotecnologia - UENF

_____

Prof[a]. Dr[a]. Norma Albarello Pereira
Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes - UERJ

_____

Prof. Dr. Ricardo Cardoso Vieira
Instituto de Biologia - UFRJ

Rio de Janeiro

2011

DEDICATÓRIA

À minha família e a todos que eu amo.

AGRADECIMENTOS

À Prof[a]. Dr[a]. Cátia Henriques Callado, grande responsável por minha formação como pesquisadora, pela orientação desde a iniciação científica, amizade e dedicação durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, pela concessão da bolsa de estudos e pelo apoio outorgado à Dr[a]. Cátia Henriques Callado, que proporcionou a infraestrutura necessária à elaboração deste trabalho.

A Thaís Jorge de Vasconcellos, pelo auxílio desde o princípio da execução e pela participação nas inúmeras discussões deste trabalho.

Ao MSc. Arno Fritz das Neves Brandes, pelo auxílio nos trabalhos de campo, pelos ensinamentos e discussões e pela contribuição na análise dos dados de dendrocronologia.

A Walter da Silva, pelo inestimável auxílio em todos os trabalhos de campo.

A Maxmira de Souza Arêdes, pelo auxílio nos trabalhos de campo e no processamento do material.

Às técnicas do Laboratório de Anatomia Vegetal da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Jeanne Alexandre Teixeira Glória e Silvana Messere de Lacerda, pelo apoio no processamento do material e companhia durante o trabalho de laboratório.

Ao Dr. Cláudio Sérgio Lisi, pelo auxílio na análise dos dados e pela grande dedicação nos ensinamentos em Dendrocronologia.

À Dr[a]. Cláudia Franca Barros, por permitir a utilização do Laboratório de Botânica Estrutural do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, essencial para as análises de microscopia de fluorescência.

Aos técnicos do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rogério Figueiredo, Felipe Santos e Elaine Zózimo, pelo auxílio nos procedimentos de laboratório.

Aos professores dos cursos de Dendrocronologia, do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e do Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em especial, aos Doutores Fidel Alejandro Roig e Mário Tomazello Filho, pelos valiosos ensinamentos.

A Vinícius Gomes de Fontes, pelo amor, dedicação, companheirismo e pelo auxílio na organização dos dados e análise crítica do texto.

A Jakeline Prata de Assis Pires, pelas discussões e contribuições na análise dos dados de fenologia.

A Moisés Silveira Lobão, Luis Enrique Campos Zumaeta e Victor Hugo Pereira Moutinho, pelas discussões e pela grande contribuição no aprendizado de Dendrocronologia e Ciências da Madeira.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia pelo fornecimento dos dados climáticos referentes a Seropédica.

Aos meus amigos de turma e de laboratório, em especial Carla Y' Gubáu Manão, Anderson dos Santos Portugal, Luciana Fiuza de Castro e Márcia Garcia Gianfaldoni, pela companhia nas aulas e pela troca de idéias sobre nossos respectivos trabalhos.

Aos meus pais, Shirlei e Luiz, e meus avós, Leonel e Lucíola (*in memorian*), meus maiores exemplos de vida, pelo imenso amor e por todo o apoio durante toda a minha formação pessoal e profissional; e à Bete, pelo enorme carinho e cuidados.

Ao meu irmão, Vitor, por trazer alegria ao meu dia-a-dia, e a todos os meus amigos, pela amizade e companheirismo durante todos esses anos, fundamentais para meu equilíbrio emocional.

A todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO

COSTA, Monique Silva. **Dinâmica de crescimento de *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) na Floresta Atlântica do estado do Rio de Janeiro: fenologia, atividade cambial e dendrocronologia.** 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Ao longo do século XX, poucos estudos de dendrocronologia foram desenvolvidos com espécies de ambientes tropicais, em função da crença de que as condições climáticas nessas regiões não apresentavam variações suficientemente marcantes e regulares para induzir um ritmo anual de crescimento radial. A realização de trabalhos sobre esse tema nas últimas décadas revelou que a formação de anéis de crescimento anuais nos trópicos pode estar associada a fatores diversos, como: existência de estação seca bem definida, ocorrência de inundações sazonais, respostas ao comportamento fenológico, respostas ao fotoperíodo e a ritmos endógenos. O presente estudo tem por objetivo compreender a dinâmica de crescimento radial de uma espécie da Mata Atlântica se desenvolvendo em ambiente natural. Para tanto, propôs-se: i) investigar a periodicidade da atividade cambial e dos fatores que a influenciam; ii) estimar a idade e taxa de crescimento diamétrico e iii) correlacionar os fatores ambientais com os anéis de crescimento, em indivíduos de *Cedrela odorata* L. Para o estudo da atividade cambial, foram obtidas amostras de caule a 1,30 m do solo, contendo periderme, faixa cambial e xilema e floema secundários, por métodos não destrutivos. A fenologia vegetativa e a frutificação dos indivíduos amostrados foram acompanhadas durante todo o período do experimento. O material coletado foi processado segundo técnicas usuais em Anatomia Vegetal e analisado sob microscopia óptica e de fluorescência. Os dados de fotoperíodo, precipitação, temperatura e fenologia vegetativa foram correlacionados à atividade cambial. Para o estudo dos anéis de crescimento, as coletas também foram realizadas a 1,30 m do solo, por meio de sonda de Pressler. As amostras obtidas foram polidas e analisadas sob microscópio estereoscópio, para demarcação e aferição do número de anéis de crescimento, e a largura dos anéis foi mensurada para a determinação das taxas de crescimento radial. A série histórica de temperatura e precipitação foi correlacionada à cronologia dos anéis de crescimento. Os resultados indicaram que a atividade cambial segue um ritmo anual de crescimento, correlacionado à sazonalidade do fotoperíodo, da precipitação e da fenologia vegetativa. A análise dos anéis de crescimento permitiu estimar a idade dos indivíduos e determinar a taxa média de incremento e as taxas de incremento diamétrico acumulado e incremento médio anual para a espécie no sítio de estudo. Os dados de incremento radial evidenciaram a ausência de relação entre a idade e o diâmetro das árvores. A análise da variação na largura dos anéis não apresentou correlações significativas com os fatores climáticos analisados.

Palavras-chave: Anéis de crescimento. Mata Atlântica. Tinguá.

ABSTRACT

Along the 20th century, a few dendrochronological studies were developed with tropical species, according to the belief that variations of the climatic conditions on those regions weren´t regular and strong enough to induce an annual rate of radial growth. The researches on this topic in the last decades showed that the formation of annual growth rings in the tropics may be associated to several factors, such as: existence of a distinct dry season, occurrence of seasonal floods and responses to photoperiod and to endogenous rhythms. The objective of this study is to comprehend radial growth dynamics of an Atlantic Rain Forest species growing in natural conditions. Therefore, it was purposed to: i) investigate the periodicity of cambial activity and its influencing factors; ii) estimate age and diameter growth rates and correlate the environmental factors with the growth rings, in *Cedrela odorata* L. trees. For the cambial activity study, stem samples containing periderm, cambial zone, secondary xylem and phloem were taken at 1.30 m from ground level, by nondestructive methods. Vegetative phenology and fruiting of the selected trees were monitored during the whole experiment period. The samples were processed with usual Plant Anatomy techniques and were analyzed under light and fluorescence microscopy. Photoperiod, precipitation, temperature and vegetative phenology data were correlated to cambial activity. For the growth ring study, the samples were also taken at 1,30 m from ground level, with increment borer. The samples were polished and analyzed with stereomicroscope, for the demarcation and counting of growth rings, and its length was measured for the determination of the radial growth rates. The historical temperature and precipitation data were correlated to the chronology of the growth rings. The results indicated that cambial activity follows an annual growth rhythm correlated to the seasonality of photoperiod, precipitation and vegetative phenology. The growth ring analysis allowed to estimate the age of the trees and to determine the mean increment rate, the accumulated diameter increment and the annual mean increment of the species in the study site. The radial increment data showed the absence of a relation between trees age and diameter. The variation of the rings length didn´t show significant correlations with the analyzed climatic factors.

Keywords: Growth rings. Atlantic Rain Forest. Tinguá.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	9
1	**DENDROCRONOLOGIA**	12
2	**A FAMÍLIA MELIACEAE**	15
2.1	**O gênero *Cedrela***	15
2.2	***Cedrela odorata* L.**	16
3	**OBJETIVOS**	19
2.1	**Objetivo Geral**	19
2.2	**Objetivos Específicos**	19
4	**MATERIAL E MÉTODOS**	20
4.1	**Área de estudo**	20
4.2	**Variáveis ambientais analisadas**	22
4.3	**Indivíduos de *C. odorata* estudados**	24
4.4	**Fenologia**	25
4.5	**Atividade cambial**	26
4.6	**Dendrocronologia**	28
4.7	**Análise estatística**	29
5	**RESULTADOS**	31
5.1	**Variáveis ambientais**	31
5.2	**Fenologia**	34
5.2.1	Fenologia e Variáveis ambientais	35
5.3	**Atividade cambial**	40
5.3.1	Atividade cambial e Variáveis ambientais	44
5.3.2	Atividade cambial e Fenologia	45
5.4	**Dendrocronologia**	46
6	**DISCUSSÃO**	50
7	**CONCLUSÕES**	57
8	**PERSPECTIVAS**	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é considerada como um dos mais ricos conjuntos de ecossistemas em termos de diversidade biológica do planeta. Distribuído ao longo de mais de 23 graus de latitude sul, o bioma é composto de uma série de fitofisionomias bastante diversificadas (RIZZINI, 1979; CAPOBIANCO, 2002; SCARANO, 2002). No levantamento realizado por Myers e colaboradores (2000), estimou-se que o bioma apresenta cerca de 20.000 espécies vegetais, dentre as quais 8.000 são endêmicas. Contudo, devido ao desmatamento, a Mata Atlântica ocupa o primeiro lugar mundial na lista de áreas prioritárias para conservação (CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL, 2011).

De acordo com o Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, o mapa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, previsto no Art. 2º da Lei nº 11.428 estabelece como integrantes do Bioma Mata Atlântica as seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; campos de altitude; áreas das formações pioneiras, conhecidas como manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais; refúgios vegetacionais; áreas de tensão ecológica; brejos interioranos e encraves florestais, representados por disjunções de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual; áreas de estepe, savana e savana-estépica; e vegetação nativa das ilhas costeiras e oceânicas. As duas formações vegetais predominantes na Mata Atlântica são a Floresta Ombrófila Densa, com distribuição ao longo da costa brasileira, e a Floresta Estacional Semidecidual, encontrada em regiões mais interiores do país (MORELLATO; HADDAD, 2000; SCARANO, 2002).

No sul, a Mata Atlântica forma uma faixa mais estreita e que não passa da cota dos 600 metros de altitude, pois, em elevações superiores, o frio predomina, inibindo o crescimento da vegetação tropical. À medida que avançamos para o norte, essa floresta pode ultrapassar os 1.000 metros de altitude e formar faixas bem largas afastando-se do mar. No Nordeste, o avanço oeste é barrado pelo clima mais seco do sertão e da caatinga, e os índices de precipitação determinam o limite da mata (BACKES; IRGANG, 2004). Sua área de distribuição estende-se por 17 estados brasileiros, situados principalmente ao longo da costa atlântica, entre o Rio Grande do Sul e o Rio Grande do Norte (SCHÄFFER; PROCHNOW, 2002). Ainda que reduzida e muito fragmentada (Fig. 1), a cerca de 7% de sua área original

(INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL, 2009), a Mata Atlântica apresenta grande relevância, uma vez que exerce influência direta na vida de mais de 80% da população brasileira que vive em seu domínio. Dentre as principais funções desse bioma, destacam-se a regulação do fluxo dos mananciais hídricos, a garantia de fertilidade do solo, o controle do clima e a proteção de escarpas e encostas das serras (CAPOBIANCO, 2002).

A falta de um amplo conhecimento científico sobre o bioma e a biologia de suas espécies tem sido apontado como uma das principais dificuldades para a conservação e manejo adequado das áreas remanescentes (LIMA; GUEDES-BRUNI, 1997; BRANDON *et al*., 2005). A compreensão dos ajustes biológicos e das formas de desenvolvimento que permitem a colonização e a sobrevivência em ambientes tão distintos dessa floresta é necessária para o estabelecimento de planos de manejo, seja para recuperação de áreas degradadas ou para exploração racional e sustentável (CALLADO, 2001).

Nesse contexto, destaca-se a análise dos anéis de crescimento de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, que representa uma importante ferramenta para o manejo florestal, à medida que permite a obtenção de dados diretos e confiáveis a respeito da dinâmica de crescimento das árvores e do próprio ambiente no qual elas estão inseridas (CALLADO, 2001; WORBES, 1995; ROIG, 2000).

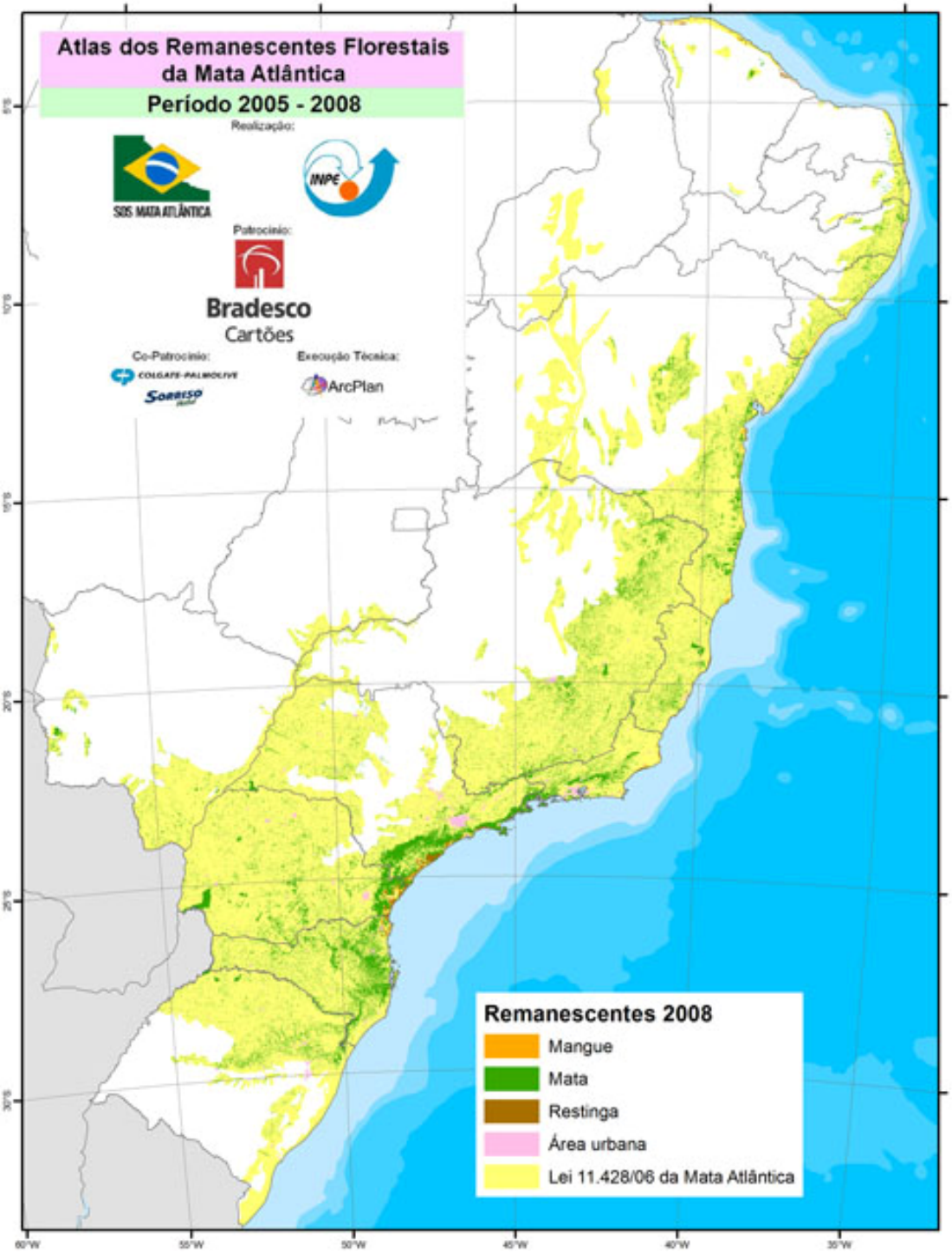

Figura 1. Mapa da área original da Mata Atlântica e dos remanescentes em 2008. Fonte: SOS Mata Atlântica 2009.

1 DENDROCRONOLOGIA

Uma das mais importantes questões não solucionadas nas pesquisas em florestas tropicais diz respeito à dinâmica dessas florestas, relacionando-se com a discussão do desenvolvimento sustentável, do período de tempo de regeneração natural e do ciclo do carbono na perspectiva do protocolo de Kyoto (WORBES, 2002). Enquanto as primeiras atenções voltavam-se mais para o manejo florestal e o plano econômico, as investigações atuais focalizam, preferencialmente, os aspectos ecológicos e conservacionistas, e mais recentemente, os aspectos climáticos globais (CALLADO *et al*., 2001, 2004; BRIFFA *et al*., 2004; SCHÖNGART *et al*., 2004; BRANDES, 2007; ESTRADA *et al*., 2008; LISI *et al.*, 2008; ZUMAETA, 2009; CALLADO; GUIMARÃES, 2010; BRANDES *et al*., 2011).

Worbes (1999) destaca que as pesquisas em ambientes tropicais são importantes para entender as inter-relações entre o desmatamento, as mudanças climáticas globais e as respostas no crescimento das florestas. A obtenção de informações confiáveis sobre a expectativa de vida e a taxa de incremento das espécies arbóreas é essencial para a reconstrução climática de seu ambiente de origem; para a compreensão da dinâmica sucessional das florestas e para o estabelecimento de estratégias eficientes de gestão florestal, visto que permitem a determinação da idade adequada de desbaste das árvores de modo a respeitar os ciclos de renovação populacional (BAAS; VETTER, 1989; ECKSTEIN *et al*., 1995; WORBES, 2002; BOTOSSO; MATTOS, 2002).

Além disso, os dados sobre a dinâmica de crescimento das árvores em ambientes naturais conservados permitem estimar a capacidade de seqüestro de carbono das espécies (WORBES 2002), por meio da determinação do volume e biomassa produzidos pelas árvores, calculados a partir do teor de carbono no lenho, da densidade da madeira, da espessura das camadas de crescimento e da altura das árvores (BELLOTE *et al.*, 2006).

O método mais seguro e reprodutível para a datação da idade de uma árvore que apresente anéis de crescimento anuais é, sem dúvida, a dendrocronologia (WORBES, 2002). A utilização dos anéis de crescimento para a obtenção de informações sobre a taxa de crescimento de uma espécie pode ser extremamente importante para a gestão da madeira como um recurso renovável, uma vez que o manejo de árvores tropicais em plantações renováveis auxilia a reduzir a pressão para extraí-las de ambientes naturais (JACOBY, 1989). Além disso, para uma melhor compreensão das variações climáticas, incluindo a ocorrência de secas e de inundações, são necessários registros climáticos mais extensos de regiões tropicais, os quais podem ser obtidos a partir da análise dos anéis de crescimento de árvores

antigas (JACOBY, 1989). Entretanto, ao longo do século XX, poucos estudos sobre o tema foram desenvolvidos em espécies de ambientes tropicais, em função de incertezas a respeito da sazonalidade climática nessas regiões e, consequentemente, da existência de anéis de crescimento anuais (WORBES, 1995, 1999, 2002). Somente a partir da década de 1980 foi observado um aumento nos estudos de dendrocronologia em regiões tropicais (WORBES, 2002). Na revisão desenvolvida por Tomazello-Filho e colaboradores (2009), são destacados alguns dos principais estudos sobre o tema, realizados na América Latina.

A formação de camadas de crescimento representa, geralmente, uma resposta à alternância sazonal de condições favoráveis e desfavoráveis ao crescimento da planta, uma vez que fatores climáticos sazonais estressantes podem induzir à dormência cambial das árvores (WORBES, 1995). O desenvolvimento de estudos com espécies tropicais nas últimas décadas revelou que a formação de anéis de crescimento anuais nesses ambientes está associada a fatores diversos, como: existência de estação seca bem definida, ocorrência de inundações sazonais, respostas ao comportamento fenológico, respostas ao fotoperíodo e a ritmos endógenos (WORBES, 1985, 1989, 1995, 1999; JACOBY, 1989; VERHEYDEN *et al*., 2004; CALLADO *et al*., 2001, 2004; BORCHERT, 1999; FAHN, 1995).

De acordo com Worbes (1995), a existência de uma estação seca anual, com pelo menos 2 meses de duração e precipitação mensal inferior a 60 mm, induz a formação de anéis anuais em espécies tropicais. Tal decréscimo das taxas de precipitação leva à redução do potencial hídrico do solo e, consequentemente, à dormência cambial (WORBES, 1999). Borchert (1994) descreve que condições sazonais de déficit hídrico podem afetar também a fenologia. Assim, as observações fenológicas podem indicar a possível sazonalidade do crescimento de uma espécie (JACOBY, 1989; WORBES, 1992, 1995, 1999). Um comportamento fenológico bem demarcado pode ser acompanhado pelo ritmo de crescimento radial e refletir a maneira pela qual as plantas utilizam os períodos favoráveis e desfavoráveis ao seu desenvolvimento (LIPSCHITZ; LEV-YADUN, 1986).

Correlações temporais entre a fenologia e a atividade cambial de árvores tropicais e subtropicais foram constatadas em espécies se desenvolvendo na Indonésia, Índia, Israel, Costa Rica e México (FAHN, 1962, 1995; REICH; BORCHERT, 1984; PRIYA; BHAT, 1999; RAO; RAJPUT, 2001; YAÑEZ-ESPINOZA *et al.*, 2010). No Brasil, esse tipo de correlação foi estabelecida em espécies do Cerrado, na região Centro Oeste (CORADIN, 2000; RIVERA *et al*., 2002), e da Mata Atlântica, em remanescentes de Floresta Ombrófila Densa Aluvial (CALLADO, 2001; CALLADO *et al*., 2001, 2004) e de Floresta Estacional Semidecidual (MARCATI; ANGYALLOSY 2005; MARCATI *et al*., 2006, 2008), ambas na

região Sudeste. Exceto pelos trabalhos de Callado (2001) e Callado *et al*. (2001, 2004), esses estudos foram realizados em locais de forte sazonalidade climática, cujo período de seca é bem demarcado, evidenciando uma correlação estreita entre a fenologia, a atividade cambial e a precipitação local.

Contudo, a existência de camadas de crescimento periódicas em árvores tropicais não implica na ocorrência de um ritmo de crescimento anual e, portanto, a periodicidade do crescimento de determinadas espécies em locais não estudados precisa ser investigada (WORBES, 1989). Além das análises e correlações com o comportamento fenológico, inúmeros métodos têm sido empregados para investigar a periodicidade de formação dos anéis de crescimento, tais como: contagem direta dos anéis de crescimento em árvores de idades conhecidas (GOURLAY, 1995; WORBES, 1995; ESHETE; STAHL, 1999; ESTRADA *et al*., 2008); injúrias cambiais (MARIAUX, 1967; SHIOKURA, 1989; WORBES *et al*., 1992; WORBES, 1989, 1999; CALLADO *et al*., 2001), análise do decaimento do C^{14} (CAIN; SUESS, 1976; WORBES, 1985, 1989; WORBES; JUNK, 1989; WORBES *et al*., 1992; HUA *et al*., 1999; LISI, 2000) e análise da atividade cambial (EVERT, 1963; KUTSCHA *et al*., 1975; MARCATI; ANGYALOSSY, 2005; MARCATI *et al*., 2006; ROSSI *et al*., 2006).

2 A FAMÍLIA MELIACEAE

A família Meliaceae pertence à ordem Sapindales Bentham *et* Hooker. Esta família é constituída por árvores de grande porte, e, muito raramente, arbustos, sendo encontrada em regiões de clima tropical ou temperado de altas temperaturas (METCALFE; CHALK, 1950; BARROSO, 1984). As espécies desta família são encontradas, sobretudo, na América, África e Ásia, mas também são descritas como ocorrendo na Nova Zelândia e Austrália (GONZÁLEZ, 1976).

A partir da revisão dos gêneros por Pennington e Styles (1975), as Meliaceae foram subdivididas em 4 subfamílias, dentre as quais somente Melioideae Harms e Swietenioideae Harms estão representadas no Brasil. No país, foram descritas 82 espécies da família, subordinadas a 6 gêneros. Dentre estes, *Trichilia* P. Browne, *Cabralea* A. Juss. e *Guarea* L. pertencem à subfamília Melioideae, enquanto *Cedrela* P. Browne, *Swietenia* Jacquin e *Carapa* Aublet das Switetenioideae. No estado do Rio de Janeiro, foi descrita a ocorrência de 23 espécies subordinadas a seis gêneros (BARROSO, 1984; PIRATININGA-AZEVEDO, 1996, 1999).

Tomazello-Filho e colaboradores (2000; 2001a; 2001b) destacam que as Meliaceae constituem-se em representantes da flora tropical com grande potencial para o desenvolvimento de estudos dendrocronológicos. Diversos fatores são citados para justificar esta condição, tais como a riqueza da família em ecossistemas florestais; a existência de eventos fenológicos marcantes em diversas espécies; a presença de anéis de crescimento anuais nítidos e bem delimitados; a densidade intermediária da madeira, que possibilita a coleta de amostras por métodos não destrutivos; a alta taxa de crescimento das árvores e a existência de informações acerca da dinâmica de crescimento e biologia de algumas das espécies.

2.1 O gênero *Cedrela*

O gênero *Cedrela* P. Browne (Meliaceae) foi estabelecido em 1756, a partir de uma árvore de *Cedrela odorata* encontrada na Jamaica, espécie posteriormente descrita por Linnaeus, em 1759 (ROSERO, 1976). Os representantes de *Cedrela* são tipicamente americanos (BARROSO 1984), mas o gênero é caracterizado como generalista em relação ao clima, podendo ser encontrado sobre ampla distribuição geográfica (CINTRÓN, 1990). O

gênero é bem representativo em florestas tropicais úmidas e florestas tropicais e subtropicais estacionalmente secas (HOLDRIDGE, 1976; TOMAZELLO-FILHO *et al.*, 2000). Holdridge (1976) descreve ainda a ocorrência de *Cedrela* em parte da zona temperada do hemisfério sul, onde há temperaturas apenas ligeiramente inferiores a 0 ºC. Segundo o autor, as espécies crescem melhor em regiões úmidas com solos férteis e boa drenagem.

Na América Tropical, o gênero compreende oito espécies, dentre as quais somente *Cedrela odorata* L.; *Cedrela fissilis* Vell.; *Cedrela angustifolia* Ses. *et*. Moc. ex DC e *Cedrela lilloi* C. DC. ocorrem no Brasil (CERVI *et al*., 2008; TOMAZELLO-FILHO *et al.*, 2000). A distribuição de *C. odorata* no país abrange as regiões norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul do país. *C. fissilis* também se encontra distribuída do norte ao sul do Brasil, incluindo as regiões centro-oeste e sudeste. *C. angustifolia* ocorre na floresta atlântica do sudeste do Brasil e, com menor expressividade, no sul da Bahia e no estado do Pará. Por fim, *C. lilloi* pode ser encontrada na região sul do país (PIRATININGA–AZEVEDO, 1996; TOMAZELLO-FILHO *et al*., 2000).

As árvores de cedro apresentam crescimento relativamente rápido e podem ser observadas ocupando sítios abertos em florestas naturais (ROSERO, 1976).

2.2 *Cedrela odorata* L.

Os indivíduos da espécie são árvores de grande porte, que podem atingir até 40 metros de altura e com tronco de até 150 centímetros de diâmetro (Fig. 4). Suas árvores são decíduas, heliófitas ou de luz difusa, seletivas higrófitas, características das matas primárias e secundárias altas de terra firme. Esta espécie é indicada para plantio com fins de preservação, em reflorestamentos destinados ao repovoamento de áreas degradadas, principalmente em matas ciliares e vegetação secundária (SMITH JR., 1965; LORENZI, 1998; BACKES; IRGANG, 2004). Também é realizado plantio voltado para a utilização comercial da madeira (CINTRÓN, 1990), além de já ter sido utilizada para a arborização de vias urbanas (SMITH JR., 1965).

Árvore típica das regiões neotropicais, *Cedrela odorata* é encontrada nas florestas subtropicais e tropicais úmidas e estacionais, desde a latitude 26º N, na costa do México, em toda a América Central e Índias Ocidentais, até seu limite sul na Argentina, ao redor da latitude 28º S (Fig.2). Esta espécie pode ser encontrada naturalmente em solos bem drenados, tolera larga temporada de seca, mas não suporta áreas com precipitações superiores a 3000

mm anuais (CINTRÓN, 1990; PENNINGTON *et al.*, 1981 *apud* CERVI *et al.*, 2008). As melhores condições climáticas para o desenvolvimento da espécie são observadas em climas estacionalmente secos, o que é refletido por seu hábito caducifólio e pela formação de anéis de crescimento distintos (CINTRÓN, 1990).

No Brasil, é encontrada em todas as formações vegetais da zona tropical, à exceção do cerrado. Esta espécie é particularmente freqüente na Mata Atlântica, onde está distribuída da Bahia ao Rio Grande do Sul, na Floresta Pluvial Amazônica e nas matas ciliares do interior do país (LORENZI, 1998; BACKES; IRGANG, 2004).

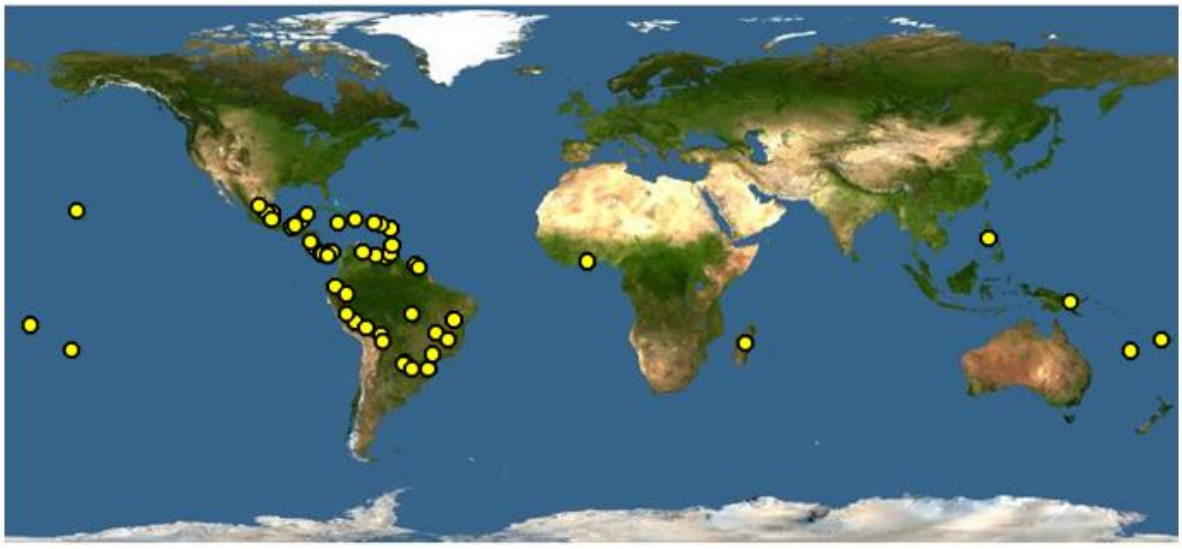

Figura 2. Mapa de distribuição global de *Cedrela odorata*.
Fonte: Discover Life.

Cedrela odorata apresenta madeira de ótima qualidade, resistente a cupins e à podridão, e por isso, a espécie foi muito explorada comercialmente (BACKES; IRGANG, 2004; CINTRÓN, 1990). Possui boa resistência mecânica e caracteriza-se por ser madeira leve (densidade de 0,66 g/cm^3), macia e fácil de trabalhar, sendo utilizada para a fabricação de laminados, móveis, lambris e tabuado em geral, além da aplicação na construção naval e civil (LORENZI, 1998; PIRATININGA-AZEVEDO, 1999; TOMAZELLO-FILHO *et al.*, 2000).

O lenho da espécie é caracterizado por apresentar parênquima distinto, disposto em faixas marginais regulares estreitas ou largas; e camadas de crescimento demarcadas pela disposição dos elementos de vaso em anéis semiporosos e pelo parênquima marginal. A madeira apresenta elementos de vaso de diâmetros grandes e médios, predominantemente solitários, sendo os maiores localizados junto ao parênquima marginal; raios praticamente homogêneos e parênquima vasicêntrico e aliforme. Canais intercelulares verticais podem ser

encontrados em resposta a traumas. A coloração do cerne varia do bege rosado escuro ao castanho claro rosado e ao castanho avermelhado, e seu odor característico é utilizado como critério de identificação da espécie (MAINIERI *et al.*, 1983; LOUREIRO *et al.*, 1994; METCALFE; CHALK, 1950; TOMAZELLO-FILHO *et al.*, 2000).

A espécie apresenta folhas compostas paripinadas, com folíolos lanceolado-ovalados. Os frutos são do tipo cápsula septífraga, com coluna central e valvas lenhosas, com deiscência a partir do ápice (Fig. 3) e sementes aladas. As flores são unissexuais, contendo cinco estames com filetes livres, presos à coluna do receptáculo até a altura da inserção do ovário (SMITH JR., 1965; BARROSO, 1984; PIRATININGA–AZEVEDO, 1996).

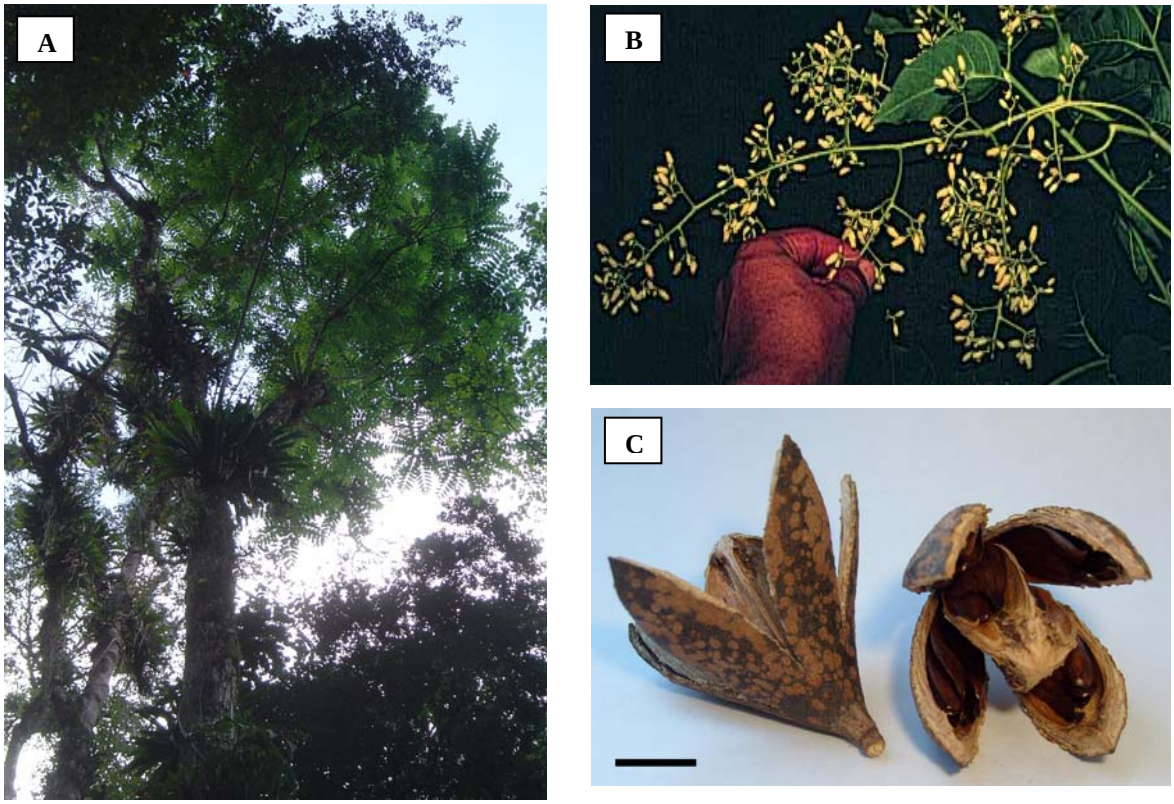

Figura 3. Aspecto geral de *Cedrela odorata*. A) Hábito do indivíduo na Reserva Biológica do Tinguá, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. B) Detalhe da flor (Fonte: Area de Conservación Guanacaste). C) Detalhe do fruto. Barra = 1cm.

A utilização de *C. odorata* para o reflorestamento de áreas degradadas, a aplicação econômica de sua madeira, a representatividade da espécie em remanescentes florestais da Mata Atlântica e sua ampla distribuição geográfica a tornam um importante grupo para a realização de estudos voltados à conservação e exploração sustentável dos recursos naturais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Investigar a dinâmica de crescimento e o tempo de vida de indivíduos de *Cedrela odorata* em uma população natural da Floresta Atlântica, na Reserva Biológica do Tinguá, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro.

3.2 Objetivos Específicos

i. Caracterizar a periodicidade da atividade cambial de *C. odorata*, a fim de verificar se a formação de anéis de crescimento corresponde a um ritmo anual.

ii. Analisar a influência da fenologia sobre o crescimento radial da espécie;

iii. Verificar se as variações sazonais dos fatores ambientais influenciam a atividade cambial e o comportamento fenológico;

iv. Estimar a idade de indivíduos com grande diâmetro no sítio de estudo, por meio da dendrocronologia;

v. Determinar a taxa de incremento médio radial anual e a trajetória de crescimento dos indivíduos investigados;

vi. Verificar a correlação entre o crescimento das árvores e os fatores ambientais locais (precipitação e temperatura), por meio da análise dos anéis de crescimento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Reserva Biológica do Tinguá (REBIO do Tinguá), Unidade de Conservação Federal criada pelo decreto 97.780 de 23 de maio de 1989 e localizada no estado do Rio de Janeiro, na região central da cadeia da Serra do Mar, nas coordenadas 22º 28’ – 22º 39’ S e 43º 13’ – 43º 34’ W (Figs. 4 e 5). A reserva, que engloba uma área de cerca de 26.000 hectares, abrange os municípios de Petrópolis (4,26 %), Nova Iguaçu (55,14%), Duque de Caxias (37,44%) e Miguel Pereira (3,16 %) e constitui um dos mais importantes remanescentes de Floresta Atlântica do Brasil (MMA/IBAMA, 2006).

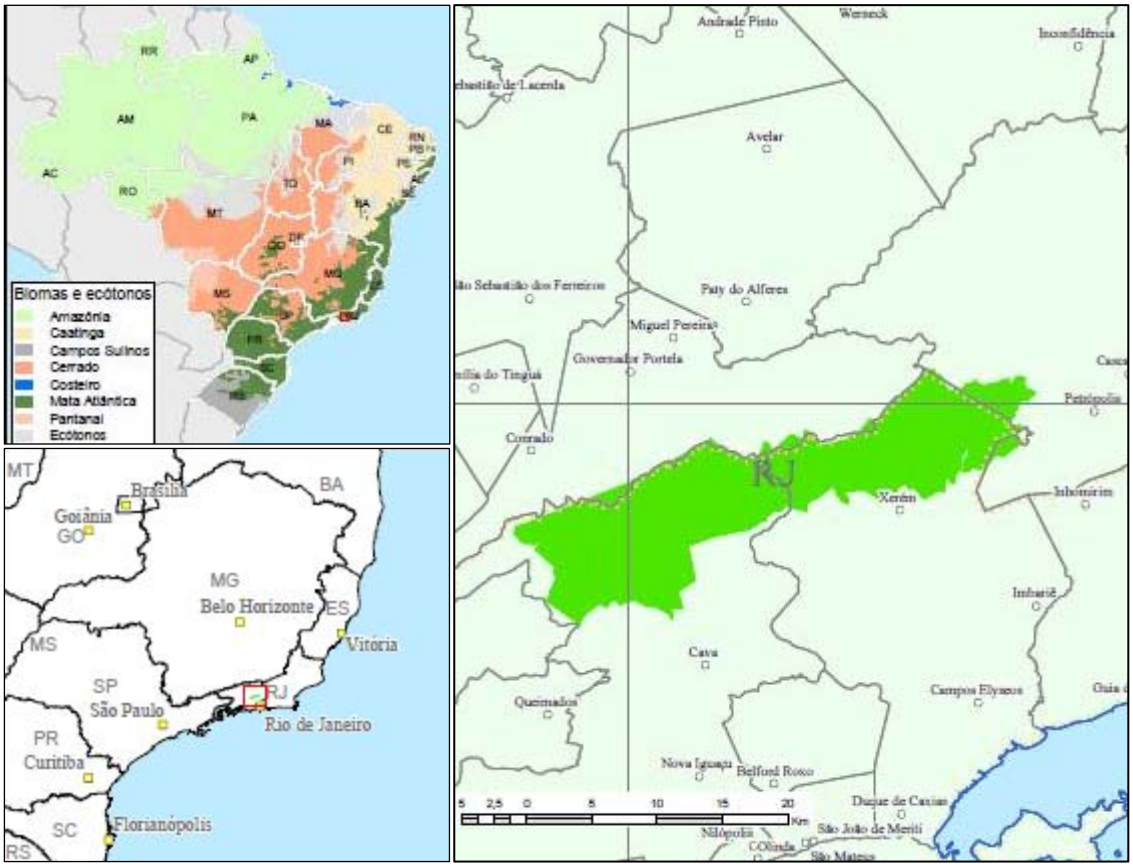

Figura 4. Localização da Reserva Biológica do Tinguá.
Fonte: IBAMA 2004.

Figura 5. Imagem de satélite do fragmento florestal e do entorno da REBIO do Tinguá. Fonte: Google Maps 2009.

Seguindo a terminologia empregada por Veloso *et al.* (1991), as subformações vegetais reconhecidas na caracterização fisionômico-florística da REBIO são: Floresta Ombrófila Densa submontana, montana e altomontana e Campos de Altitude (JBRJ –2002).

As coletas foram realizadas em área de Floresta Ombrófila Densa submontana, nas proximidades da Estrada do Colomi (Fig. 6).

Figura 6. Aspecto geral da vegetação ao longo da estrada do Colomi, na REBIO do Tinguá.

4.2 Variáveis ambientais analisadas

Os dados de fotoperíodo foram obtidos do Observatório Nacional (Efemérides Astronômicas 2004; 2005; 2006; 2009; 2010) e tabulados a partir de dados diários para a cidade do Rio de Janeiro. Os dados climáticos de Nova Iguaçu - RJ foram obtidos da empresa SOMAR Meteorologia Ltda. As médias históricas de precipitação e temperatura foram calculadas com base nos dados interpolados de estações climáticas próximas ao município e abrangem o período de 2000 a 2010. O clima da região foi definido de acordo com a classificação de Köppen (1948). Com base nos dados climáticos, foram estimados os períodos de déficit hídrico (Figura 13), de acordo com Walter (1975). O período utilizado para as correlações com a fenologia e atividade cambial são apresentados na Tabela 1.

Devido à necessidade de se utilizar um período de tempo mais extenso para testar a correlação entre os fatores climáticos e a cronologia das árvores, foram utilizados dados da estação meteorológica Embrapa Agrobiologia Seropédica/RJ, registrados para o período entre 1980 e 2007. Para avaliar a semelhança das variações climáticas entre Seropédica e Nova Iguaçu, foi realizado o teste de correlação de Pearson (ZAR, 1999).

Tabela 1: Período de análise dos experimentos realizados.

Experimentos	Períodos					
	1980 ~	2004	2005	2006	2009	2010
	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J
Fenologia						
Atividade Cambial						
Correlação Fenologia - Variáveis ambientais						
Correlação Atividade cambial - Fenologia / Variáveis ambientais						
Correlação Anéis de crescimento - Clima						

4.3 Indivíduos de *C. odorata* estudados

Indivíduos adultos, de fuste reto, sem bifurcações ou deformidades aparentes, ocupando o estrato emergente da floresta foram selecionados para este estudo. As árvores apresentavam altura superior a 25 metros e diâmetro superior a 40 centímetros (diâmetro médio de 67,5 ± 18 cm). Dez indivíduos foram acompanhados quanto ao comportamento fenológico. Quatro desses indivíduos foram escolhidos para o acompanhamento da atividade cambial no primeiro ano de experimento. Os outros cinco foram somados a esses indivíduos no segundo ano de estudo da atividade cambial. Treze foram utilizados para a análise dendrocronológica (Tabela 2).

O material botânico de referência está depositado no Herbário da Universidade do Estado do Rio de Janeiro sob os números de registro HRJ: 11031 a HRJ: 11035.

Tabela 2: Tipo de investigação realizada em indivíduos de *Cedrela odorata* estudados.

Indivíduo	**Investigação realizada**		
	Fenologia	**Atividade cambial**	**Dendrocronologia**
1			X
2	X	X	X
3			X
4	X	X	X
5	X	X	X
6	X	X	X
7			X
8	X	X	X
9			X
10			X
11	X		X
12	X	X	X
13	X	X	X
14	X	X	
15	X	X	

4.4 Fenologia

O comportamento fenológico de dez indivíduos de *C. odorata* (Tabela 2) foi monitorado mensalmente, por observação direta da copa das árvores (Figura 7), com auxílio de binóculo (Tabela 1). As fenofases vegetativas acompanhadas foram: brotamento foliar; abscisão foliar e presença de folhas jovens, adultas ou senescentes. Devido à altura elevada das árvores e ao tamanho reduzido das flores, apenas a fenofase reprodutiva frutificação foi acompanhada. Essa fenofase foi registrada por meio de análise qualitativa (BENCKE; MORELLATO, 2002).

Para a análise das fenofases vegetativas foi realizada uma avaliação quantitativa por meio do índice de intensidade de Fournier (FOURNIER, 1974; BENCKE; MORELLATO, 2002), estimando intervalos percentuais de 25% para cada fenofase, aos quais foram atribuídos índices de 0 a 4 (0 = ausência da fenofase; 1 = 1-25%; 2 = 26-50%; 3 = 51-75% e 4 = 76-100%). O percentual de intensidade (FOURNIER, 1974) de cada fenofase foi calculado a partir do somatório dos índices de Fournier dos indivíduos em cada uma das fenofases, dividido pelo máximo valor possível. No presente estudo, esses percentuais de intensidade foram aplicados também para estimar a quantidade total de folhas na copa das árvores, independentemente da fenofase em que se encontravam. A sincronia das fenofases vegetativas foi calculada de acordo com o índice proposto por Augspurger (1983). Com base nesse índice, os eventos fenológicos foram classificados quanto ao grau de sincronia, segundo a definição de Bencke e Morellato (2002).

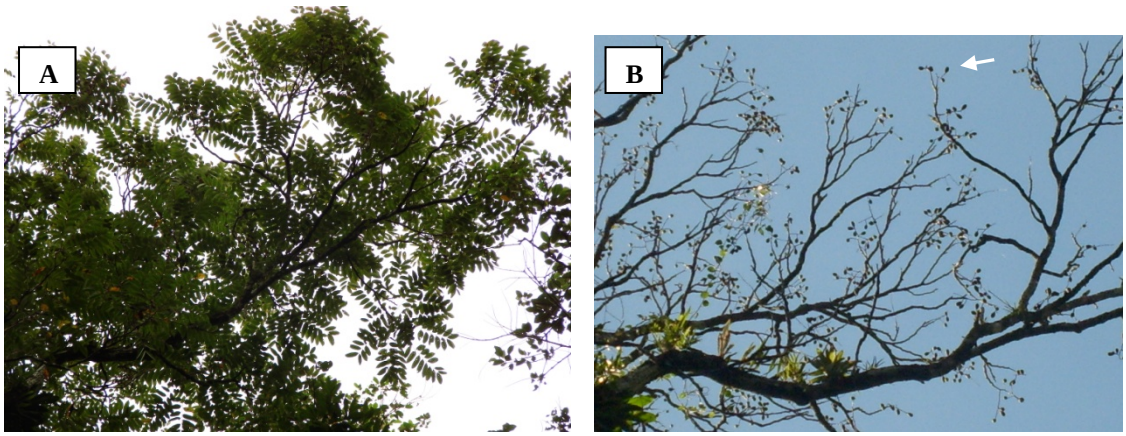

Figura 7. Aspecto dos ramos de um mesmo indivíduo de *C. odorata* em diferentes estádios fenológicos. A) Copa 100% preenchida com folhas completamente expandidas (fenofase folhas adultas). B) Copa desprovida de folhas (fenofase abscisão foliar), evidenciando elevada quantidade de frutos (seta).

4.5 Atividade cambial

Neste trabalho, foi adotado o termo faixa cambial para indicar as células iniciais e suas derivadas imediatas, que ainda não sofreram alongamento e/ou diferenciação (ANGYALOSSY; MARCATI, 2003).

Dos nove indivíduos selecionados para o acompanhamento da atividade cambial (Tabela 2), foram obtidas amostras de caule a uma distância de 1,30 m acima do solo (Diâmetro à Altura do Peito – DAP) por métodos não destrutivos (Fig. 8). Cada amostra coletada continha periderme, floema secundário, faixa cambial e xilema secundário recém-formado. As coletas foram realizadas nas diferentes estações climáticas do ano (inverno, primavera, verão e outono), sempre na metade de cada uma das estações (Tabela 3).

Tabela 3: Meses em que foram coletadas amostras de caule para o acompanhamento periódico da atividade cambial.

Estação do ano	Inverno	Primavera	Verão	Outono
2004-2005	Julho	Outubro	Fevereiro	Maio
2009-2010	Agosto	Novembro	Fevereiro	Maio

As amostras foram fixadas em formalina-ácido acético-etanol 50 % ou CRAF III (SASS, 1958); desidratadas em etanol; incluídas em resina glicol-metacrilato (FEDER; O'BRIEN, 1968) e seccionadas em micrótomo rotativo, a uma espessura média de 5 µm, nos planos transversal e longitudinal radial. Para as análises de microscopia de campo claro, as seções histológicas foram coradas por Azul de Toluidina O (JOHANSEN, 1940). As análises e contagens do número de células na faixa cambial foram realizadas ao microscópio Olympus BX41-BF-I-20, e as imagens, obtidas com câmera de vídeo Q Collor R3 e software Image-Pro Express 6.0. O número de células na faixa cambial foi aferido em 15 campos distintos, para cada um dos indivíduos amostrados, em cada uma das estações climáticas analisadas. O número amostral foi determinado pelo cálculo do tamanho de amostra para um nível de significância de 5% (ARMITAGE; BERRY, 1987).

Marcadores fluorescentes foram aplicados para evidenciar o estado de desenvolvimento das células dos tecidos condutores recém-formados (CALLADO *et al.*, dados não publicados). O fluorocromo Auramina O foi aplicado para visualizar a lignificação das células do xilema e o Azul de Anilina, para detectar elementos de tubo crivado obliterados

por calose (HARRIS; OPARKA, 1994). As análises de microscopia de fluorescência foram realizadas ao microscópio Olympus BX 50, e as imagens, obtidas com câmera de vídeo Cool Snap-PRO e software Image Pro Plus 4.0. Para a Auramina O, foi utilizado filtro de excitação de 470 a 490 nm e filtro de emissão de 515 a 565 nm. Para o Azul de Anilina, utilizou-se filtro de excitação de 330 a 365 nm e filtro de emissão de 455 a 480 nm.

Figura 8. Coleta não destrutiva do caule para a análise da atividade cambial. A-B) Incisão do caule por meio de serrote e facão. C) Retirada da amostra. D) Amostras segmentadas em corpos de prova menores.

4.6 Dendrocronologia

Para as análises dendrocronológicas, amostras de treze árvores de *C. odorata* (Tabela 2) foram coletadas com o auxílio de sonda de Pressler. De cada indivíduo selecionado, foram obtidas de duas a quatro amostras radiais, apresentando 0,5 cm de diâmetro e comprimento variável, de acordo com o diâmetro da árvore no nível do DAP (Fig. 9).

As amostras foram orientadas e coladas transversalmente em suportes de madeira, desidratadas a temperatura ambiente e polidas, com o auxílio de lixadeira orbital DeWalt, utilizando lixas de 80 até 600 grãos/cm², com granulometria sucessivamente menor (Fig.10). Em seguida, foram observadas sob microscópio estereoscópico e sob lupa manual com ampliação de 10 x, para a análise macroscópica dos anéis de crescimento e a demarcação e contagem dos mesmos (Fig. 10). Posteriormente, as amostras foram digitalizadas por meio de scanner, com resolução de 1200 dpi. As imagens obtidas foram utilizadas para aferição da largura dos anéis, com auxílio do software Image-Pro Plus 4.0.

Com base na largura média das camadas de crescimento das diferentes amostras radiais, foram calculadas as taxas de incremento médio anual e o incremento diamétrico acumulado das árvores estudadas. A partir desses dados, foram estimadas as trajetórias de crescimento de cada indivíduo.

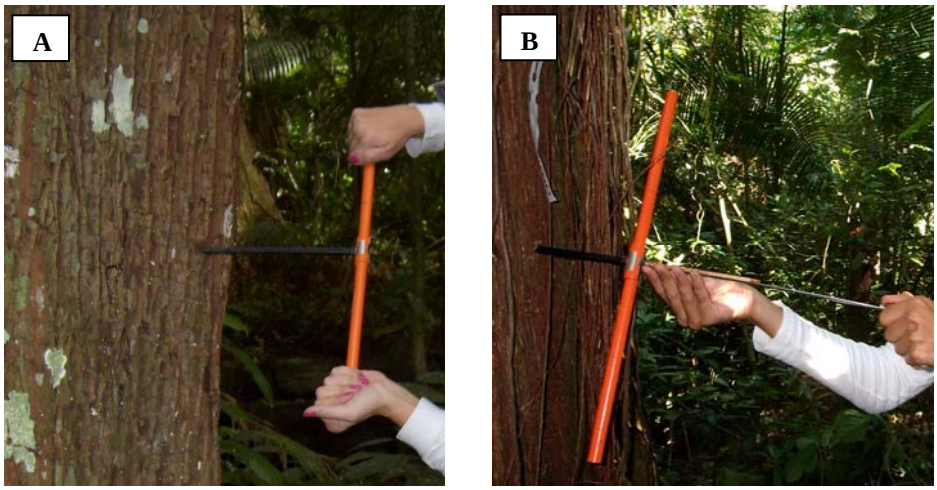

Figura 9. Coleta de amostras do lenho para análise dendrocronológica. A) Utilização da sonda de Pressler. B) Extração da amostra.

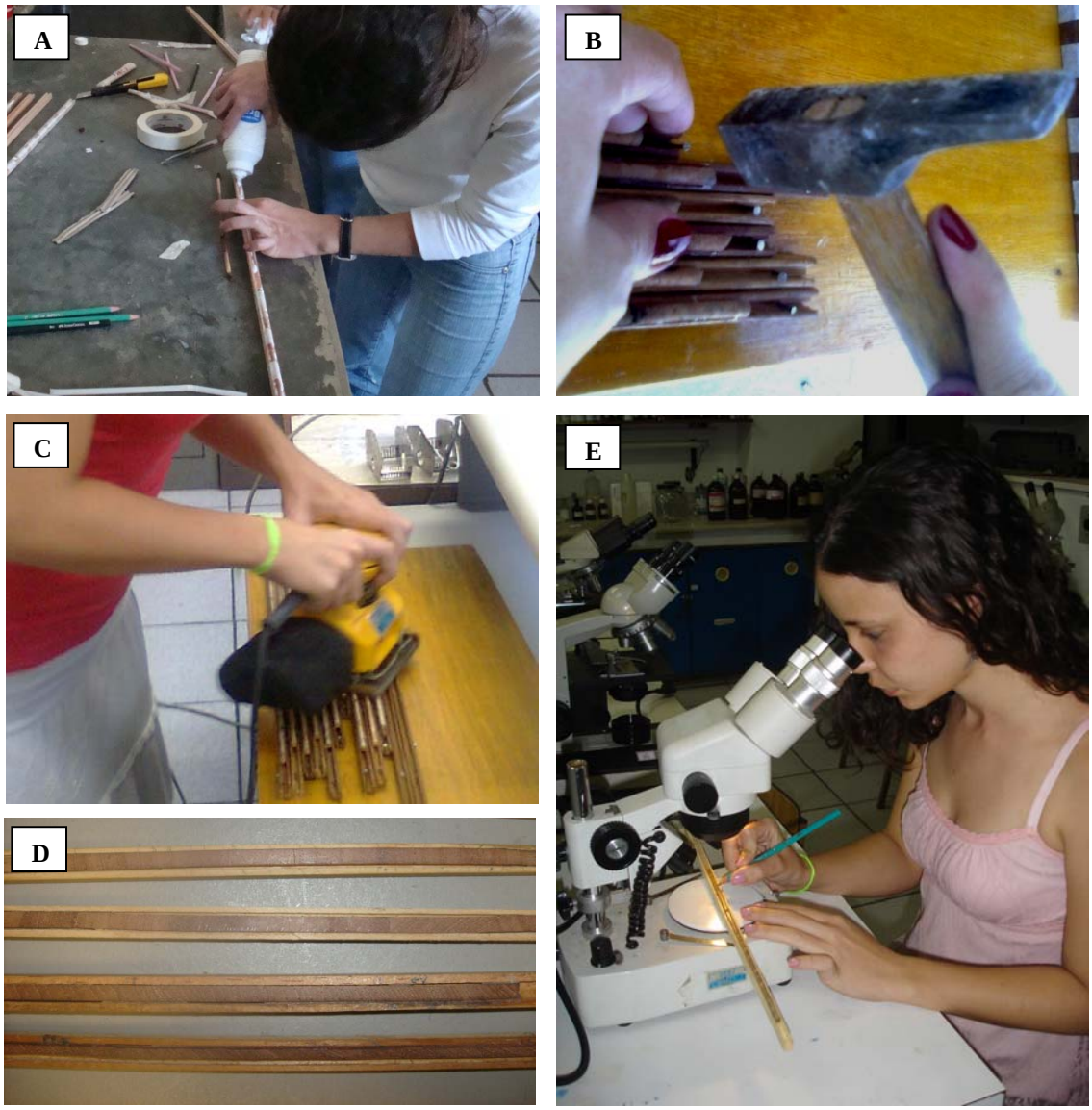

Figura 10. Preparo das amostras para análise macroscópica e demarcação dos anéis de crescimento. A) Colagem das amostras em suportes de madeira. B) Fixação dos suportes contendo as amostras em uma superfície plana. C) Polimento das amostras com lixadeira orbital. D) Aparência das amostras após o polimento. E) Observação das amostras em microscópio estereoscópio.

4.7 Análise estatística

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para testar a normalidade dos dados analisados (ZAR, 1999).

Para avaliar a correlação entre o comportamento fenológico e as variáveis ambientais, foi utilizado o teste de correlação de Spearman (ZAR, 1999). Para avaliar a correlação entre a atividade cambial e as variáveis ambientais aplicou-se o teste de correlação de Pearson (ZAR,

1999). Em ambos os casos, foram testadas as correlações com as variáveis ambientais referentes ao mês da coleta e aos dois meses que a antecederam (FERRAZ *et al*., 1999).

A fim de testar a influência do comportamento fenológico sobre a atividade cambial, os dados de fenologia vegetativa foram correlacionados também com a quantidade média de células na faixa cambial, por meio do teste de Spearman (ZAR, 1999). As análises foram realizadas com os dados de fenologia vegetativa referentes ao mês da coleta e aos dois meses que a precederam. Todos os testes de correlação foram realizados por meio do software Statistica 7.

No estudo dendrocronológico, visando eliminar os anéis falsos e/ou ausentes, foi realizada a datação cruzada das amostras provenientes de uma mesma árvore. Para a construção da cronologia de *C. odorata* na área de estudo, foi realizada a co-datação das séries cronológicas amostradas em diferentes árvores, por meio do software COFECHA (HOLMES, 1983; KITZBERGER *et al.*, 2000). A rigidez de spline que levou às melhores correlações entre os raios foi utilizada para a estardartização das séries cronológicas. As amostras que apresentaram os melhores resultados de intercorrelação foram selecionadas para construção da cronologia, com o auxílio do software CRONOL.

Em seguida, testes de correlação de Pearson (BRIENEN; ZUIDEMA, 2005) foram realizados para investigar a relação entre a cronologia e as variações na precipitação e temperatura, observados nos diferentes meses e estações climáticas do ano. Estes testes foram aplicados também para averiguar a influência do total de precipitação anual sobre a formação das camadas de crescimento. As análises foram realizadas com os dados climáticos do ano de crescimento corrente e do ano de crescimento prévio.

5 RESULTADOS

5.1 Variáveis ambientais

Os dados climáticos para a região indicaram uma tendência bem marcada na série histórica, com invernos frios e secos e verões quentes e chuvosos. As médias históricas climáticas da última década (2000 a 2010) evidenciaram que a estação fria e seca se estende de maio a setembro (Figs. 11 e 12), com variação de 20 a 23 ^{o}C na temperatura média. Junho, julho e agosto apresentaram os mais baixos índices pluviométricos, com valores médios de precipitação mensal acumulada inferiores a 50 mm. A estação quente e úmida tem início em outubro e se estende até abril, sendo caracterizada por temperaturas médias entre 24 e 27 ^{o}C e taxas médias de precipitação mensal acumulada superiores a 100 mm (Figs. 11 e 12). Novembro, dezembro e janeiro foram os meses que apresentaram os mais elevados índices pluviométricos, com médias de 168 (± 37), 210 (± 90) e 223 (± 101) mm, respectivamente. O clima da região pode ser definido como tropical chuvoso com estação seca no inverno, correspondendo ao tipo Aw de Köppen (1948).

A construção de diagramas de balanço hídrico para o período de estudo indicou a ocorrência de déficit hídrico bem marcado nos invernos de 2004 e 2005, enquanto que o inverno de 2009 não apresentou déficit (Fig. 13).

Os testes de correlação entre os dados climáticos de Nova Iguaçu e de Seropédica indicaram tendências similares da variação pluviométrica (r^2 = 0,58; p=0,00) e da temperatura (r^2=0,69; p=0,00) entre as duas regiões.

Em relação à duração do comprimento do dia, foi observada uma variação média anual de 2:46 horas, entre o mês com dias mais curtos e o mês com dias mais longos (Fig. 14). Junho foi o mês com dias mais curtos (em média, 10:44 horas de luz) e dezembro, com dias mais longos (em média, 13:30 horas de luz).

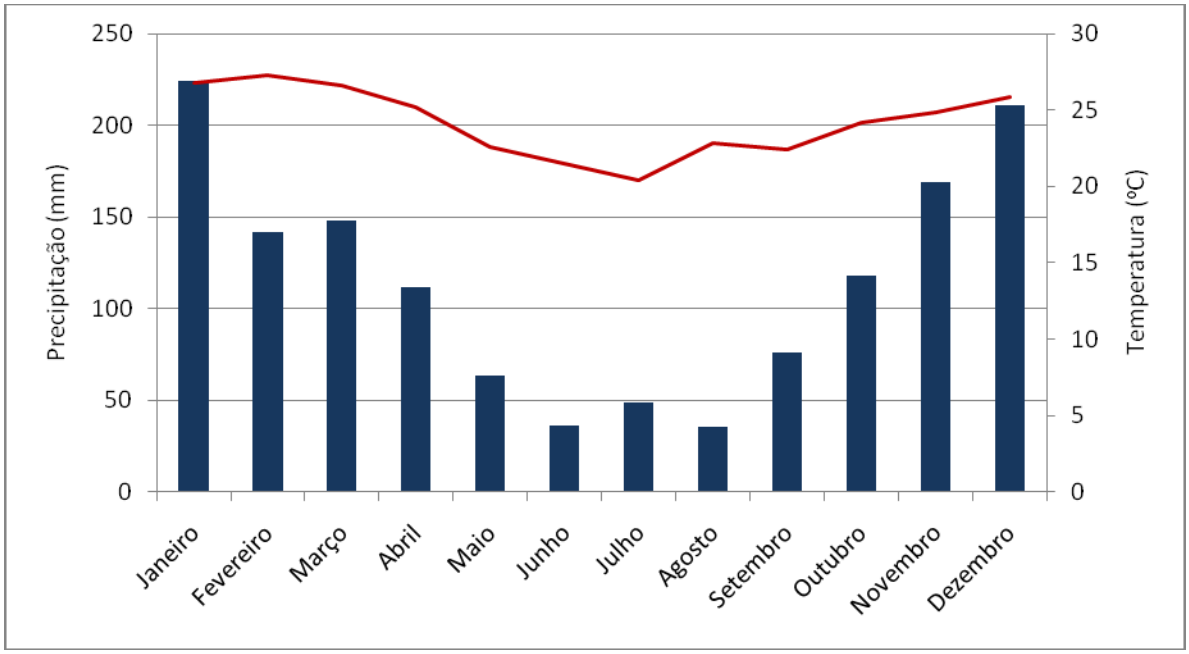

Figura 11. Série histórica climática para a região de Nova Iguaçu, no período de 2000 a 2010.

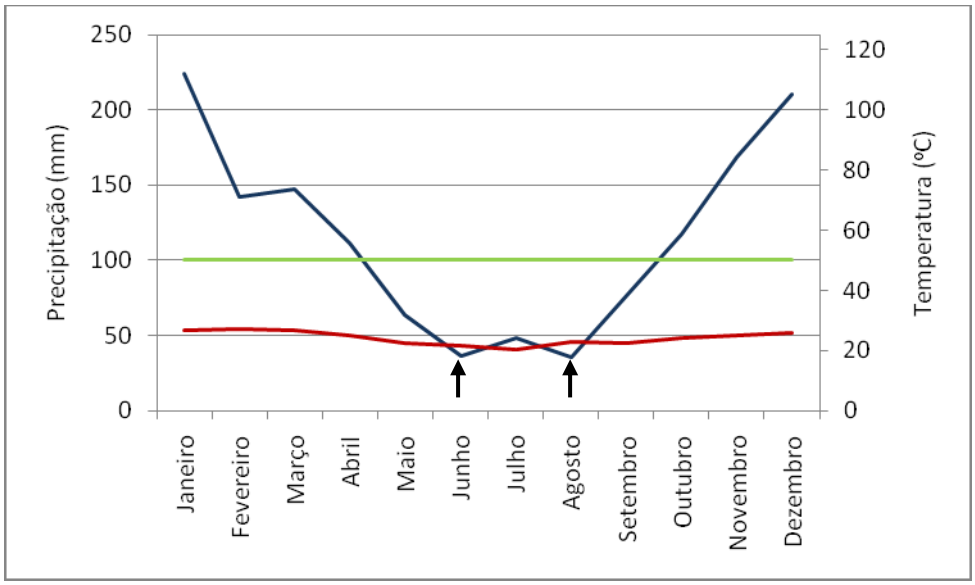

Figura 12. Balanço hídrico (Walter *et al.*, 1975) da série histórica climática para a região de Nova Iguaçu, no período de 2000 a 2010. A linha azul corresponde às médias de precipitação e a linha vermelha, às médias de temperatura. A área acima da linha verde corresponde ao período super úmido. As setas indicam os períodos de déficit hídrico.

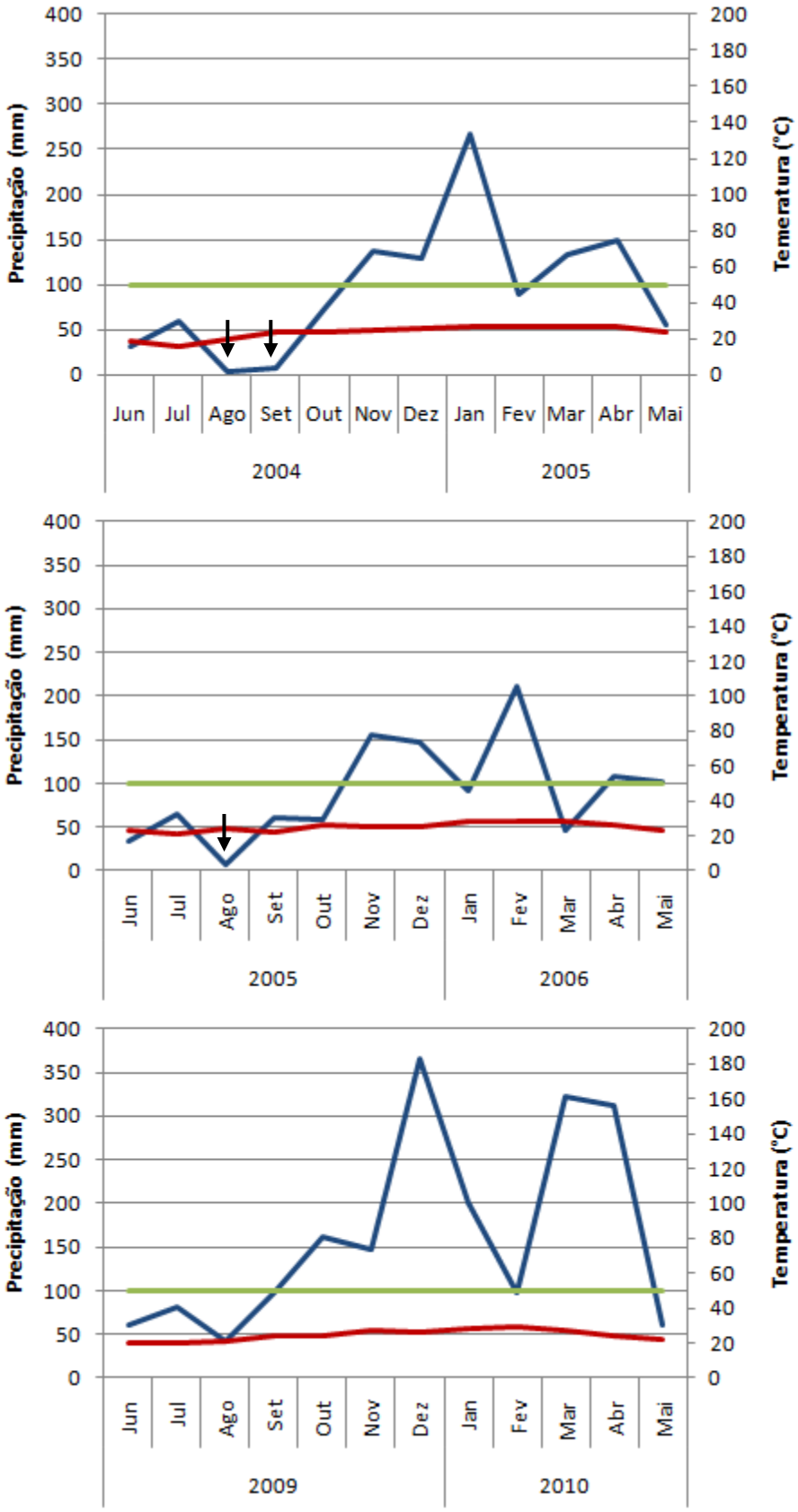

Figura 13. Balanço hídrico (Walter *et al.*, 1975) correspondente ao período de estudo. A linha azul corresponde às médias de precipitação e a linha vermelha, às médias de temperatura. A área acima da linha verde corresponde ao período super úmido. As setas indicam os períodos de déficit hídrico.

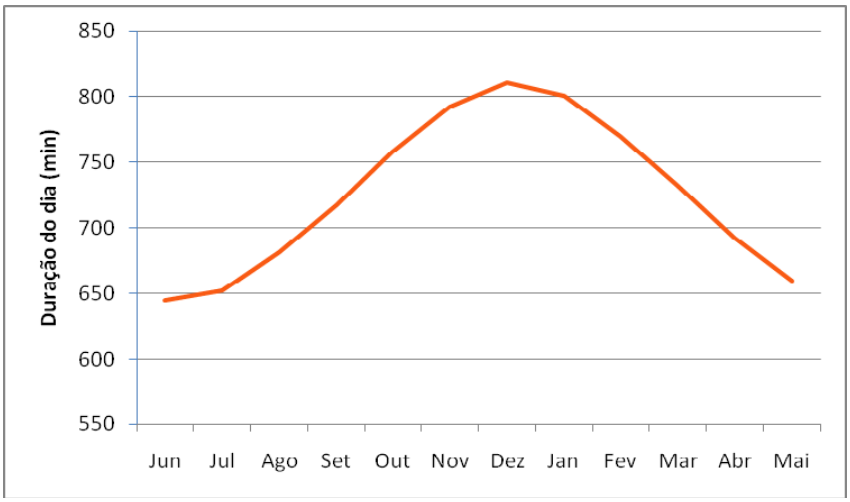

Figura 14. Fotoperíodo médio mensal (em minutos) da cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Observatório Nacional.

5.2 Fenologia

A análise do comportamento fenológico evidenciou o caráter decíduo de *C. odorata* na Reserva Biológica do Tinguá. Os indivíduos monitorados apresentaram 100% de abscisão foliar (Fig. 7 B) em todos os anos de estudo, sendo o início da fenofase concentrado em abril. Em todos os anos analisados, o período de deciduidade se estendeu até julho (Figs. 15 a 17). O índice de sincronia de abscisão foliar apresentou valores elevados (Tabela 4). Por apresentar proporção superior a 60% em todos os anos em que foi acompanhada, a abscisão foliar foi classificada como altamente sincrônica.

A fenofase brotamento foi observada de julho a agosto em 2004 (Fig. 15) e 2006, e de julho a setembro em 2005 e 2009 (Figs. 16 e 17). Este evento apresentou elevado valor de sincronia (Tabela 4), sendo classificado como altamente sincrônico, por apresentar proporção superior a 60% em todo o período analisado.

Tabela 4: Índice de sincronia das fenofases abscisão e brotamento foliar, calculado de acordo com Augspurger (1983).

	Índices de Sincronia				
	2004	2005	2006	2009	2010
Abscisão	–	0,88	0,83	0,86	0,89
Brotamento	0,86	0,84	0,86	0,80	–

5.2.1 Fenologia e Variáveis ambientais

A abscisão foliar ocorreu entre o outono e o inverno, período em que a precipitação, a temperatura e o fotoperíodo encontravam-se reduzidos (Figs. 15 a 17). A existência de correlações negativas significativas da abscisão foliar com a temperatura e o fotoperíodo observados nos meses de realização das coletas confirmam essa relação (Tabela 5).

Da primavera ao verão, quando as variáveis ambientais apresentavam-se mais elevadas, as árvores apresentaram a copa completamente preenchida por folhas adultas. Assim, os dados obtidos indicaram uma tendência de resposta similar da fenologia vegetativa em relação às estações climáticas nos diferentes anos de estudo (Figs. 15 a 17).

As análises estatísticas evidenciaram correlações significativas entre o desenvolvimento de folhas adultas e a precipitação, o fotoperíodo e as temperaturas do mês da coleta (Tabela 6). A presença de folhas adultas também apresentou valores significativos de correlação com os valores de fotoperíodo e temperaturas média e mínima referentes ao mês anterior à coleta e com o fotoperíodo referente a dois meses anteriores à coleta (Tabela 6).

Apesar de a fenologia apresentar uma tendência de comportamento relacionada à sazonalidade anual, o início do brotamento não correspondeu ao período de elevação das variáveis ambientais analisadas (Figuras 15 a 17). Esse resultado foi confirmado pelas análises estatísticas, que demonstraram correlações negativas significativas entre o brotamento e as variáveis ambientais analisadas nos meses de realização das coletas e nos meses que as antecederam (Tabela 7).

Tabela 5: Valores da análise de correlação de Spearman (R) entre a abscisão foliar e as variáveis ambientais aferidas nos meses de realização das coletas e nos dois meses que as antecederam. *Valores significativos por apresentarem $p < 0,05$.

	Abscisão					
	Mês da coleta		**1 Mês Antes**		**2 Meses Antes**	
	r^2	p	r^2	p	r^2	P
Precipitação	0.28 (-)	0,094	0.07 (-)	0,68	0.23	0,16
Temperatura máxima	**0.47 (-)**	0,003*	0.06 (-)	0,72	**0.40**	0,01*
Temperatura mínima	**0.55 (-)**	0,0005*	0.12 (-)	0,48	**0.37**	0,02*
Temperatura média	**0.52 (-)**	0,001*	0.09 (-)	0,59	**0.39**	0,01*
Fotoperíodo	**0.76 (-)**	0,000000*	**0.49 (-)**	0,001*	0.07 (-)	0,64

Tabela 6: Valores da análise de correlação de Spearman (R) entre a presença de folhas adultas e as variáveis ambientais aferidas nos meses de realização das coletas e nos dois meses que as antecederam. *Valores significativos por apresentarem $p < 0,05$.

Folhas Adultas						
	Mês da coleta		**1 Mês Antes**		**2 Meses Antes**	
	r^2	p	r^2	p	r^2	P
Precipitação	**0,45**	0,005*	0,23	0,17	0,006	0,96
Temperatura máxima	**0,60**	0,0001*	0,29	0,08	(-) 0,01	0,91
Temperatura mínima	**0,71**	0,000001*	**0,41**	0,01*	0,009	0,95
Temperatura média	**0,65**	0,00001*	**0,35**	0,03*	0,005	0,97
Fotoperíodo	**0,85**	0,000000*	**0,76**	0,000000*	**0,48**	0,002*

Tabela 7: Valores da análise de correlação de Spearman (R) entre o brotamento foliar e as variáveis ambientais aferidas nos meses de realização das coletas e nos dois meses que as antecederam. *Valores significativos por apresentarem $p < 0,05$.

Brotamento						
	Mês da coleta		**1 Mês Antes**		**2 Meses Antes**	
	r^2	p	r^2	p	r^2	P
Precipitação	**0.47 (-)**	0,003*	**0.48 (-)**	0,002*	**0.41 (-)**	0,012*
Temperatura máxima	**0.54 (-)**	0,0005*	**0.59 (-)**	0,0001*	**0.55 (-)**	0,0004*
Temperatura mínima	**0.54 (-)**	0,0005*	**0.65 (-)**	0,00001*	**0.55 (-)**	0,0004*
Temperatura média	**0.56 (-)**	0,0003*	**0.62 (-)**	0,00004*	**0.56 (-)**	0,0003*
Fotoperíodo	**0.41 (-)**	0,01*	**0.66 (-)**	0,00001*	**0.71 (-)**	0,000001*

Um período reprodutivo completo e dois incompletos foram observados durante este estudo: em 2006, a presença de frutos maduros foi observada entre março e junho (Fig. 16), enquanto em 2004 e 2009, apenas o final da frutificação foi acompanhado (Figs. 15 e 17). Nos anos de 2005 e 2010, as árvores não apresentaram órgãos reprodutivos, caracterizando um comportamento reprodutivo supra-anual para a espécie na Reserva Biológica do Tinguá (Figs. 15 a 17).

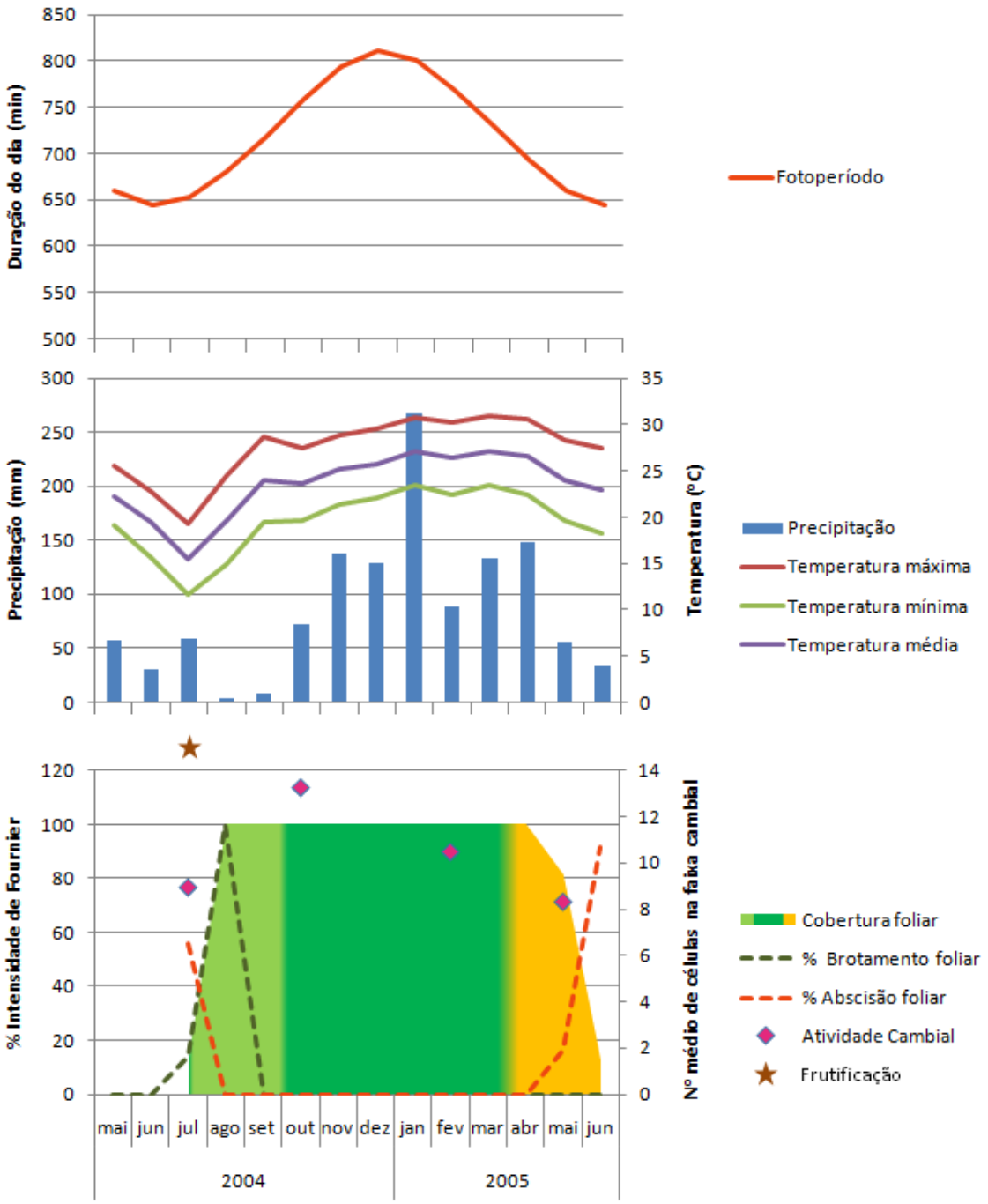

Figura 15. Fenologia, atividade cambial e variáveis ambientais observadas no período de maio/2004 a junho/2005. A) Fotoperíodo. B) Temperatura e precipitação. C) Fenologia e atividade cambial; as cores da área preenchida correspondem ao estádio de desenvolvimento das folhas: verde claro = folhas jovens; verde escuro = folhas maduras e laranja = folhas senescentes.

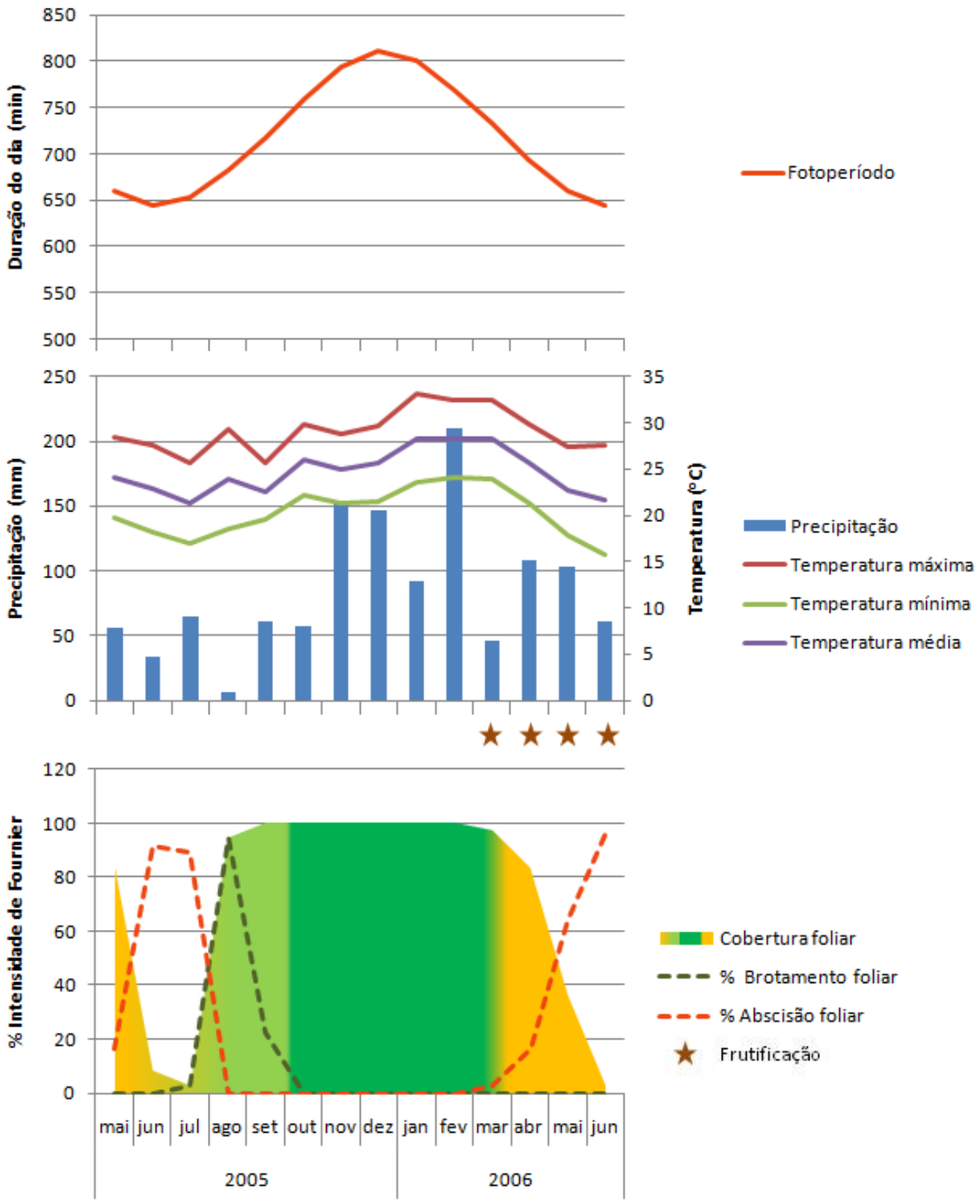

Figura 16. Fenologia e variáveis ambientais observadas no período de maio/2005 a junho/2006. No gráfico de cobertura foliar, as cores da área preenchida correspondem ao estádio de desenvolvimento das folhas: verde claro = folhas jovens; verde escuro = folhas maduras e laranja = folhas senescentes.

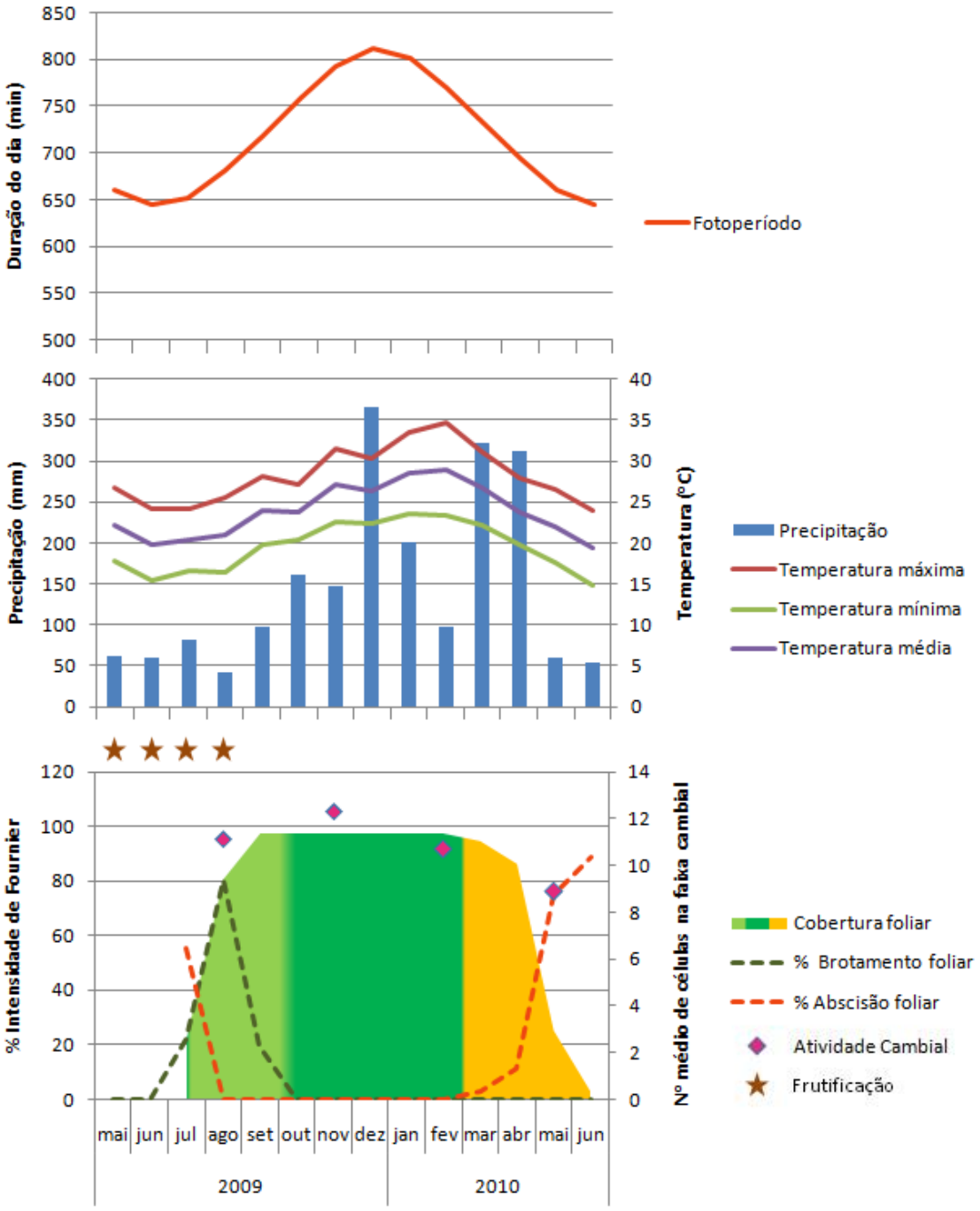

Figura 17. Fenologia, atividade cambial e variáveis ambientais observadas no período de maio/2009 a junho/2010. No gráfico de cobertura foliar, as cores da área preenchida correspondem ao estádio de desenvolvimento das folhas: verde claro = folhas jovens; verde escuro = folhas maduras e laranja = folhas senescentes.

5.3 Atividade cambial

Os indivíduos de *C. odorata* apresentaram sazonalidade na atividade cambial, que foi identificada pela variação do número de camadas celulares, pelo aspecto das células na faixa cambial e pelas características das células dos tecidos condutores adjacentes (Figs. 18 e 19).

No inverno, a faixa cambial apresentou características de dormência, com paredes espessas e células expandidas no sentido radial (Fig. 18 A). Além disso, as células diferenciadas de xilema e floema secundários encontravam-se bem próximo à faixa cambial (Fig. 20 C-D), e as paredes dos elementos de vaso e fibras do xilema secundário apresentavam completa lignificação (Figs. 20 e 21). No inverno de 2004, foi observada uma média de 9,8 (± 1,3) camadas de células na faixa cambial (Fig. 15), enquanto em 2009, a média foi de 11,1 (± 1,5) camadas celulares (Fig. 17).

Nos dois anos de estudo do câmbio, a maior quantidade de camadas celulares na faixa cambial foi constatada durante a primavera (Fig. 18 B). O número médio de camadas celulares na faixa cambial foi de 13,5 (± 2,4) na primavera de 2004 (Fig. 15) e de 12,3 (± 1,9) na primavera de 2009 (Fig. 17). Nas coletas realizadas no verão, a faixa cambial apresentou pequena redução do crescimento, porém ainda encontrava-se ativa (Fig. 18 C). O número médio de camadas celulares observadas nesta estação foi de 10,5 (± 1,7) em 2005 (Fig. 15) e de 10,7 (± 2,2) em 2010 (Fig. 17). Nesses períodos, a faixa cambial apresentava células mais estreitas e com paredes delgadas, e o xilema secundário apresentava muitas camadas de células em estádio de alongamento e diferenciação, com paredes em processo de lignificação (Figs. 18 B-C e 20 A-B). A Auramina O revelou diferentes estádios de lignificação das paredes das células do xilema, evidenciando o processo de diferenciação durante o período de atividade cambial. Em contraponto, foi observada a completa lignificação das paredes destas células durante o período de dormência (Fig. 20).

Os menores números de camadas celulares foram observados nas amostras coletadas no outono, em ambos os anos do experimento. Nesse período, o número médio de camadas celulares na faixa cambial foi de 8,7 (± 1,3) em 2005 (Fig. 15) e de 8,8 (± 2,1) em 2010 (Fig. 17), e foram constatadas características de dormência na faixa cambial (Figs. 18 D e 20 C-D). Além disso, a aplicação do fluorocromo Azul de Anilina revelou a presença de calose nos elementos de tubo crivado, e permitiu constatar que durante o período de dormência há um aumento no número de células com deposição do polissacarídeo próximo à faixa cambial. Em contrapartida, no período de atividade, a distância entre a faixa cambial as primeiras células

condutoras com deposição de calose foi mais pronunciada, não sendo possível nem mesmo visualizar o câmbio ao se observar o material sob o mesmo aumento óptico (Fig. 21).

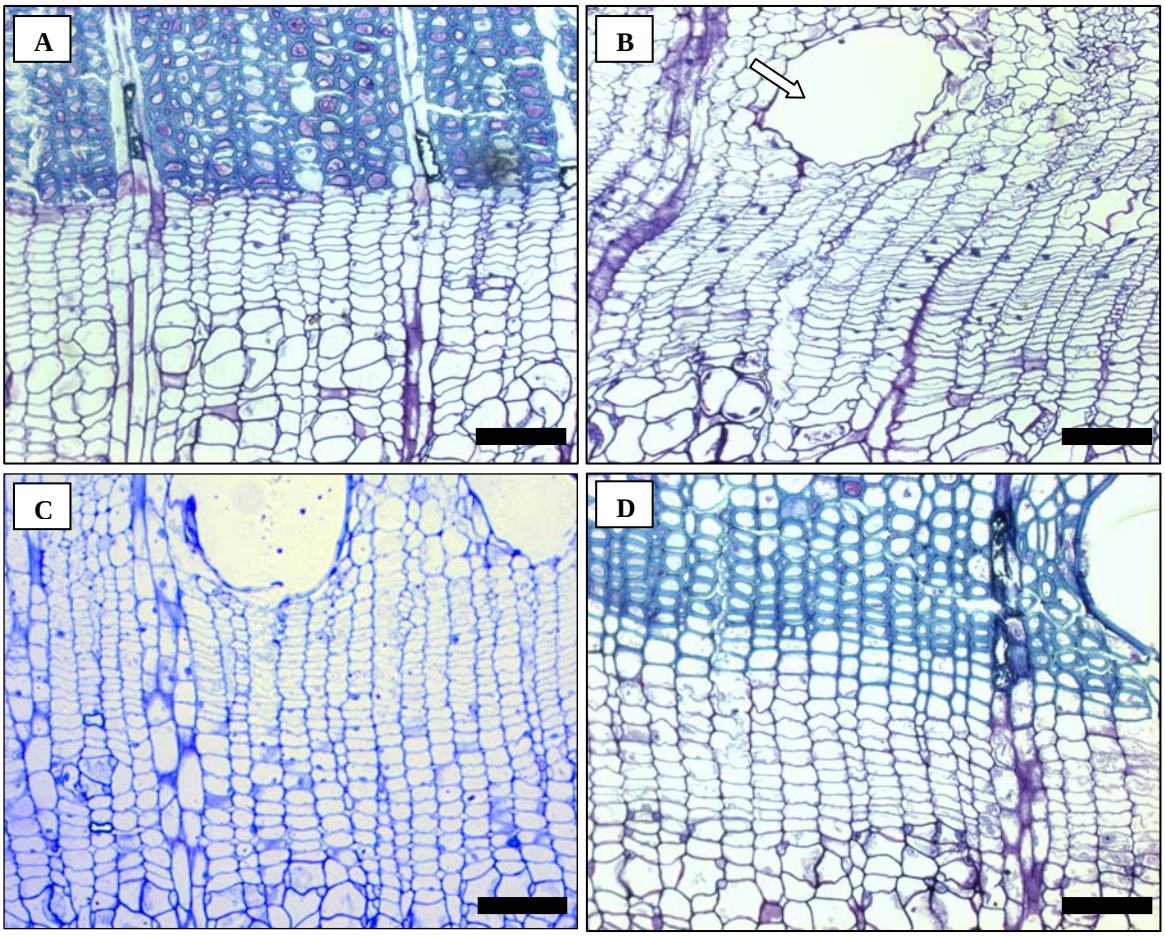

Figura 18. Seções transversais da faixa cambial de *Cedrela odorata* nas diferentes estações do ano. A) Período de dormência, no inverno. B) Período de atividade, na primavera. C) Período de atividade, no verão. D) Período de dormência, no outono. A seta indica elemento de vaso em diferenciação. Barra = 100 µm.

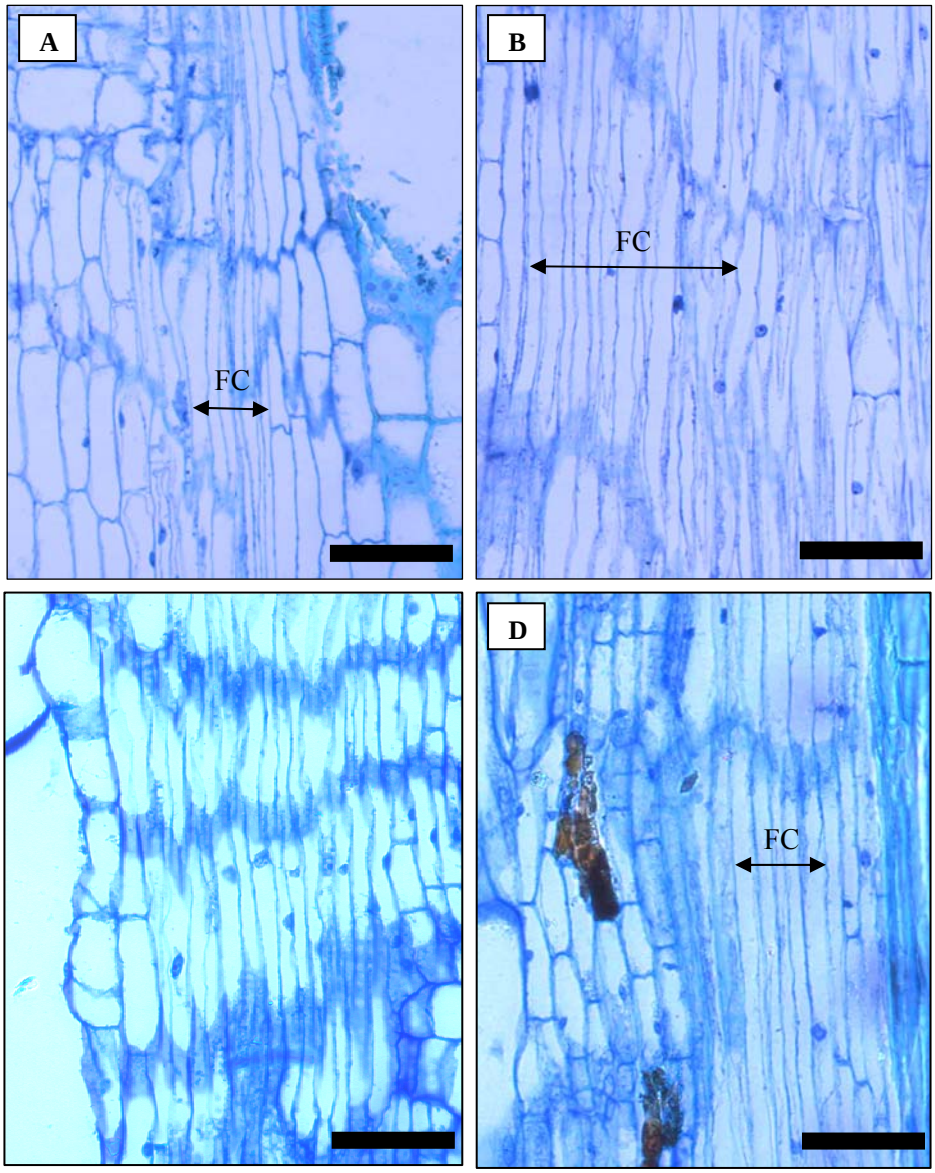

Figura 19. Seções radiais da faixa cambial de *Cedrela odorata* nas diferentes estações do ano. A) Período de dormência, no inverno. B) Período de atividade, na primavera. C) Período de atividade, no verão. D) Período de dormência, no outono. FC = Faixa cambial. Barra = 100 µm.

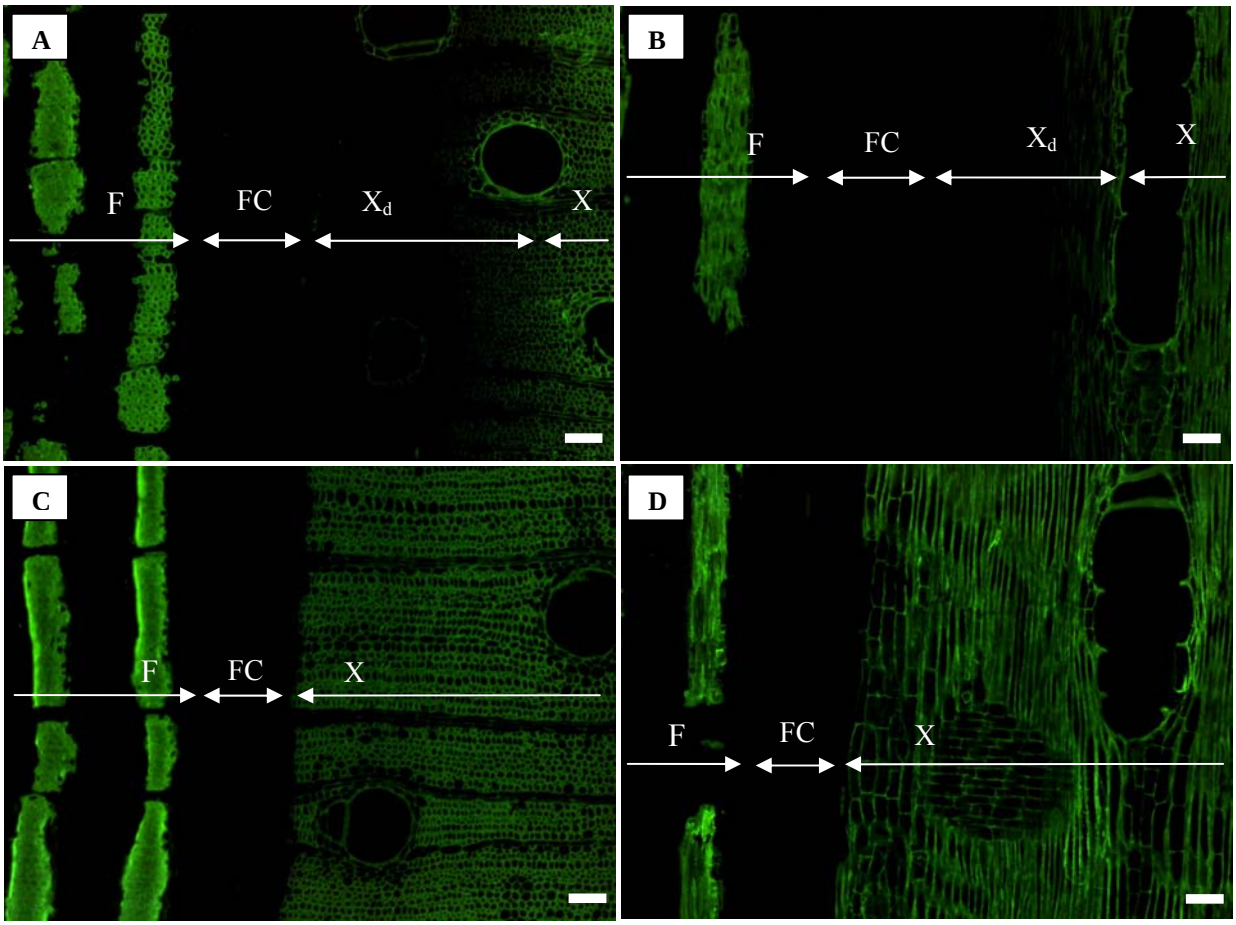

Figura 20. Resultado da aplicação do fluorocromo Auramina O nos tecidos adjacentes à faixa cambial, evidenciando diferentes estádios de lignificação das paredes das células do xilema. A-B) Períodos de atividade. C-D) Períodos de dormência. A e C) Seções transversais. B e D) Seções longitudinais radiais. F = Floema secundário; FC = Faixa cambial; X_d = Xilema secundário em diferenciação; X = Xilema secundário. Barra = 100 µm.

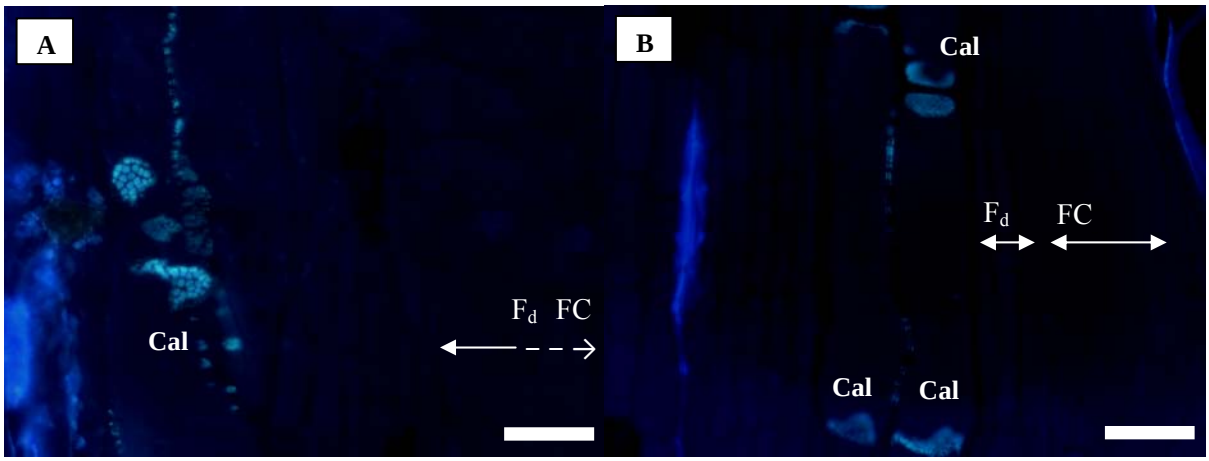

Figura 21. Resultado da aplicação do fluorocromo Azul de Anilina em seções longitudinais radiais do floema adjacente à faixa cambial, evidenciando depósitos de calose nos elementos de tubo crivado. A) Período de atividade. B) Período de dormência. Cal = Elementos de tubo crivado com calose. F_d = Floema secundário em diferenciação. FC = Faixa cambial. A seta pontilhada indica o sentido onde se encontra a faixa cambial. Barra = 50 µm.

5.3.1 Atividade cambial e Variáveis ambientais

Nos dois anos de estudo do crescimento radial, a menor atividade do câmbio coincidiu com a estação seca e com os dias mais curtos do período avaliado (Figs. 15 a 17). De acordo com essa tendência, a maior quantidade de células na faixa cambial foi verificada durante meses quentes, chuvosos e com dias de longa duração (Figs. 15 a 17). As análises de correlação entre a atividade cambial e as variáveis ambientais aferidas nos meses de realização das coletas apresentaram valores significativos apenas para os dados de precipitação e fotoperíodo (Tabela 8). A precipitação e a temperatura dos meses anteriores à coleta apresentaram valores negativos de correlação com a atividade cambial (Tabela 8).

Tabela 8: Valores da análise de correlação de Pearson (r^2) entre o número de células na faixa cambial e as variáveis ambientais aferidas nos meses de coleta das amostras de câmbio e nos dois meses que antecederam cada uma dessas coletas. Valores significativos por apresentarem $p < 0,05$*.

	Atividade Cambial					
	Mês da coleta		**1 Mês Antes**		**2 Meses Antes**	
	r^2	p	r^2	p	r^2	P
Precipitação	**0,13**	0,009*	**(-) 0,15**	0,004*	**(-) 0,13**	0,008*
Temperatura máxima	0,04	0,16	(-) 0,003	0,68	**(-) 0,18**	0,002*
Temperatura mínima	0,06	0,07	(-) 0,003	0,67	**(-) 0,21**	0,0009*
Temperatura média	0,05	0,11	(-) 0,003	0,67	**(-) 0,19**	0,001*
Fotoperíodo	**0,26**	0,0001*	0,04	0,16	(-) 0,02	0,3

5.3.2 Atividade cambial e Fenologia

Os resultados indicaram um ritmo de desenvolvimento similar entre a atividade cambial e a fenologia vegetativa (Figs. 15 a 17).

No inverno, quando foi verificada dormência na faixa cambial (Figs. 18 A e 19 A), as árvores apresentavam ausência de folhas na copa ou encontravam-se em fase de emissão de novos brotos (Figs. 15 a 17). As diferenças observadas na faixa cambial, entre os dois anos de estudo, também estão associadas ao estádio fenológico das árvores. Em 2004, os indivíduos investigados encontravam-se sem folhas, e o número médio de camadas na faixa cambial foi significativamente menor ($p < 0,0001$) em relação à coleta de 2009, quando as árvores já haviam iniciado a emissão de novas folhas (Figs. 15 a 17).

As amostras coletadas na primavera se destacaram por apresentar as maiores médias de células na faixa cambial (Figs. 18 B e 19 B), em ambos os anos de estudo do crescimento radial. A intensa atividade cambial observada nesta estação coincidiu com o pleno desenvolvimento das folhas recém expandidas (Figs. 15 a 17).

No verão, a faixa cambial ainda apresentou-se ativa (Figs. 18 C e 19 C), porém foi observada uma redução do crescimento em relação à primavera, nos dois anos estudados. Nesse período, a copa das árvores encontrava-se completamente preenchida por folhas maduras (Figs. 15 a 17).

Em ambos os anos de estudo, foi verificada uma marcante redução da atividade cambial no outono (Figs. 18 D e 19 D). Tal período de dormência coincidiu com a época de senescência e abscisão das folhas. (Figs. 15 a 17).

As análises estatísticas evidenciam uma relação direta entre a atividade cambial e o desenvolvimento de folhas jovens nos meses que antecederam as coletas de câmbio (Tabela 9). A atividade cambial também apresentou valores significativos de correlação com a presença de folhas adultas nos meses de realização das coletas (Tabela 9). De acordo com essa mesma tendência, os testes de correlação evidenciaram a existência de uma relação inversa entre a senescência foliar observada nos meses de coleta e a atividade cambial (Tabela 9). Não foi possível avaliar a influência da senescência foliar em meses anteriores à coleta de câmbio sobre o crescimento radial, visto que, nesse período, a fenologia não foi monitorada.

Tabela 9: Valores da análise de correlação de Spearman (R) entre o número de células na faixa cambial e os estádios de desenvolvimento foliares, observados nos meses de coleta de câmbio e nos dois meses que as antecederam. *Valor significativo por apresentar $p < 0,05$.

	Atividade Cambial					
	Mês da coleta		**1 Mês Antes**		**2 Meses Antes**	
	R	p	R	p	R	P
Folhas jovens	0,12	0,43	0,53	0,00007*	0,52	0,0001*
Folhas adultas	0,52	0,0001*	0,25	0,07	0,04	0,79
Folhas senescentes	- 0,55	0,000003*	---	---	---	---

5.4 Dendrocronologia

As camadas de crescimento de *C. odorata* foram demarcadas pela presença de parênquima marginal em conjunto com a distribuição semiporosa dos elementos de vaso no lenho inicial (Fig. 22).

O número de anéis de crescimento aferidos, o incremento diamétrico acumulado (IDA) e as taxas de incremento médio anual (IMA) variaram entre os indivíduos analisados (Tabela 10). O indivíduo 1 foi determinado como o mais jovem dentre os amostrados, apresentando também o menor diâmetro acumulado (Tabela 10). Entretanto, o indivíduo 13, determinado como o mais antigo dentre os investigados, apresentou a menor taxa de incremento médio anual, e a estimativa de seu diâmetro acumulado apresentou-se reduzida em relação a outras árvores mais jovens (Tabela 10). A idade máxima observada no sítio de estudo foi de 137 anos (Tabela 10) e a taxa de incremento médio radial do conjunto de indivíduos amostrados foi de 0,29 (± 0,10) centímetros por ano.

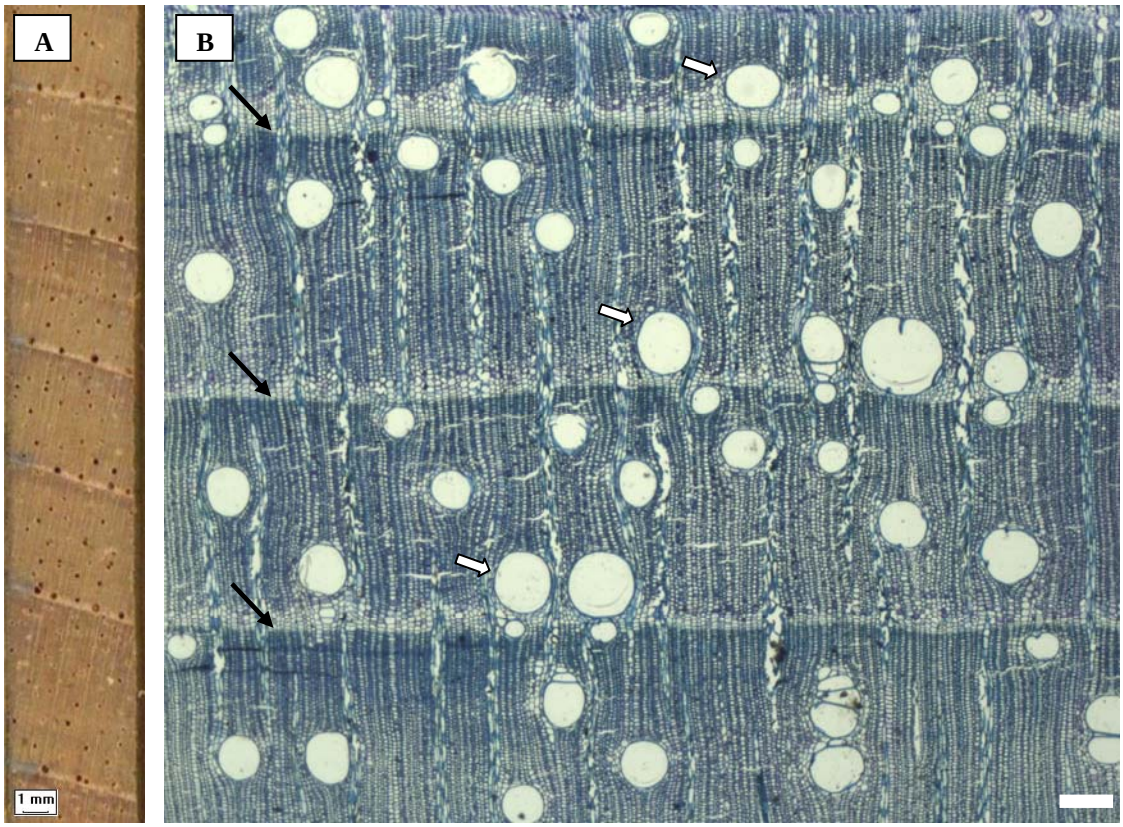

Figura 22. Estrutura anatômica do lenho de *Cedrela odorata* em seção transversal. A) Vista macroscópica. B) Vista em microscopia óptica de campo claro. As setas pretas indicam o parênquima marginal no limite dos anéis de crescimento. As setas brancas indicam elementos de vaso de grande diâmetro, característicos do lenho inicial. Barra = 100 µm.

Tabela 10: Número de anéis de crescimento medidos, incremento diamétrico acumulado (IDA) e incremento médio anual (IMA) dos indivíduos analisados. Os indivíduos foram ordenados em ordem crescente, de acordo com o número de anéis medidos.

Indivíduos	Anéis medidos	IDA (cm)	IMA (cm)
1	39	25.94	0.33
2	56	44.88	0.40
3	57	29.24	0.26
4	61	59.10	0.48
5	67	55.53	0.41
6	72	49.44	0.34
7	73	35.86	0.25
8	75	45.35	0.30
9	78	33.58	0.22
10	91	46.90	0.26
11	92	39.24	0.21
12	119	42.04	0.18
13	137	41.19	0.15

As curvas de incremento diamétrico acumulado (IDA) revelaram a existência de diferentes trajetórias de crescimento entre as árvores estudadas, independente do número de anéis observados. Alguns indivíduos apresentaram um padrão linear de crescimento, com pouca variação ao longo dos anos, enquanto outros apresentaram curvas com períodos de crescimento exponencial ou redução nas taxas de incremento (Fig. 23). Estes eventos de liberação e supressão do crescimento foram observados em diferentes classes etárias ao longo da vida das árvores. Além disso, não foi observada estabilização da curva de crescimento de nenhuma árvore investigada (Fig. 23).

A relação entre as estimativas de idade e o diâmetro das árvores variou muito dentro da espécie, podendo ser observados desde 23 até 94 anéis a 20 cm de diâmetro (Fig. 23). As diferenças de incremento também foram elevadas em classes de diâmetros maiores, com uma variação de 38 a 134 anéis a 40 cm de diâmetro (Fig. 23).

A datação cruzada das séries cronológicas indicou a existência de 34% de correlação entre as amostras radiais obtidas de cinco diferentes indivíduos. Este resultado foi obtido utilizando-se 13 amostras radiais distintas, estandartizadas pela aplicação de spline com comprimento de cinco anos. A partir desses dados, foi construída a cronologia para a espécie no sítio de estudo (Fig. 24).

Os testes de correlação entre a largura dos anéis e os fatores climáticos não apresentaram valores significativos para nenhum período analisado.

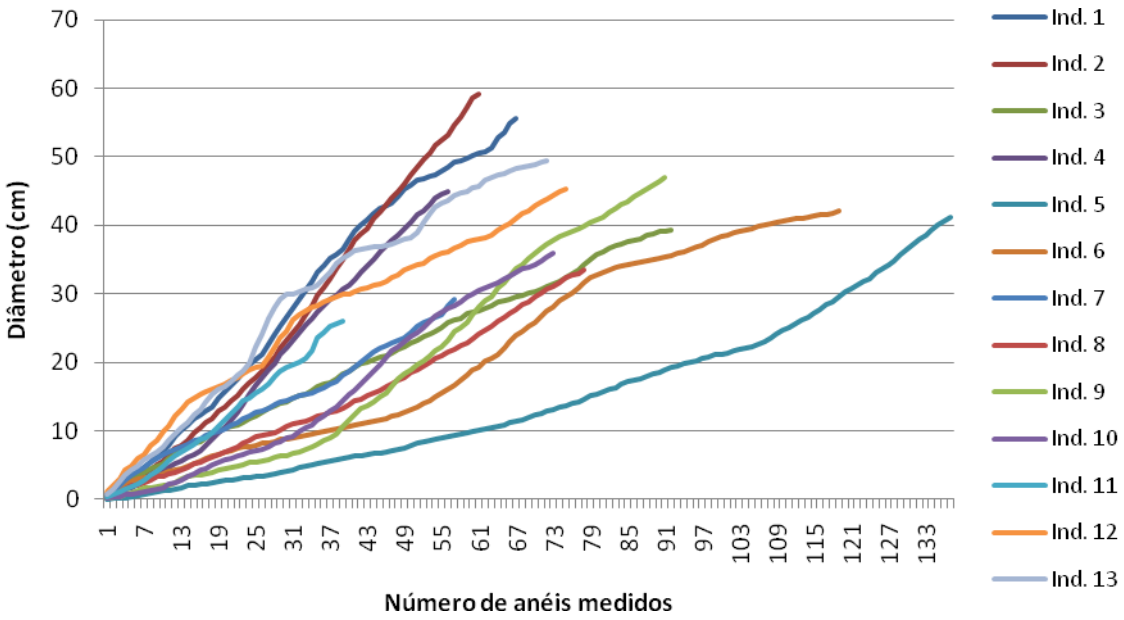

Figura 23. Incremento diamétrico acumulado por ano, de 13 árvores.

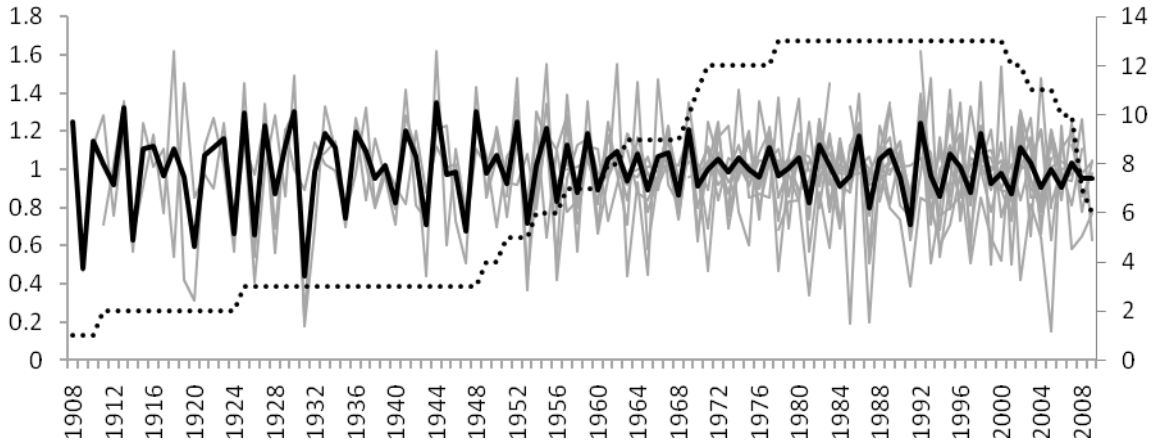

Figura 24. Cronologia estandartizada dos anéis de crescimento de cinco indivíduos de *Cedrela odorata*. A linha pontilhada indica o número de raios utilizados na cronologia.

6 DISCUSSÃO

A periodicidade do crescimento radial está relacionada à sazonalidade de fatores endógenos e exógenos (O´BRIEN *et al.*, 2008). Borchert (1999) destaca a existência de estudos desde a década de 1920 relacionando a fenologia à atividade do câmbio em espécies tropicais. A sazonalidade do comportamento fenológico, por sua vez, é relacionada ao *status* hídrico da planta, o qual resulta da interação entre precipitação, temperatura, fotoperíodo e características do solo, além da estrutura e fisiologia da própria planta (BORCHERT, 1999; CALLADO *et al.*, 2001). A atividade do câmbio também é influenciada pelos fatores que afetam a fenologia (BORCHERT, 1999), em especial a disponibilidade hídrica, visto que esta atua diretamente sobre os processos de divisão e expansão celular (LARCHER, 2000).

Santos e Takaki (2005), ao estudarem a fenologia de *Cedrela fissilis* em uma Floresta Estacional Semidecidual em Itirapina, São Paulo, observaram que as árvores permaneceram sem folhas durante o período mais seco e frio do ano. Ferraz e colaboradores (1999) encontraram resultado semelhante ao estudarem o comportamento fenológico de *Cedrela fissilis* em um ecótono entre Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual, na cidade de São Paulo. Rivera e colaboradores (2002) descrevem que a abscisão foliar em árvores decíduas e brevidecíduas pode ser induzida pela redução no fotoperíodo. O fato de a abscisão foliar das árvores de *C. odorata* na Reserva Biológica do Tinguá ter tido início quando o fotoperíodo estava em declínio, mas a precipitação e temperatura ainda se encontravam elevadas, corrobora a influência do comprimento do dia sobre a senescência foliar. Kitajima e colaboradores (2002) relatam que diferentes autores definiram a longevidade das folhas como uma função do tempo de "custo-benefício" (*"payback" time*) para a construção e manutenção de folhas e seus tecidos-suporte. Borchert (1983) descreve que o reduzido controle estomático das folhas senescentes leva a um estresse hídrico foliar, o que induz à abscisão destas, eliminando a perda d' água por transpiração. Assim, o período de abscisão foliar nas árvores estudadas pode estar associado ao declínio no fotoperíodo após o equinócio de outono, que sinaliza o final da estação chuvosa (BORCHERT; RIVERA, 2001). Essa hipótese é suportada pelas análises estatísticas que demonstram altos valores de correlação entre a abscisão foliar e o fotoperíodo. A maior intensidade da abscisão foliar coincidiu também com o período seco, ainda que a fenofase não tenha apresentado correlações significativas com a precipitação, mas apenas com a redução do fotoperíodo e da temperatura. Assim, os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que a senescência e a posterior abscisão foliar de *C. odorata* coincidem com a redução no fotoperíodo, que está

associada ao prenúncio da estação fria e seca. Nessa época do ano, foi observada a dormência cambial, a qual foi associada ao decréscimo na produção de fotoassimilados pela senescência ou perda das folhas, conjuntamente às condições ambientais desfavoráveis. Estudos realizados em regiões tropicais e subtropicais por Priya e Bhat (1999), Marcati e colaboradores (2006, 2008) e Yañez-Espinoza e colaboradores (2010) também apontaram relação entre a abscisão foliar e a dormência cambial.

Borchert e Rivera (2001) descrevem que espécies decíduas de Guanacaste, Costa Rica, perdem suas folhas no início da estação seca e apresentam brotamento sincrônico após as primeiras grandes chuvas. No presente estudo, entretanto, o brotamento foi observado antes do início do período chuvoso, em todos os anos de estudo. Diversos trabalhos relatam que, em ambientes sazonalmente secos, muitas árvores brotam na estação seca em conseqüência do alívio de estresse hídrico ocasionado pela abscisão foliar (BORCHERT, 1983; REICH; BORCHERT, 1984; SANTOS; TAKAKY, 2005). No caso de *C. odorata*, Worbes (1999) destaca a capacidade da espécie de armazenar água no caule após a abscisão foliar.

O fotoperíodo também parece desempenhar um papel importante como desencadeador do brotamento foliar, uma vez que varia muito pouco ao longo dos anos e, dessa forma, pode servir de sinalizador dos fatores climáticos que sofrem mais mudanças de um ano para outro (RIVERA *et al.*, 2002). Esses dados estão de acordo com os resultados encontrados neste trabalho, visto que o brotamento ocorreu no mesmo período do ano, independentemente dos níveis de precipitação terem variado nos diferentes anos de estudo.

De acordo com Borchert e Rivera (2001), o aumento no comprimento dos dias sinaliza a aproximação da estação úmida. No presente estudo, o pico do brotamento ocorreu quando o fotoperíodo ainda se encontrava no início da ascensão. Contudo, este evento garantiu que o desenvolvimento pleno das folhas coincidisse com o período de maior luminosidade do ano. A existência dessa relação é corroborada pelo fato do fotoperíodo ser o único, dentre os fatores ambientais avaliados, que apresentou correlações significativas com a presença de folhas adultas quando analisado em meses anteriores às coletas. Além disso, foi a variável ambiental que apresentou os mais altos valores de correlação com a presença de folhas adultas. Callado e colaboradores (2001, 2004), ao estudarem árvores de *Tabebuia umbellata* (Sond.) Sandwith (Bignoniaceae) se desenvolvendo em matas inundáveis da Floresta Atlântica no estado do Rio de Janeiro, também constataram que a abscisão foliar coincidiu com a redução do fotoperíodo, e que o brotamento ocorreu após o aumento do mesmo. O período de abscisão foliar foi correlacionado à formação do lenho tardio e o fotoperíodo foi considerado indiretamente responsável pelo ritmo de crescimento radial.

A emissão de novas folhas nas árvores estudadas parece estar associada à retomada da atividade cambial. Embora a faixa cambial apresentasse características de dormência no inverno, foi observado um maior número de camadas celulares em relação ao outono, o que pode estar relacionado ao brotamento iniciado nessa estação. As características de dormência observadas nesse período podem ser explicadas pelo alto custo da produção de novas folhas (O´BRIEN *et al.*, 2008), as quais consomem praticamente todos os carboidratos produzidos na fotossíntese (KERBAUY, 2004). É interessante destacar ainda que, de acordo com Aloni (2001), nas espécies com porosidade de anel, o estímulo para a retomada da atividade cambial pode ocorrer anteriormente à expansão de novas folhas, quando as concentrações de auxina são reduzidas.

Logo após completarem sua expansão, as folhas começam a exportar fotoassimilados para outras regiões da planta (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997). Além disso, a auxina produzida pelas gemas em crescimento estimula a ativação do câmbio (ALVIM, 1964; KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997; ALONI, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2004). Este fato pode explicar o aumento da atividade cambial após o brotamento, observado neste trabalho. Em ambos os anos de estudo do crescimento radial, a atividade cambial mais intensa foi observada na coleta subseqüente ao brotamento, correspondendo ao período em que a copa apresentava folhas recém expandidas. Além da fenologia, as variáveis ambientais também apresentaram relação com a sazonalidade do crescimento radial. No presente estudo, os períodos de maior atividade do câmbio coincidiram com as épocas do ano em que o comprimento do dia, a temperatura e a precipitação encontravam-se mais elevadas. Marcati e colaboradores (2006), estudando indivíduos de *Cedrela fissilis* em Floresta Estacional Semidecidual de São Paulo, encontraram resultados semelhantes aos verificados para *C. odorata* neste trabalho. Neste contexto, o período de atividade do câmbio foi relacionado à estação úmida e à presença de folhas maduras na copa. Outros estudos de monitoramento do câmbio, realizados em espécies tropicais e subtropicais, também relacionam a atividade cambial à sazonalidade pluviométrica (PRIYA; BHAT, 1999; RAO; RAJPUT, 2001; MARCATI *et al.*, 2008).

Na coleta do verão, embora as variáveis ambientais se apresentassem elevadas e as copas estivessem completamente preenchidas por folhas, foi observada uma pequena redução no número médio de camadas celulares na faixa cambial na espécie estudada, quando comparado à primavera. Este fato pode estar associado à presença de folhas mais velhas neste período, as quais apresentam taxas de assimilação fotossintética mais baixas em relação a folhas recém-expandidas (LARCHER, 2000; KITAJIMA *et al.*, 2002).

Os resultados deste trabalho confirmaram a relação entre a sazonalidade dos fatores ambientais e o desenvolvimento do câmbio, embora tenham sido encontradas baixas correlações entre a atividade cambial e as variáveis ambientais. Além disso, as correlações negativas da atividade cambial com a precipitação e a temperatura observadas nos meses anteriores à coleta sugerem uma baixa influência destes fatores sobre o câmbio. Por outro lado, a atividade cambial apresentou correlações elevadas com a fenologia vegetativa, e esta, por sua vez, é altamente correlacionada às variáveis ambientais. Assim, pode-se verificar a influência indireta dos fatores ambientais e a importância do comportamento fenológico sobre a atividade cambial de *Cedrela odorata*. Vale destacar ainda que no presente estudo, as fenofases ocorreram em períodos diferentes em relação a árvores da mesma espécie se desenvolvendo em outras localidades (WORBES, 1999; TOMAZELLO-FILHO *et al.*, 2000), contudo, seguindo a sazonalidade ambiental de cada região. Tal característica sugere uma capacidade de adaptação da espécie a condições ambientais distintas, o que pode estar associado a sua ampla distribuição geográfica.

A existência de fatores que induzam à sazonalidade cambial resulta na produção periódica de camadas de crescimento no xilema secundário (ROIG, 2000; WORBES, 1985, 1989, 1995, 1999; JACOBY, 1989; CALLADO *et al*. 2001, 2004). Quando observados em seção transversal, os anéis anuais do xilema podem ser distinguidos pelas diferenças anatômicas encontradas entre as células produzidas no início e no final da estação de crescimento: o lenho formado no início da estação apresenta células maiores com paredes mais finas, e uma menor densidade em relação ao lenho formado no final da estação (KOZLOWSKI *et al.*, 1991; COSTA *et al.*, 2003). Aloni (2001) relaciona a presença de vasos de grande diâmetro no lenho inicial de uma espécie à sensibilidade do câmbio a baixas concentrações de auxina. De acordo com o autor, os elementos de vaso se diferenciam lentamente sob essas condições, o que permite uma maior expansão celular antes da deposição de parede secundária.

A determinação dos anéis de crescimento de *C. odorata* como anuais permitiu a realização de investigações dendrocronológicas. A quantidade de camadas de crescimento encontrada nos indivíduos analisados variou entre 39 e 137 anos. As árvores de *C. odorata* do sítio de estudo apresentaram idades semelhantes às observadas por Dünisch e colaboradores (2003) na Amazônia central, onde os indivíduos de *C. odorata* encontradas apresentaram de 73 a 157 anos. No estudo realizado por Grau (2000), árvores de *Cedrela lilloi* se desenvolvendo na Argentina subtropical tiveram suas idades estimadas entre 6 e 143 anos. Em contrapartida, Brienen e Zuidema (2006) encontraram árvores de *C. odorata* com até 308

anos na Amazônia boliviana. Contudo, é importante ressaltar que a idade dos indivíduos no presente estudo é subestimada. Além das amostras radiais coletadas não atingirem a medula das árvores, os anéis de crescimento correspondentes aos primeiros anos de vida da planta não são amostrados em coletas realizadas a 1,30 metro de distância do solo (DAP).

O potencial médio de crescimento radial das árvores de *C. odorata* no sítio de estudo foi de 0,29 (±10) cm/ano, porém as taxas de crescimento médio dos indivíduos variaram entre 0,15 e 0,48 cm/ano. Em indivíduos da mesma espécie se desenvolvendo na Amazônia central, o potencial médio de crescimento encontrado também foi de 0,29 cm/ano (DÜNISCH *et al.*, 2003), enquanto na Amazônia boliviana, a taxa de incremento médio foi de 1,6 cm/ano (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006). Em uma floresta tropical da Venezuela, Worbes (1999) observou taxas de crescimento médio anual de 0,94 cm para a espécie.

A taxa de crescimento das árvores de regiões tropicais parece depender da posição social do indivíduo na floresta (ROIG, 2000). No presente estudo, a ocorrência de eventos de liberação e supressão do crescimento em diferentes classes etárias das árvores indica uma relação com a competição por luz. Brienen e Zuidema (2006) relatam que, para *C. odorata* crescendo na Amazônia boliviana, a freqüência dos períodos de supressão é significativamente maior quando as árvores são sombreadas.

A ausência de estabilização na curva de incremento das árvores estudadas indica que a população ainda se encontra em fase de crescimento linear, apesar de a maioria dos indivíduos apresentar idade superior a 70 anos. Este dado corrobora a necessidade de se realizar mais estudos sobre as taxas de incremento de espécies arbóreas, visto que a escassez de informações sobre o tema pode levar ao estabelecimento de planos de manejo inadequados. Em áreas de extração madeireira da Amazônia Legal, por exemplo, a instrução normativa (IN) n° 5 do IBAMA, de 11 de dezembro de 2006, institui ciclos de corte de 25-35 anos, para Planos de Manejo Florestal Sustentáveis Plenos (com intensidade máxima de corte de 30 m^3 / ha / ano), e ciclos de corte de 10 anos, para Planos de Manejo Florestal Sustentáveis de Baixa Intensidade (com intensidade máxima de corte de 10 m^3 / ha / ano), sem levar em conta as diferenças nas taxas de crescimento de cada espécie. Assim, os resultados do presente estudo sugerem que a duração dos ciclos de corte adotados na Amazônia encontra-se subestimada para a exploração de *C. odorata*, visto que, em ambiente natural no Rio de Janeiro, a espécie exibiu taxas de incremento crescentes mesmo em indivíduos com idade superior a 70 anos. É interessante destacar ainda que existem registros de indivíduos com idade superior a 300 anos para a espécie (Brienen; Zuidema, 2006), o que indica que árvores de 70 anos podem ser consideradas relativamente jovens em relação à longevidade máxima descrita para o táxon.

Além desse aspecto, a especulação de que o diâmetro da árvore tivesse relação com seu tempo de vida levou, em muitos casos, à superestimação da idade dos indivíduos (ROIG, 2000). A ausência de relação entre diâmetro e idade das árvores, observada neste trabalho, também foi encontrada em árvores de *C. odorata* se desenvolvendo na Amazônia boliviana, onde indivíduos do sub-bosque, com 10 cm de DAP, apresentaram a mesma idade que indivíduos com 60 cm de DAP, constituintes do dossel (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006). Worbes e colaboradores (2003) também encontraram ausência de relação idade-diâmetro em diferentes espécies se desenvolvendo em uma Floresta Semidecidual de Camarões. Esses resultados indicam que os estudos de demografia e estrutura etária populacional de *C. odorata* devem ser baseados na contagem dos anéis anuais de crescimento e que as estimativas baseadas no diâmetro sejam evitadas. É importante destacar que, para as espécies que carecem de estudos sobre a idade adequada de desbaste, o IBAMA estabelece como critério um Diâmetro Mínimo de Corte de 50 cm (IN nº 5 de 11 de dezembro de 2006). Assim, os dados do presente estudo também podem constituir importantes parâmetros para a reestruturação dos planos de manejo atuais, à medida que reforçam a necessidade de se determinar em quais espécies o diâmetro corresponde, efetivamente, à idade da árvore.

Além da competição por luz, a largura das camadas de crescimento também pode ser influenciada pelas variações na precipitação, como observado por Dünisch *et al.* (2003) e por Brienen e Zuidema (2005), para árvores de *C. odorata* se desenvolvendo na Amazônia central e na Amazônia boliviana, respectivamente. Em ambos os estudos, a variação na largura dos anéis foi dependente da quantidade de chuva durante a transição do período chuvoso para o seco. Worbes (1999) observou ainda correlações significativas entre a largura dos anéis de crescimento de *C. odorata* e a precipitação dos períodos secos e chuvosos, em uma floresta tropical da Venezuela. Villalba e colaboradores (1985) encontraram influência da precipitação e também da temperatura ocorrentes no início da estação de crescimento sobre a cronologia de *Cedrela angustifolia* se desenvolvendo no noroeste da Argentina. No presente estudo, entretanto, não foi possível observar correlação entre a variação climática e a largura dos anéis de crescimento. Este resultado pode estar associado à existência de anéis falsos ou ausentes na cronologia; ao comportamento reprodutivo supra-anual observado na espécie; ao desenvolvimento das árvores em microsítios com diferenças edáficas e hídricas; e a características genéticas individuais que acarretem respostas distintas no vigor e acúmulo de energia das árvores.

A alta frequência de anéis falsos ou ausentes é um problema comum no desenvolvimento de estudos dendrocronológicos em espécies tropicais, e foi relatada por

diversos autores (PRIYA; BHAT, 1998; WORBES, 1999; BRIENEN; ZUIDEMA, 2005; BOTOSSO *et al.*, 2000). Embora o estudo da atividade cambial, aqui realizado, não tenha indicado qualquer alteração (anéis falsos ou ausentes) na periodicidade da formação anual dos anéis de crescimento dos indivíduos de *C. odorata*, a dificuldade em identificar esses anéis ressalta a importância de se utilizar discos quando possível, ou de se coletar um número maior de amostras ao longo da circunferência do caule.

A reprodução supra-anual provavelmente leva a diferenças no crescimento radial, visto que a produção de flores e frutos aumenta a demanda por fotoassimilados (KERBAUY, 2004). As observações fenológicas mostraram que nos anos de 2003, 2005 e 2008, a maioria dos indivíduos apresentou comportamento reprodutivo, o que não ocorreu em outros anos, dentro do período de observação compreendido entre os anos de 2004 e 2010.

O fato da influência da precipitação sobre a atividade cambial não ter se repetido sobre a variação na largura dos anéis sugere que a intensidade da divisão celular e a continuidade desse processo podem ser influenciadas de maneira distinta. Assim, é importante destacar a diferença entre a intensidade e a duração das divisões celulares em estudos de dinâmica de crescimento de espécies arbóreas.

7 CONCLUSÕES

- Em árvores de *Cedrela odorata* na Floresta Atlântica do estado do Rio de Janeiro, a atividade cambial segue um ritmo sazonal, determinando a formação de anéis de crescimento anuais;
- A fenologia vegetativa apresenta influência sobre a atividade do câmbio;
- A atividade cambial e o comportamento fenológico vegetativo exibem respostas sazonais correspondentes à variação dos fatores ambientais;
- A idade máxima estimada para a espécie na área de estudo foi de 137 anos;
- As árvores estudadas apresentaram taxa de incremento médio radial de 0,29 (±10) cm/ano e exibiram curvas de incremento crescentes, ainda que a maioria possuísse idade avançada;
- A ausência de relação entre o diâmetro das árvores e suas estimativas de idade indica que os estudos de demografia e estrutura etária populacional de *C. odorata* devem ser baseados na contagem dos anéis anuais de crescimento, e que as estimativas baseadas no diâmetro devem ser evitadas.
- O potencial dendrocronológico descrito na literatura para a família Meliaceae é confirmado para os indivíduos de *C. odorata* no Rio de Janeiro.

8 PERSPECTIVAS

A ausência de um padrão nas curvas de crescimento dos indivíduos de *C. odorata* deve ser investigada levando-se em conta a comparação entre amostras retiradas do DAP e aquelas retiradas da base do caule, com vista a uma melhor compreensão da dinâmica de crescimento da espécie se desenvolvendo em ambientes naturais.

A influência do comportamento reprodutivo supra-anual sobre a largura dos anéis de crescimento merece atenção em estudos futuros, devendo ser levados em consideração também fatores ambientais, questões genéticas e diferenças micro-ambientais que possam induzir a tal comportamento.

Cabe ressaltar ainda a importância de se obter novas amostras de lenho para a construção de uma cronologia mais robusta de *C. odorata* no estado do Rio de Janeiro, a fim de contribuir para o desenvolvimento de um banco de dados dendrocronológicos para a região tropical.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONI, R. Foliar and axial aspects of vascular differentiation: hypotheses and evidence. *J. Plant Growth Regul.*, v. 20, p. 22–34, 2001.

ALVIM, P.T. Tree growth and periodicity in tropical climates. In: ZIMMERMANN, M.H. (ed.). *The Formation of Wood in Forest Trees.* New York. Acad. Press, 1964.

ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; MARCATI, C.R. Câmbio vascular. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. *Anatomia Vegetal.* Viçosa: UFV, 2003. 438 p.

AREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE. Disponível em: http://www.acguanacaste.ac.cr/paginas_especie/plantae_online/magnoliophyta/meliaceae/cedrela_odorata/c_odorata8set98/c_odorata8set98.html. Arquivo capturado em: 12 fev. 2010.

ARMITAGE, P.; BERRY, G. The planning on statistical investigations. In: _____. *Statistical methods in medical research.* 2.ed. Oxford: Blackwell, 1987.

AUGSPURGER, C.K. Phenology, flowering synchrony and fruitset of six neotropical shrubs. *Biotropica*, v. 15, p. 257-267, 1983.

BAAS, P.; VETTER, R. Preface. *IAWA Bull.*, v. 10, n.2, p. 97-98, 1989.

BACKES, P.; IRGANG, B. *Mata Atlântica: as árvores e a paisagem.* Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2004. 396 p.

BARROSO, G.M. Família Meliaceae. In: _____. *Sistemática de Angiospermas do Brasil.* Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1984. v.2, p. 295-297.

BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; LAVORANTI, O.J.; TOMAZELLO-FILHO, M.; ANDRADE, G.C. Acúmulo de carbono no *Pinus taeda* estimado pela densitometria de raios X e análise de tronco. *Bol. Pesq. Fl.*, v. 53, p. 137-154, 2006.

BENCKE, C.S.C.; MORELLATO, L.P.C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Rev. Bras. Bot.*, v. 25, n.3, p. 269-275, 2002.

BORCHERT, R. Phenology and control of flowering in tropical trees. *Biotropica*, v. 15, n. 2, p. 81-89, 1983.

_____. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, v. 75, p. 1437-1449, 1994.

_____. Climatic periodicity, phenology, and cambium activity in tropical dry forest trees. *IAWA J.*, v. 20, n. 3, p. 239-247, 1999.

BORCHERT, R.; RIVERA, G. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical stem succulent trees. *Tree Physiol.*, v. 21, p. 213-221, 2001.

BOTOSSO, P.C.; VETTER, R.E.; TOMAZELLO-FILHO. Periodicidade e taxa de crescimento de árvores de cedro (*Cedrela odorata* L., Meliaceae), jacareúba (*Calophyllum angulare* A.C. Smith, Clusiaceae) e muirapiranga (*Eperua bijuga* Mart. Ex Benth, Leg. Caesalpinoideae) de flloresta de Terra Firme, em Manaus-AM. In: ROIG, F.A. (org.). *Dendrocronología en América Latina.* Mendoza, Argentina: EDIUNC, 2000. 434 p.

_____; MATTOS, P.P. *A idade das árvores: importância e aplicação.* Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 25 p.

BRANDES, A.F.N. *Anatomia do lenho e dendrocronologia de lianas da família Leguminosae ocorrentes na Mata Atlântica.* 96 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

_____; LISI, C.S.; BARROS, C.F. Dendrochronology of lianas of the Leguminosae family from the Atlantic Forest, Brazil. *Trees*, v. 25, p. 133-144, 2011.

BRANDON, K.; FONSECA, G.A.B.; RYLANDS, A.B.; SILVA, J.M.C. Conservação brasileira: desafios e oportunidades. *Megadiversidade*,; v. 1, n.1, p. 7-13, 2005.

BRASIL. Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 26 dez. 2006.

BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, v. 146, p. 1-12, 2005.

_____; ZUIDEMA, PIETER A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology*, v. 94, p. 481-493, 2006.

BRIFFA, K.R.; OSBORN, T.J.; SCHUEINGRUBER, F.H. Large-scale temperature inferences from tree rings: a review. *Glob. Planet Change*, v. 40, p. 11-26, 2004.

CAIN, W.C.; SUESS, H.E. Carbon 14 in tree rings. *J. Geophys. Res.*, v. 81, n.21, p. 3688-3694, 1976.

CALLADO, C.H. *Anéis de crescimento e periodicidade do crescimento radial em espécies arbóreas de matas inundáveis da Floresta Atlântica no estado do Rio de Janeiro.* 101 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Ecologia) - Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2001.

_____; SILVA NETO, S.J.; SCARANO, F.R.; COSTA, C. G. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. *Trees*, v. 15, p. 492-497, 2001.

CALLADO, C.H.; SILVA NETO, S.J. DA; SCARANO, F.R.; COSTA, C.G. Radial growth dynamics of *Tabebuia umbellata* (Sond.) Sandwith (Bignoniaceae), a flood-tolerant tree from the Atlantic Forest swamps in Brazil. *IAWA J.*, v. 25, n. 2, p. 175-183, 2004.

_____; GUIMARÃES, R.C. Estudo dos anéis de crescimento de *Schizolobium parahyba* (Leguminosae: Caesalpinioideae) após episódio de mortalidade em Ilha Grande, Rio de Janeiro. *Rev. Bras. Bot.*, v. 33, n. 1, p. 85-91, 2010.

CAPOBIANCO, J.P.R. Conceito, abrangência e área original. In: SCHÄFFER, W. B.; PROCHNOW, M. *A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira.* Brasília: APREMAVI, 2002. 156 p.

CERVI, A.C.; LINSINGEN, L.; PATRÍCIO, P.C. O gênero *Cedrela* P. Browne (Meliaceae) no sul do Brasil. *Acta Biol. Par.*; v. 37, n.1;2, p. 105-110, 2008.

CINTRÓN, B.B. *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanish cedar. In: BURNS, R.M.; HONKALA, B.H. *Hardwoods. Agric. Handb.* v. 2. Washington, DC: Silvics of North America, Department of Agriculture, Forest Service, 1990. 250-257.

CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/como/index.php?id=8>. Arquivo capturado em: 21 mar. 2011.

CORADIN, V.T.R. *Formação de anéis de crescimento e sazonalidade da atividade cambial de dez espécies lenhosas do Cerrado.* 131 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

COSTA, C.G.; CALLADO, C.H.; CORADIN, V.T.R.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA B.; CARMELLO-GUERREIRO S.M. *Anatomia Vegetal.* Viçosa: UFV, 2003. 438 p.

DISCOVER LIFE. Disponível em: <http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Cedrela+odorata>. Arquivo capturado em: 03 jan. 2011.

DÜNISH, O.; MONTÓIA, V.R.; BAUCH, J. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees*, v. 17, p. 244-250, 2003.

ECKSTEIN, D.; SASS, U.; BAAS, P. Preface. *IAWA J.*,v. 16, n. 4, p. 325, 1995.

ESHETE, G.; STAHL, G. Tree rings as indicators of growth periodicity of acacias in the Rift Valley of Ethiopia. *For. Ecol. Manage.*, v. 116, p. 107-117, 1999.

ESTRADA, G.C.D.; CALLADO, C.H.; LISI, C.S.; SOARES, M. Annual growth rings in the mangrove *Laguncularia racemosa* (Combretaceae). *Trees*, v. 22, p. 663-670, 2008.

EVERT, R.F. The cabium and seasonal development of the phloem in *Pyrus malus*. *Amer. J. Bot.*, v. 50, p. 149-159, 1963.

FAHN, A. Xylem structure and annual rhythm of cambial activity in woody species of East Mediterranean regions. *IAWA Bull.*, v. 1, p. 2-6, 1962.

_____. *Anatomia Vegetal.* Madri: Ediciones Pirâmide S.A, 1982. 599 p.

_____. Seasonal cambial activity and phytogeographic origin of woody plants: a hipothesis. *Israel J. Plant Science*, v. 43, p. 69-75, 1995.

FEDER N.; O'BRIEN, T.P. Plant microtechnique: some principles and new methods. *Am. J. Bot.*, v. 55, p. 123-142, 1968.

FERRAZ, D.K.; ARTES, R.; MANTOVANI, W.; MAGALHÃES, L.M. Fenologia de árvores em fragmento de mata em São Paulo, SP. *Rev. Bras. Biol.*, v. 59, n. 2, p. 305-317, 1999.

FOURNIER, L.A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba*, v. 24, p. 422-423, 1974.

GONZÁLEZ T.G.E. Propiedades de la madera de algunas meliaceas de la America tropical. In: WHITMORE, J.L. (ed.). *Studies on the Shootborer H. grandella Zell. Turrialba*, v. 3. Costa Rica: CATIE, 1976. 97-103.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <http://www.maps.google.com.br>. Arquivo capturado em: 12 dez. 2009.

GOURLAY, I.D.. The definition of seasonal growth zones in some African Acacia species - A review. *IAWA J.*, v. 16, n. 4, p. 353-359, 1995.

GRAU, H.R. Regeneration patterns of *Cedrela lilloi* (Meliaceae) in northwestern Argentina subtropical montane forests. *J. Trop. Ecol.*, v. 16, p. 227-242, 2000.

HARRIS, N.; OPARKA, K. J. *Plant Cell Biology: a practical approach.* Oxford: University Press, 1994. 329 p.

HOLDRIDGE, L.R. Ecologia das Meliaceaes latinoamericanas. In: WHITMORE, J.L. (ed.). *Studies on the Shoot borer H. grandella Zell. Turrialba*, v. 3. Costa Rica: CATIE, 1976. p. 97-103.

HOLMES, R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bull.*, v. 43, p. 69-78, 1983.

HUA, Q.; BARBETTI, M.; WORBES, M.; HEAD, J.; LEVCHENKO, V.A. Review of radiocarbon data from atmospheric and tree ring samples for the period 1945-1997 A.D. *IAWA J.* v. 20, n. 3, p. 261-283, 1999.

IBAMA. Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. [on line] Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/parnaso/download.php?id_download=110>. Arquivo capturado em: 12 dez. 2009.

IBAMA. *Unidades de Conservação Federais do Brasil.* 2004. [on line] Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/siucweb/listaUcCategoria.php?abrev=REBIO>. Arquivo capturado em: 12 dez. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. Fundação SOS Mata Atlântica**.** *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica período 2005-2008.* [on line] Disponível em: <http://www.inpe.br>. Arquivo capturado em: 04 nov. 2009.

JACOBY, G.C. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. *IAWA Bull.* v. 10, n. 2, p. 99-108, 1989.

JBRJ. *Projeto Tinguá.* Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2002. Relatório técnicocientífico.

JOHANSEN, D.A. *Plant microtechnique.* New York: McGraw-Hill, 1940.

KERBAUY, G.B. *Fisiologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KITAJIMA, K.; MULKEY, S.S. SAMANIEGO, M.; WRIGHT, J. Decline of photosynthetic capacity with leaf age and position in two tropical pioneer tree species. *Am. J. Bot.*, v. 89, n. 12, p. 1925-1932, 2002.

KITZBERGER, T.; VEBLEN, T.T.; VILLALBA, R. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. In: ROIG, F.A. *Dendrocronología en América Latina.* Mendoza, Argentina: EDIUNC, 2000. 434 p.

KÖPPEN, W. *Climatologia*. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. *Growth control in woody plants.* San Diego, California: Academic Press, 1997.

_____; KRAMER, P.J.; STEPHEN, G. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press, INC, 1991.

KUTSCHA, N.P.; HYLAND, F.; SCHWARZMANN, J.M.. Certain seasonal changes in Balsam Fir cambium and its derivates. *Wood Sci. Tech.*, v. 9, p. 175-188, 1975.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Ed. RiMa, 2000. 531p.

LIMA, H.C. *Leguminosas arbóreas da Mata Atlântica: uma análise da riqueza, padrões de distribuição geográfica e similaridades florísticas em remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro.* Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

LIMA, M.P.M.; GUEDES-BRUNI, R.R. (eds**.**) *Serra de Macaé de Cima: diversidade florística e conservação em Mata Atlântica.* Rio de Janeiro: Instituto Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1997. vol. 2. 404 p.

LIPSCHITZ, N.; LEV-YADUN, S. Cambial activity of evergreen and seasonal dimorphics around the mediterranean. *IAWA Bull.* v. 7, n. 2, p. 145-153, 1986.

LISI, C.S. *Atividade de 14C do fallout e razão isotópica 13C/12C em anéis de crescimento de arvores de clima tropical e subtropical do Brasil.* 111 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

_____; TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; ROIG, F.A.; MARIA, V.R.B.; FERREIRA-FEDELE L.; VOIGT, A.R.A. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in Southeast Brazil. *IAWA J.* v. 29, n. 2, p. 189-207, 2008.

LORENZI, H. *Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas do Brasil.* Nova Odessa, SP: Plantarum, 1998. v. 2. 352p.

LOUREIRO, A.A.; FREITAS, J.A.; SILVA, A.C. *Chave para Identificação Macroscópica de 77 Madeiras da Amazônia.* Manaus: SEMACT/AM. 1994. 71 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. *Manual de Identificação das Principais Madeiras Comerciais Brasileiras.* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. Publicação 1226. São Paulo: PROMOCET, 1983. 191 p.

MARCATI, C.R.; ANGYALOSSY, V. Seasonal presence of acicular calcium oxalate crystals in the cambial zone of *Citharexylum myrianthum* (Verbenaceae). *IAWA J.*, v. 26, n. 1, p. 93-98, 2005.

_____; _____; EVERT, R.F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). *IAWA J.*, v. 27, n. 2, p. 199-211, 2006.

_____; MILANEZ, C.R.D.; MACHADO, S.R. Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae: Caesalpinoidae). *Trees*, v. 22, p. 3-12, 2008.

MARIAUX, A. Les cernes dans les bois tropicaux africans, nature et périodicité II : Périodicité des cernes, méthodes d´étude et premiers résultats. *Revue Bois et Fôrest des Tropiques*, v. 128, p. 39-54, 1967.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. *Anatomy of the Dicotyledons.* Oxford: Clarendon Press, 1950. Vol 2.

MMA/IBAMA. *Plano de Manejo da Reserva Biológica do Tinguá, RJ.* 2006**.** [on line] Disponível em: <http://www.institutoterra.org.br/uploads/documentos/plano_de_manejo_rebio_tingua.pdf.> Arquivo capturado em: 11 jan. 2010.

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

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853-858, 2000.

O'BRIEN, J.J.; OBERBAUER, S.F.; CLARK, D.B. Phenology and Stem Diameter Increment Seasonality in a Costa Rican Wet Tropical Forest. *Biotropica*, v. 40, n. 2, p. 151-159, 2008.

OBSERVATÓRIO NACIONAL. *Efemérides Astronômicas.* Ano 120. Rio de Janeiro, 2004.

_____. *Efemérides Astronômicas.* Ano 121. Rio de Janeiro, 2005.

_____. *Efemérides Astronômicas.* Ano 122. Rio de Janeiro, 2006.

_____. *Efemérides Astronômicas.* Ano 125. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *Efemérides Astronômicas.* Ano 125. Rio de Janeiro, 2010.

PENNINGTON, T.D.; STYLES, B.T. A generic monograph of the Meliaceae. *Blumea*, v. 22, p. 419-540, 1975.

PIRATININGA-AZEVEDO, A. Meliaceae. *In*: LIMA, M.P.M.; GUEDES-BRUNI, R.R. (Orgs.). *Reserva Ecológica de Macaé de Cima – Nova Friburgo – RJ: aspectos florísticos das espécies vasculares.* Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1996. vol. 2. p. 279-288.

_____. *Meliaceae Juss. No Parque Nacional do Itatiaia, Município de Itatiaia, Rio de Janeiro, Brasil.* Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Botânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Museu Nacional, Rio de Janeiro. 1999.

PRIYA, P.B.; BHAT, K.M. False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.f.) and the influence of environmental factors. *For. Ecol. Manage.*, v. 108, p. 215-222, 1998.

_____; _____. Influence of rainfall, irrigation and age on the growth periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*). *IAWA J.*,v. 20, n. 2, p. 181-192, 1999.

RAO, K.S.; RAJPUT, K.S. Relationship between seasonal cambial activity, development of xylem and phenology in *Azadirachta indica* growing in different forests of Gujarat State. *Ann. For. Sci.*, v. 58, p. 691-698, 2001.

REICH, P.B.; BORCHERT. B. Water Stress and Tree Phenology in a Tropical Dry Forest in the Lowlands of Costa Rica. *J. Ecol.* v. 72, n. 1, p. 61-74, 1984.

RIVERA, G.; BORCHERT, R. Induction of flowering in tropical trees by a 30-min reduction in photoperiod: evidence from field observations and herbarium collections. *Tree Physiol.*, v. 21, p. 201-212, 2001.

_____; ELLIOTT, S.; CALDAS, L.S.; NICOLOSSI, G.; CORADIN, V.T.; BORCHERT, R. Increasing day-length induces spring flushing of tropical dry forest trees in the absence of rain. *Trees*, v. 16, n. 7, p. 445-456, 2002.

RIZZINI, C.T. *Tratado de fitogeografia do Brasil*. São Paulo: EDUSP, 1979.

RODRIGUES, H.C. *Composição florística e estrutura fitossociológica de um trecho de Mata Atlântica na Reserva Biológica do Tinguá, Nova Iguaçu, RJ.* Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Botânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Museu Nacional, Rio de Janeiro, 1996.

ROIG, F.A. Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. In: _____ (org.). *Dendrocronología en América Latina.* Mendoza, Argentina: EDIUNC, 2000. 434 p.

ROSERO, PABLO. Zonificación y cultura de Meliaceae. *In:* J. L. WHITMORE (ed.). *Studies on the Shootborer H. grandella Zell. Turrialba*, Costa Rica: CATIE, 1976. v. 3. p. 97-103.

ROSSI, S.; DESLAURIERS, A.; ANFODILLO, T. Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: an example at the alpine timberline. *IAWA J.*, v. 27, n. 4, p. 383-394, 2006.

SANTOS, D.L.; TAKAKI, M. Fenologia de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) na região rural de Itirapina, SP, Brasil. *Acta bot. bras.*, v. 19, n. 3, p. 625-632, 2005.

SASS, J.E. *Elements of Botanical Microtechnique.* New York: McGraw-Hill Book Company, 1958. v. 2. 222 p.

SCARANO, F.R. Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities iin Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. *Ann. Bot.*, v. 90, p. 517-524, 2002.

SCHÄFFER, W.B.; PROCHNOW, M. (org.). Informações gerais. In: _____. *A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira.* Brasília: APREMAVI, 2002. 156p.

SCHÖNGART, J.; JUNK, W.J. PIEDADE, M.T.F. AYRES, J.M.; HÜTTERMANN, A.; WORBES, W. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect. *Glob. Change Biol.*, v. 10, n. 5, p. 683–692, 2004.

SHIOKURA, T. A method to measure radial increment in tropical trees. *IAWA Bull.*, v. 10, n. 2, p. 147-154, 1989.

SMITH JR, C.E. Flora of Panama: Part VI: Family 92. Meliaceae. In: *Annals of the Missouri Botanical Garden*, v. 52, n. 1, p. 55-79, 1965.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal.* 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 679 p.

TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. In: ROIG, F.A. *Dendrocronología en América Latina.* Mendoza, Argentina: EDIUNC, 2000. 434 p.

_____; _____; _____; SPATHELF, P. *Cedrela angustifolia* Ses. et Moc. ex Dc., Meliaceae: potential species for tropical dendrochronology. *Paleobotanist*, v. 50, p. 47-53, 2001a.

TOMAZELLO-FILHO, M; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N.B; MARTOS, H.L.; BARRELLA, W. (orgs.). *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações.* São Paulo: EDUC, 2001b.

_____; ROIG, F.A.; POLLITO, P.A.Z. Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecol. Bolivia*, v. 44, n. 2, p. 73-82, 2009.

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

VERHEYDEN, A.; KAIRO, J.G.; BEECKMAN, H.; KOEDAM, N. Growth rings, growth ring formation and age determination in the mangrove *Rhizophora mucronata*. *Ann. Bot. London.*, v. 94, p. 59-66, 2004.

VILLALBA, R.; BONISEGNA, J.A.; HOLMES, R.L. *Cedrela angustifolia* and *Juglans australis*: two new tropical species useful in dendrochronology. *Tree Ring Bull.*, v. 45, p. 25-35, 1985.

WALTER, H.; HARNICKELL, E.; MUELLER-DOMBOIS, D. *Climatediagram maps.* Berlim: Springer Verlasg, 1975.

WORBES, M. Structural and other adaptations to long-term flooding by trees in Central Amazonia. *Amazoniana*, v. 9, n. 3, p. 459-484, 1985.

_____. Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the neotropics. *IAWA Bull.*, v. 10, n. 2, p. 109-122, 1989.

_____. Occurrence of seasonal climate and tree ring research in the tropics**.** *Lundqua Report*, v. 34, p. 338-342, 1992.

_____. How to measure growth dynamics in tropical trees - A review. *IAWA J.*, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

_____. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *J. Ecol.*, v. 87, p. 391-403, 1999.

_____; JUNK, W. J. How old are tropical trees? The persistence of a myth. *IAWA J.*, v. 20, n. 3, p. 255-260, 1999.

_____. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, v. 20, n. 1-2, p. 217-231, 2002.

_____; STASCHEL, R.; ROLOFF, A.; JUNK, W.J. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *For. Ecol. Manage.*, v. 173, p. 105-123, 2003.

YAÑEZ-ESPINOZA, L.; TERRAZAS, T.; LÓPEZ-MATA, L. Phenology and radial stem growth periodicity in evergreen subtropical rainforest trees. *IAWA J.*, v. 31, n. 3, p. 293-307, 2010.

ZALAMEA, M.; GONZALEZ, G. Leaffall phenology in a subtropical wet forest in Puerto Rico: from species to community patterns. *Biotropica*, v. 40, n. 3, p. 295-304, 2008.

ZAR, J.H. *Biostatistical Analysis.* New Jersey: Prentice Hall, 1999. 663 p.

ZUMAETA, L.E.C. *Dendrocronología en árboles de Tornillo, Cedrelinga cateniformis Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú.* 129 p. Dissertação (Mestrado em Bosques e Gestão de Recursos Florestais) - Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Post-Grado, La Molina, 2009.