

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP**

**Alejandro Danilo Venegas González**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências, Recursos Florestais. Opção  
em: Tecnologia de Produtos Florestais**

**Piracicaba  
2013**

Alejandro Danilo Venegas González  
Engenheiro Florestal

**Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*  
Barr. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba,  
SP**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **MARIO TOMAZELLO FILHO**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências, Recursos Florestais. Opção  
em: Tecnologia de Produtos Florestais**

**Piracicaba  
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Venegas González, Alejandro Danilo

Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP / Alejandro Danilo Venegas González.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.  
142 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Anatomia da madeira 2. Dendrocronologia 3. Densitometria de raios X 4. Massa de lenho 5. Massa de carbono 6. Fixação do carbono 7. Vasos 8. Anéis de crescimento falsos I. Título

CDD 634.97338  
V455d

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"**

*“Somos todos muito ignorantes.  
O que ocorre é que não todos ignoramos as mesmas coisas”.*

*Albert Einstein*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, pelo apoio sempre presente ao longo da minha vida, entregando grandes valores.

A Carla, colega, parceira e amor da minha vida pelo apoio em todo. Agradeço por acompanhar nesta aventura.

Ao professor Mario Tomazello Filho, por acreditar em mim sem me conhecer, além da confiança, orientação, aprendizagem e amizade.

Aos professores Fidel A. Roig, Claudio S. Lisi, Paulo C. Botosso, Pedro Brancalion, Silvio Ferraz, Edson Vidal e Ricardo R. Rodrigues, pela oportunidade de discussão e de aprendizagem.

À Priscila Amaral de Sá, agradeço imensamente por toda ajuda no campo e no laboratório.

Aos amigos do laboratório, principalmente: Alisson Rangel, Angel Ferreira, Aparecido Candido, Bruno Gomes, Claudio Anholetto, Claudio Lisi, Ivanka Rosada, Mariana Pires, Laura Azevedo, Maria Bermudes, Marco Arizapana, Marta Leite, Matheus Chagas, Priscila Geroto, Renata Bovi, Tassio Trevizor, Ugo Belini, Victor Moutinho e Vinícius Castro, agradeço imensamente a todos pelo auxílio prestado, pela generosidade demonstrada e pela amizade.

Aos amigos da Mata da Pedreira, Ricardo Gomes César, Vanessa Jó Girão e Felipe Mello.

A CNPq pelo auxílio financeiro proporcionado através do projeto “*Restauração da Mata da Pedreira*” (projeto: 561910/2010-3) sob a coordenação do prof. Edson Vidal.

À Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica do Chile (CONICYT), pela bolsa de estudos concedida.

À ESALQ-USP pela oportunidade para desenvolver este trabalho de pesquisa.



## SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT .....	11
1 INTRODUÇÃO .....	13
2 OBJETIVOS .....	15
Geral 15	
Específicos.....	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1 Características gerais das espécies.....	17
3.1.1 <i>Tectona grandis</i> .....	17
3.1.2 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	18
3.2 Características anatômicas do lenho .....	19
3.2.1 <i>Tectona grandis</i> .....	19
3.2.2 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	21
3.3 Dendrocronologia.....	22
3.3.1 Dendrocronologia das árvores de <i>Tectona grandis</i> .....	23
3.3.2 Dendrocronologia das árvores de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	28
3.4 A densitometria de raios X aplicada na análise do lenho e dos anéis de crescimento .	29
3.5 Análise dos elementos de vaso nos anéis de crescimento do lenho das árvores.....	31
3.6 Análise da flutuação da densidade intra-anéis de crescimento do lenho das árvores...	33
3.7 Presença de lianas como indicador de áreas florestais degradadas.....	34
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	37
4.1 Caracterização da Mata da Pedreira.....	37
4.2 Espécies florestais selecionadas.....	39
4.3 Caracterização das árvores .....	42
4.4 Metodologia de análise do lenho das árvores das espécies florestais.....	45
4.4.1 Coleta e preparo das amostras do lenho .....	45
4.4.2 Avaliação da estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento .....	46
4.4.3 Caracterização e aplicação da análise dos anéis de crescimento: dendrocronologia ....	47
4.4.4 Influência das lianas no crescimento radial do tronco das árvores: Dendroecologia ...	48
4.4.5 Efeito das variáveis climáticas no crescimento das árvores: dendroclimatologia .....	49
4.4.6 Determinação da densidade do lenho e dos anéis de crescimento .....	51

4.4.7	Acúmulo de biomassa e carbono fixado no lenho e nos anéis de crescimento .....	53
4.4.8	Análise dos vasos no lenho/anéis de crescimento das árvores de <i>Tectona grandis</i> .....	53
4.3.9	Análise dos anéis de crescimento anuais falsos no lenho das árvores de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
5.1	Caracterização anatômica do lenho e dos anéis de crescimento das árvores .....	59
5.1.1	Árvores de <i>Tectona grandis</i> .....	59
5.1.2	Árvores de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	61
5.2	Dendrocronologia das árvores das duas espécies .....	63
5.3	Dendroecologia das árvores das duas espécies .....	66
5.3.1	Influência das lianas no crescimento radial do tronco das árvores .....	66
5.3.2	Resposta das árvores às variações de clima, com a presença das lianas .....	72
5.4	Densidade aparente do lenho das árvores .....	74
5.4.1	Densidade aparente do lenho das árvores .....	74
5.4.2	Influência das lianas na densidade do lenho do tronco das árvores .....	78
5.4.3	Incremento de biomassa e massa de carbono no lenho das árvores .....	79
5.5	Dendroclimatologia das árvores das espécies .....	82
5.5.1	Influência do clima local .....	82
5.5.2	Influência do clima a grande escala .....	87
5.6	Análise dos vasos no lenho das árvores de <i>Tectona grandis</i> .....	92
5.6.1	Efeito das lianas nas dimensões dos vasos no lenho das árvores .....	92
5.6.2	Correlação das variáveis climáticas e os vasos no lenho das árvores .....	95
5.7	Análise dos anéis de crescimento falsos do lenho das árvores de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	102
5.7.1	Efeito das lianas na formação dos anéis de crescimento falsos .....	102
5.7.2	Relação do clima e a formação de anéis de crescimento falsos .....	105
6	CONCLUSÕES .....	109
	REFERÊNCIAS .....	111
	ANEXO .....	129
	APÊNDICES .....	135

## RESUMO

### **Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Bar. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP**

As árvores de *Tectona grandis* (Verbenaceae) e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Pinaceae) são utilizadas em estudos dendroecológicos e dendroclimatológicos pela formação de anéis de crescimento anuais das duas espécies plantadas na Mata da Pedreira do Campus da ESALQ-USP para estudos ecológicos e climáticos. Foram selecionadas 8 árvores de *Tectona grandis* (4 com e 4 sem lianas ocupando a copa das árvores) e 10 árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (8 vivas - 4 com e 4 sem lianas ocupando a copa das árvores - e 2 mortas). Com a utilização de sondas de Pressler foram extraídas 2-6 amostras do lenho/árvore das 2 espécies para analisar seus anéis de crescimento. Foi realizada (i) a caracterização anatômica macro e microscópica dos anéis de crescimento; (ii) estudos de dendrocronologia, pela datação e avaliação do crescimento radial do tronco das árvores; (iii) avaliação da densidade do lenho por densitometria de raios X para a determinação da densidade dos anéis de crescimento, incremento de biomassa e de carbono; (iv) avaliação da influência do clima local e em grande escala no crescimento do tronco das árvores; (v) análise dos vasos das árvores de *T. grandis* e dos anéis de crescimento falsos nas árvores de *P. caribaea*. Os resultados principais mostraram que as características anatômicas dos anéis de crescimento das árvores das 2 espécies coincidem com os descritos na literatura; a série de anéis de crescimento mostrou correlação significativa em relação à sincronização dos anéis de crescimento das árvores das 2 espécies. O efeito prejudicial das lianas na copa das árvores de *T. grandis* e de *P. caribaea* foi comprovado pela redução da largura dos anéis de crescimento no período de 2000-11 e de 1971-2011, respectivamente. A densidade aparente média dos anéis de crescimento (*T. grandis*: 0,64 g/cm<sup>3</sup> e de *P. caribaea*: 0,60 g/cm<sup>3</sup>) permitiu calcular o incremento de massa de carbono, resultando que as árvores sem lianas apresentam maior estoque de carbono do que as com lianas. A análise dendroclimatológica mostrou que as árvores de *P. caribaea* apresentaram correlações positivas com a disponibilidade de água no solo no período de seca; as árvores de *T. grandis* mostram correlação positiva com o período de maior chuva, temperatura de primavera e a oscilação antártica (AAO) de outono no ano corrente de crescimento, e correlação negativa com o evento de El Niño (TNI) em outono anterior. A ocupação das lianas na copa das árvores de *T. grandis* provocou o aumento da área dos vasos; os vasos do lenho inicial (e sua frequência) mostraram correlação significativa com a largura dos anéis de crescimento, possibilitando a construção de cronologias desses parâmetros e a avaliação da influência climática nas árvores. A ocupação das lianas na copa das árvores de *P. caribaea* induziu diminuição da frequência dos anéis de crescimento falsos, formados, principalmente, pelo aumento das precipitações de julho anterior e verão (DJF) e corrente. Os resultados deste estudo permitiram concluir que a análise dos anéis de crescimento das árvores das 2 espécies tem grande potencial para estudos ecológicos e ambientais no Brasil.

Palavras-chave: Anatomia da madeira; Dendroecologia; Densitometria de raios X; Massa de lenho; Massa de carbono; Fixação do carbono; Vasos; Anéis de crescimento falsos



## ABSTRACT

### **Dendrochronology of *Tectona grandis* L. and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. trees from plantation of Mata da Pedreira, Campus ESALQ-USP, Piracicaba, SP.**

The trees of *Tectona grandis* (Verbenaceae) and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Pinaceae) are used in dendroecological and dendroclimatological studies by formation the annual growth rings. For these reasons, the study aimed to examine the tree-rings of the two species planted in Mata da Pedreira in Campus ESALQ/USP to climatic and ecological studies. We selected eight *T. grandis* trees (4 with and 4 without lianas occupying the trees canopy) and 10 *P. caribaea* trees (8 live - 4 with and 4 without lianas- and 2 dead). With the use Pressler increment borer was extracted 2-6 wood samples/tree of two species to analyze their trees-rings growth. Were applied: i) anatomical characterization macro and microscopic of trees-rings; ii) dendrochronology studies, by dating and evaluation of the trees radial growth; iii) evaluating the density of the wood by X-ray densitometry for determination of tree-rings density, biomass and carbon increment; iv) evaluating of influence of local climate and large-scale, on tree-rings; v) Analysis of the vessel in *T. grandis* trees and false rings in *P. caribaea* trees. The main results showed that the anatomical characteristics of trees-rings of the both species coincide with those described in the literature; the series of trees-rings showed significant correlation with respect to the synchronization of trees-rings in the two species. The unfavorable effect of lianas in the canopy of trees *T. grandis* and *P. caribaea* was confirmed by the reduction of the tree-rings width in period 2000-2011 and 1976-2011, respectively. . The apparent density average of tree-rings (*T. grandis*: 0,64 g/cm<sup>3</sup> e de *P. caribaea*: 0,60 g/cm<sup>3</sup>) allowed us to calculate the increase of carbon mass, resulting that trees without lianas had higher carbon stocks than those with lianas. The climatological analysis showed that *P. caribaea* showed positive correlations with water availability in the soil in the dry season; *T. grandis* trees showed positive correlations with period of highest rainfall, temperature of spring and AAO of fall in the current growing season, and negative correlation with El Niño event (TNI) in the fall. The occupation of lianas on *T. grandis* trees caused the increase of the vessels area; the earlywood vessels (and frequency) had a significant correlation with the tree-rings, allowing build of chronologies of these parameters and evaluate the influences climate in the trees. The occupation of lianas on *P. caribaea* trees induced a decrease in false rings, which are formed primarily by the increase of the previous July and current summer (DJF). The results of this study showed that the tree-rings analysis of the two species has great potential to ecological and climatical studies in Brazil.

**Keywords:** Wood anatomy; Dendroecology; X-ray densitometry; Wood biomass; Carbon mass; Carbon sequestration; Vessels; False tree-rings



## 1 INTRODUÇÃO

A dendrocronologia é conceituada como a ciência que possibilita a detecção e a análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores e de peças da madeira, incluindo a aplicação da informação registrada em sua estrutura para a reconstrução do crescimento das árvores, para estudos ambientais e históricos. Essa ciência desenvolveu-se inicialmente com estudos das árvores em florestas de origem temperada (FRITTS, 1977; SCHWEINGRUBER, 1988). No entanto, nas últimas décadas existem inúmeros estudos aplicados para árvores de espécies florestais em áreas tropicais e subtropicais, resultando em uma estabilização e ampliação da dendrocronologia nestas regiões (BOTOSSO et al., 2000), sendo Brasil um país com potencial dendrocronológico (TOMAZELLO FILHO et al., 2009).

A utilização das técnicas dendrocronológicas nos diferentes ecossistemas florestais do Brasil tem como objetivo: a determinação da idade das árvores, da variação radial da densidade do lenho por densitometria de raios X, da construção da taxa e da dinâmica do crescimento do tronco das árvores, da resposta aos eventos climáticos e indicadores ambientais (chuvas, secas, incêndios, EL NIÑO), etc (TOMAZELLO FILHO et al., 2001).

Dentre os ecossistemas florestais, destaca-se a floresta estacional semidecidual pela intensidade de intervenções antrópicas, estando restritas, atualmente, a fragmentos remanescentes encravados em áreas de difícil acesso, consideradas inaptas para práticas agrícolas e pecuárias e/ou protegidos em reservas ou parques ecológicos por ação institucional e até de alguns proprietários rurais (RODRIGUES, 1999).

Um indicador de áreas florestais degradadas é a presença de lianas, sendo comum na copa das árvores em florestas muito perturbadas, observando-se emaranhados densos de trepadeiras. A presença de lianas é prejudicial à regeneração natural das espécies florestais e, conseqüentemente, à continuidade da sucessão secundária (ENGEL et al., 1998; BOTOSSO et al., 2005). A Mata da Pedreira, localizada no Campus da ESALQ, é um exemplo de floresta estacional semidecidual com as características de alto nível de perturbação e presença de lianas afetando o crescimento e desenvolvimento das árvores.

A principal característica de degradação da Mata da Pedreira é o intenso efeito de borda, em função da presença de pastagem ao seu redor, o que expõe as árvores à intensa luminosidade, ação de ventos e uma maior variação da temperatura. O formato triangular e a pequena dimensão da Mata da Pedreira contribuem, também, para aumentar a intensidade de

degradação, permitindo que as lianas e as gramíneas colonizem a área, competindo com as espécies arbóreas e impedindo a sua regeneração natural (DUCATTI et al., 2010).

Neste fragmento florestal existem plantações de espécies exóticas praticamente ao longo de toda a margem do rio Piracicamirim, onde se encontram associadas em diferentes estágios de sucessão com a vegetação nativa. Dentro dessas espécies, destacam-se as árvores de *Tectona grandis* (*Verbenaceae*) e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (*Pinaceae*).

A literatura relata estudos dos anéis de crescimento das árvores dessas espécies, sendo os de *Tectona grandis* utilizados em sua área de ocorrência natural para reconstruções climáticas pela correlação significativa com a precipitação e índices climáticos (PUMIJUMNONG et al., 1995; RAM et al., 2008; BORGAONKAR et al., 2010), além dos estudos realizados no Brasil (CARDOSO, 1991; SOUZA et al., 2011; OLIVEIRA, 2011; CASTRO, 2011). As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* têm sido estudadas com objetivo dendrocronológico nas florestas tropicais da Venezuela (WORBES, 1999; MELANDRI et al., 2007) e também para as reconstruções de incêndios (MILLER, 2007), com as pesquisas no Brasil principalmente enfocadas nas características anatômicas e de densidade do lenho (VASQUEZ CORREA, 1995; OLIVEIRA et al., 1997, FERREIRA; TOMAZELLO FILHO, 2009; CASTRO, 2011).

Pelo exposto, no presente estudo aplica-se o estudo dos anéis de crescimento formados no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis* da plantação da Mata da Pedreira como biomonitores ambientais, visando responder às seguintes perguntas: 1) a presença das lianas nas árvores produz um efeito prejudicial na anatomia do lenho? 2) existe uma influência do clima na formação dos anéis de crescimento? Foram consideradas as seguintes hipóteses: i) existe um maior incremento radial do tronco das árvores sem lianas; ii) a aplicação da densitometria de raios X evidencia um maior acúmulo de massa de carbono nas árvores sem lianas, iii) existe uma diferença nas dimensões dos elementos condutores em *T. grandis* e na formação de anéis de crescimento falsos em *P. caribaea* induzidos pela ocupação das lianas nas árvores; iv) existe uma relação entre os anéis de crescimento no lenho das árvores com a variabilidade climática local e de grande escala.

## 2 OBJETIVOS

### Geral

Analisar os anéis de crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* plantadas na Mata da Pedreira e caracterizar as suas variações anatômicas para estudos ecológicos e climáticos.

### Específicos

1. Caracterização da estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento,
2. Construção das cronologias de anéis de crescimento do lenho das árvores das 2 espécies,
3. Determinar a idade e taxa de crescimento em diâmetro do tronco das árvores pelos anéis de crescimento anuais,
4. Determinar a densidade aparente dos anéis de crescimento e o incremento anual de massa e de carbono do tronco das árvores das 2 espécies por densitometria de raios X,
5. Avaliar a influência das variáveis climáticas locais (precipitação acumulada, temperatura, índice de seca de Palmer/PDSI, índice estandardizado de precipitação/SPI e índice de satisfação de necessidade por água/ISNA) e de grande escala (índice de oscilação Sul/SOI, índice Trans-Niño/TNI e Oscilação Antártica/AAO),
6. Analisar e quantificar a área e a frequência os vasos no lenho das árvores de *Tectona grandis*,
7. Analisar a frequência de flutuações de densidade intra-anuais no lenho (anéis de crescimento falsos) das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Características gerais das espécies

##### 3.1.1 *Tectona grandis*

*Tectona grandis* (Verbenaceae), teca, é uma espécie monóica originária da Birmânia, Tailândia, Índia e outros países da Ásia. A literatura relata que Trinidad e Tobago foi o primeiro país do continente americano onde a espécie foi introduzida e, em seguida, em outros países, inclusive no Brasil (CHAVES; FONSECA, 1991), que possui algumas regiões com condições ecológicas similares às da sua região de origem (CARDOSO, 1991).

As árvores de teca apresentam requerimentos climáticos caracterizados pela presença de uma estação seca bem definida (3-5 meses), temperatura média anual de 22-28°C e precipitação anual de 1.250-2.500 mm (CHAVES; FONSECA, 1991). No entanto, MATRICARDI (1989) assinala que o crescimento das árvores de teca é maior em regiões com precipitação de 1.270-3.800 mm, com as árvores crescendo adequadamente de 0 a 1.000 msnm de altitude. As árvores de teca se estabelecem em grande variedade de solos e de formações geológicas, com o melhor crescimento nos solos aluviais, profundos, porosos, férteis e bem drenados e com um pH neutro a ácido (PANDEV; BROWN, 2000; PÉREZ; KANNINEN, 2005). Weaver (1993) indica ainda que as árvores de teca toleram condições extremas quando o solo apresenta uma drenagem adequada.

As árvores de teca são caducifólias, de copa arredondada, folhas grandes, fuste liso, cilíndrico (20-50 m altura) e com base do tronco expandida e reforçada em função do desenvolvimento das raízes (PANDEY; BROWN, 2000). As folhas são de disposição oposta a verticilar, em grupos de 3, coriáceas, com 30-60 cm de comprimento e 20-35 cm de largura. A floração e frutificação das árvores de teca iniciam-se entre 5-8 anos e suas sementes apresentam, geralmente, latência, requerendo tratamento de escarificação para a germinação (CHAVES; FONSECA, 1991); as flores são pequenas, branco-amareladas, dispendo-se em panículas; a polinização é por feita por insetos, citando-se também o vento (Figura 1) (WEAVER, 1993).

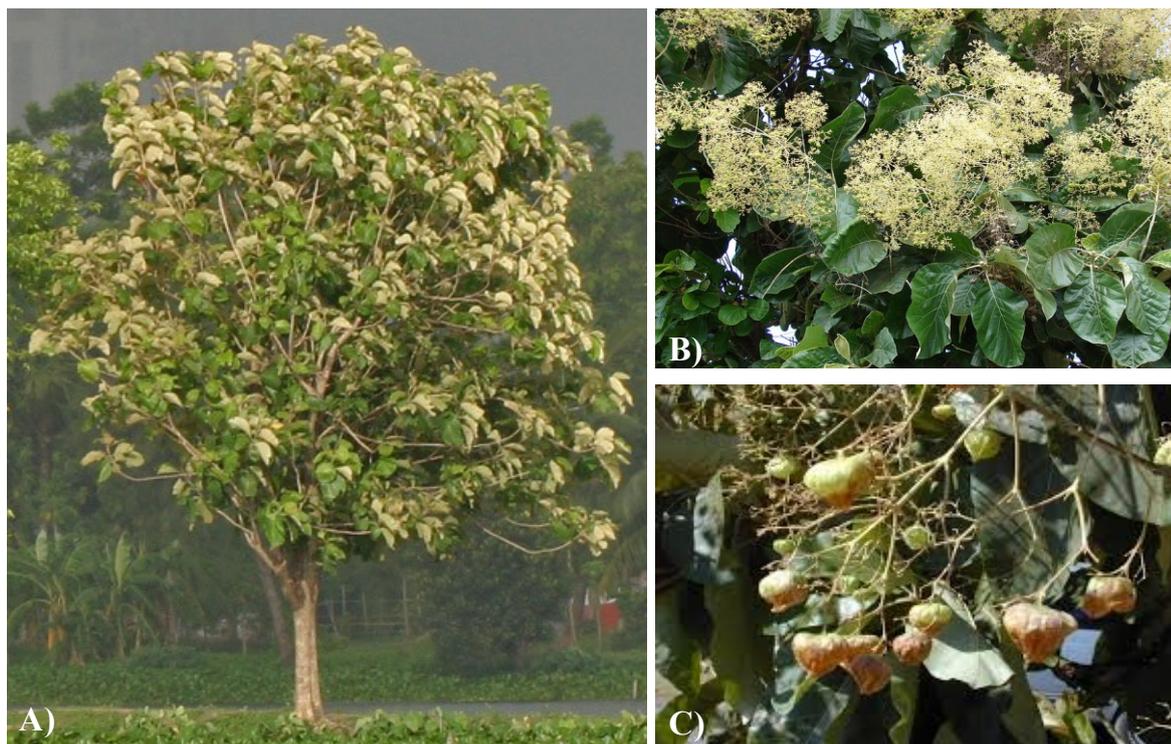


Figura 1 - Características das árvores de *T. grandis*: (A) aspecto árvore; (B) flores e folhas; (C) frutos. Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/Tectona\\_grandis](http://commons.wikimedia.org/wiki/Tectona_grandis)

### 3.1.2 *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, comumente conhecidas como “pino do Caribe”, são monóicas, ocorrendo nas regiões tropicais da América Central, principalmente em Honduras, Nicarágua, El Salvador, Guatemala, Belize e México. Devido a sua grande plasticidade ecológica tornou-se a espécie de pinus tropical mais utilizada em programas de reflorestamento, sendo que o Brasil possui a maior área de plantação, por sua apreciada madeira e pelos inúmeros produtos (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2011).

As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* requerem para o seu desenvolvimento a presença de estação seca (2-3 meses), temperatura média anual de 20-27 °C, média dos meses mais frio de 9-12 °C e máxima no mês mais quente de 23-36 °C, com a precipitação anual ótima para seu crescimento de 1.800 mm (EGUILUZ, 1982), embora existam plantações de 600-3.900 mm\*ano<sup>-1</sup> (FERREIRA, 2009). O solo é normalmente argiloso, arenoso e hidromórfico e devido à grande adaptabilidade pode-se desenvolver do nível do mar até 1.000 metros de altitude (EGUILUZ, 1982).

As árvores dessa espécie podem atingir 45 m de altura, 1 m de diâmetro, com copa formada por galhos retos e sem ramificações; a casca é grossa com fissuras de cor marrom; as folhas aciculares, em fascículos de 3 acículas, variando de 2-6, de 15-25 cm de comprimento e 1,5 mm de largura, de cor verde escuro a amarelado; os cones recém-fecundados têm 1-1,5 cm de comprimento e maduros de 5-12 cm, ovóides, vermelho acastanhado-marrom, com 30-60 sementes/cone; os estróbilos masculinos são agrupados em amentos cilíndricos de 25-45 mm (Figura 2) (BARRETT; GOLFARI, 1962).

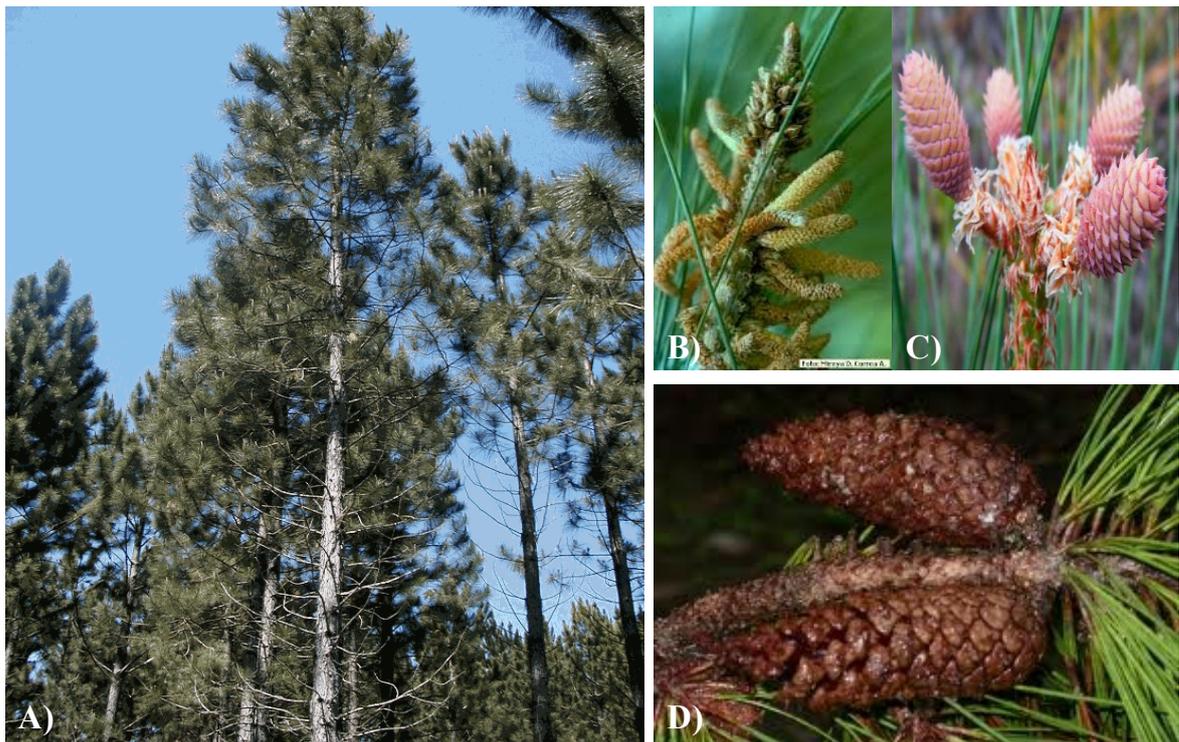


Figura 2 - Características das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*: (A) árvore; (B) estróbilos masculinos e acículas; (C) estróbilos femininos; (D) cones. Fonte: <http://herbario.up.ac.pa/Herbario/herb/vasculares/view/species/5624>

## 3.2 Características anatômicas do lenho

### 3.2.1 *Tectona grandis*

Os anéis de crescimento das árvores de teca apresentam características anatômicas associadas às variações de forma, tamanho e distribuição dos vasos, parênquima radial e axial. Os vasos são importantes para a caracterização e delimitação dos anéis de crescimento do lenho, distintos a olho nu e agrupados, formando anéis de crescimento semi-porosos (BOTOSSO, 2011).

Na seção transversal do lenho, os anéis de crescimento são caracterizados pelos vasos de maior diâmetro, formados no início do período vegetativo (lenho inicial) seguindo-se os vasos de menor diâmetro/menor frequência, formados no final do período vegetativo (lenho tardio). Os anéis de crescimento são demarcados pelo parênquima marginal associado aos vasos de maior diâmetro, observando-se tiloses e substância branca (fosfato de cálcio) no lume dos vasos (PUMIJUMNONG et al., 1995; DONALDSON, 1984). Castro (2011) e Oliveira (2011), caracterizando os anéis de crescimento das árvores de teca, confirmaram o lenho inicial (vasos de maior diâmetro e frequência) e tardio (menor diâmetro e frequência), além de faixa terminal de parênquima axial com coloração mais clara em relação às fibras (Figura 3).

Na estação favorável ao crescimento das árvores, com maior disponibilidade de luz e de água são formados os anéis de crescimento mais largos, que podem diminuir a durabilidade aos organismos xilófagos, além da formação de anéis de crescimento falsos pela variação anormal do clima (PRIYA; BHAT, 1998). Os primeiros relatos da formação de anéis de crescimento falsos no lenho das árvores de *Tectona grandis* foram reportados por Chowdhury e Rao (1949) apud Praya e Bhat (1998).

No Brasil, as árvores de teca apresentam o maior crescimento de dezembro-fevereiro (maior pluviosidade), com maior atividade cambial, e de setembro-novembro (menor pluviosidade) menor atividade cambial (CARDOSO, 1991).

O lenho das árvores de *Tectona grandis* não mostra uniformidade radial (medula-casca) com o lenho inicial dos primeiros anos de menor massa específica, menor comprimento de fibra e maior ângulo microfibrilar; os anéis de crescimento do lenho adulto têm maior massa específica e estrutura anatômica característica (MOYA et al., 2009).

Castro (2011) dividiu o lenho das árvores de *Tectona grandis* em posição 1 (anéis de crescimento iniciais, posição 2 (anéis de crescimento 50% do raio) e posição 3 (anéis de crescimento finais do lenho); na posição 1 os anéis de crescimento são mais largos, com lenho inicial de maior largura que o tardio; na posição 2 os anéis de crescimento são mais estreitos, lenho inicial-tardio de largura similar; na posição 3 os anéis de crescimento têm largura constante, lenho inicial mais estreito em relação ao tardio.

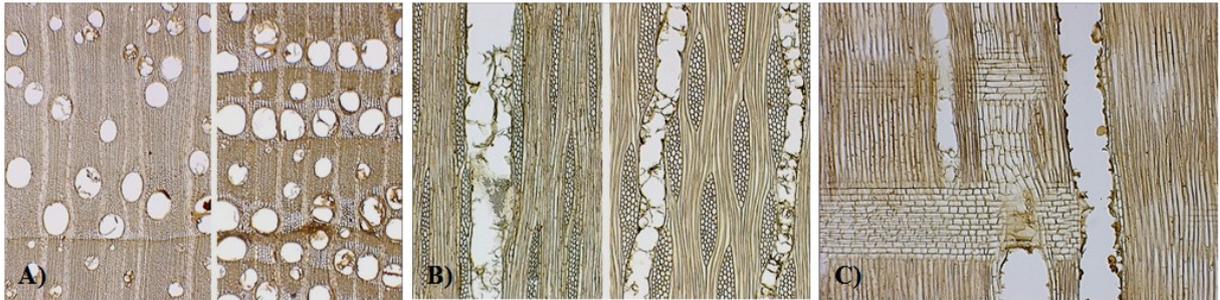


Figura 3 - Anéis de crescimento de *Tectona grandis*: A) plano transversal, B) plano longitudinal tangencial, C) plano longitudinal radial. Fonte: Richer e Dallwitz, 2000

### 3.2.2 *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

O lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é amarelado-claro, textura média a grosseira e grã direita. Os anéis de crescimento são constituídos pelo lenho inicial, de maior espessura e densidade mais baixa, em relação ao lenho tardio; o teor de resina é elevado, podendo causar problemas no desdobro em toras e resina e seus produtos (breu, terebintina, etc) são considerados de boa qualidade (LORENZI et al., 2003; FERREIRA 2009, CASTRO, 2011).

A análise da seção transversal do tronco de árvores adultas de pinus permite identificar três regiões distintas, caracterizadas pela região interna do lenho, indicativa do crescimento inicial vigoroso, com anéis de crescimento de maior largura, menor densidade e maior porcentagem de lenho inicial/tardio; pela região de transição, demarcando a transição da madeira juvenil-adulta, de densidade intermediária e de proporção similar no lenho inicial/tardio; e a região externa do lenho, caracterizada pela madeira adulta, de maior densidade e maior proporção no lenho tardio/inicial (FERREIRA; TOMAZELLO FILHO, 2009; CASTRO, 2011).

O lenho das árvores de coníferas é, de modo geral, de menor densidade, dureza e resistência em comparação com o das folhosas, com estrutura anatômica relativamente simples, composta por 93% de traqueídes (células longas, 2-6 mm de comprimento, estreitas e de extremidades fechadas), 1% de canais de resina e 6% de raios (Figura 4) (MAINIERI, CHIMELO, 1989; FERREIRA, 2009).



Figura 4 - Anéis de crescimento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*: A) plano transversal, B) plano longitudinal tangencial, C) plano longitudinal radial. Fonte: Ferreira, 2009

### 3.3 Dendrocronologia

Os anéis de crescimento das árvores são influenciados pela sazonalidade das estações climáticas – alternância das condições favoráveis e desfavoráveis – afetando a atividade cambial. O câmbio vascular, responsável pelo crescimento em diâmetro do tronco das árvores, alterna períodos de maior atividade e de latência, induzindo diferenças nas dimensões das células que constituem os anéis de crescimento. No período de maior atividade, o câmbio vascular produz células de maior lume e parede celular delgada; no de menor atividade (ou latência), o câmbio vascular origina células de parede mais espessa e lume reduzido (FRITS, 1976; WORBES, 1995).

A análise dos anéis de crescimento originou uma ciência, que possibilita a datação das árvores de espécies arbóreas e de peças de madeira, denominada de dendrocronologia (do grego: dendro = árvores, chronos = tempo e logus = estudo). A dendrocronologia baseia-se no princípio no qual as árvores que se desenvolvem em condições ecológicas similares apresentam sincronismo na largura dos anéis de crescimento formados no seu tronco, permitindo a determinação da sua idade e a sincronização dos anos de formação de cada anel de crescimento (BROWN, 2003). No início do século XX a dendrocronologia se consolidou como ciência, principalmente, pelas pesquisas realizadas por Andrew E. Douglass, pioneiro no desenvolvimento de metodologias para a análise da relação das séries temporais dos anéis de crescimento e as variáveis do clima (FRITS, 1977; SCHWINGRUBER 1988, 1996).

A dendrocronologia permite a determinação da taxa de crescimento das árvores, e como o efeito das variações ecológicas, naturais ou antropogênicas, constituindo-se em uma ferramenta excepcional a ser aplicada como indicador ambiental (bio-indicador) em

ecossistemas florestais subtropicais e tropicais (TOMAZELLO FILHO et al., 2001), sendo o único método de investigação paleoclimática capaz de decodificar esses registros biológicos em escala de resolução anual (ROIG, 2012).

A dendrocronologia é por natureza uma ciência pluridisciplinar, direcionando as pesquisas para diferentes e diversificados objetivos e aplicações, como a dendroclimatologia, dendroecologia, dendroquímica, dendroarqueologia, dendrogeomorfologia, dendroglaciologia, dendroentomologia e dendroecologia, etc. (TOMAZELLO FILHO et al., 2001). Além disso, essa ciência complementa-se com outras metodologias (ex. sedimentos de lagos, amostras do gelo, pólen, etc) para estudos de reconstruções climáticas com objetivo de verificar o efeito das mudanças climáticas (NEUKOM et al., 2011).

A metodologia de extração das amostras do lenho do tronco das árvores pode ser dividida em método destrutivo e não destrutivo. O primeiro, compreende a aplicação de métodos convencionais para a extração das amostras do lenho, considerando o corte das árvores. O método não destrutivo consiste extração de amostras do lenho do tronco das árvores utilizando sondas metálicas manuais ou acopladas a equipamentos motorizados, permitindo a análises das propriedades e características do lenho, tendo como principal vantagem a manutenção da integridade da árvore em seu ecossistema natural ou plantio (ROSS et al., 1998; CASTRO, 2011).

### **3.3.1 Dendrocronologia das árvores de *Tectona grandis***

Muitos estudos publicados na literatura especializada demonstram o potencial das árvores de *Tectona grandis* para as pesquisas em dendroclimatologia e dendroecologia, pela possibilidade de determinar a correlação dos anéis de crescimento e as variações climáticas (PUMIJUMNONG et al., 1995; RAM et al., 2008; BORGAONKAR et al., 2010; DEEPAK et al., 2010; D'ARRIGO et al., 2011a).

Os estudos aplicados às árvores de teca têm focado a reconstrução de precipitação, a detecção de sinais das monções e a correlação entre o crescimento e índice de seca de Palmer (*PDSI: Palmer Drought Severity Index*) e na macroescala a relação das árvores com os eventos de El Niño/Oscilação Sul (ENSO) (BORGAONKAR et al., 2010; RAM, 2012).

Os primeiros estudos de dendrocronologia em árvores de *Tectona grandis* foram realizados por Berlage (1931) [Pumijumnong (2013)] que confeccionou uma série cronológica de anéis de crescimento de árvores de populações naturais em Java, Indonésia. (400 anos) concluindo que a extensão do período chuvoso – e não a quantidade total de precipitação - era o fator climático de maior influencia no crescimento do tronco das árvores de teca, influenciando o crescimento do ano corrente e o do ano seguinte. Posteriormente, D'Arrigo et al. (1994) reanalisaram a cronologia reconstruindo a série de anéis de crescimento com 61 anos adicionais, corroborando as suas conclusões e correlacionando-a com a ocorrência de eventos de El Niño.

As pesquisas com dendrocronologia das árvores de teca são desenvolvidas, em sua maioria, na região tropical do continente Asiático, principalmente na Índia, Indonésia, Tailândia e Mynmar (BORGAONKAR, 2011; PUMIJUMNONG, 2013).

Na Índia, Borgaonkar et al. (2010) apresentaram uma cronologia de largura de anéis de crescimento de teca de 523 anos, a partir de árvores provenientes de três sítios florestais do estado de Kerala (sul da Índia) utilizando 74 séries de anéis de crescimento de 44 árvores de teca vivas. Os resultados mostram a existência de sincronização no crescimento em diâmetro das árvores de teca das 3 florestas determinada por um coeficiente de correlação de 0,44. A pesquisa dendroclimatológica indica uma relação significativa entre o crescimento do tronco das árvores e a chuva das monções do verão; a pesquisa indicou, também, a relação do crescimento do tronco das árvores com o parâmetro global Índice de Oscilação Sul (*SOI Southern Oscillation Index*), com o fenômeno ENSO provocando baixo crescimento do tronco das árvores. Deepak et al. (2010) coletaram 20 amostras do lenho do tronco de 10 árvores de floresta natural de teca e 10 de plantações de teca observando que anos de seca estavam associados com as menores taxas de crescimento do tronco. Ram (2012) analisou a relação entre a largura dos anéis de crescimento de 40 amostras do lenho de 23 árvores vivas de teca da região de Allapalli, Índia, com o período de seca do inverno, através do PDSI. O principal resultado obtido foi a redução do crescimento do tronco no período de maior temperatura, revelando a importância da disponibilidade de água no solo (umidade) (RAM et al., 2008). Shah et al. (2007) reconstruíram a precipitação de junho-setembro, referente ao período das chuvas de monção, a partir do ano de 1835, utilizando a análise dos anéis de crescimento do lenho de 22 árvores de teca.

Na Tailândia, Pumijumnong et al. (1995) realizaram uma das mais abrangentes pesquisas dendrocronológicas com árvores de *Tectona grandis* analisando 29 florestas naturais da região norte, totalizando mais de 400 árvores amostradas. O principal resultado obtido foi que o crescimento das árvores de teca é controlado pelas chuvas do período da pré-moção, ocorrente de abril-junho. Da mesma forma, Buckley et al. (2007) conseguiram estabelecer uma série cronológica de 448 anos a partir da análise do lenho de 30 árvores vivas e de 47 tocos de árvores mortas na região noroeste da Tailândia, relacionando com o evento da monção do verão, e datando 2 períodos de seca de escala temporal decadal, sendo um no início e outro em meados do século de 1700. Wannasri et al. (2007) realizaram as primeiras pesquisas dendroarqueológicas com árvores de teca na região através do teor de  $^{14}\text{C}$  nos anéis de crescimento.

Em Myanmar, Pumijumnong et al. (2001) observaram a relação da chuva do período de transição da estação úmida para a de seca utilizando a análise dos anéis de crescimento das árvores de teca de 2 florestas na região central do país; os resultados demonstraram, pelos anéis de crescimento, que as árvores de teca têm uma correspondência significativa com a precipitação. D'Arrigo et al. (2011b) reconstruíram 3 séculos da variabilidade climática de ocorrência das monções aplicando a análise dos anéis de crescimento do lenho de árvores de teca - 38 séries de anéis de crescimento de 20 árvores vivas - da floresta da região de Kyaukme, Myanmar.

Na Indonésia, D'Arrigo et al. (2008) investigaram o histórico de ocorrência de secas e os extremos relacionados às secas (*ENSO* e *IOD: Indian Ocean Dipole Mode*) na ilha Java utilizando 9 séries cronológicas de anéis de crescimento de árvores de *Tectona grandis* e uma série cronológica a partir da análise de corais; os índices de PDSI, ENSO e IOD foram reconstruídos obtendo-se a datação da ocorrência do fenômeno do El Niño no período de 1787-2003. Ainda, utilizando a cronologia de anéis de crescimento de árvores de teca foram reconstruídas as taxas de vazão de água do rio Citarum, localizado na ilha de Java, Indonésia, para o período de 1759-2006 (D'ARRIGO et al., 2011a).

Cook et al. (2010) realizaram uma avaliação da periodicidade de ocorrência de secas na região tropical da Ásia, onde ocorrem as monções, utilizando 327 séries cronológicas de anéis de crescimento de 300 árvores de *Tectona grandis*, compilando uma das mais relevantes informações dendroclimatológicas para o sudeste Asiático durante o milênio passado.

Em outros países, como na Venezuela, Worbes (1999) fez uma análise dendrocronológica de árvores de *Tectona grandis* obtendo uma correlação positiva significativa da largura dos anéis de crescimento com a precipitação total do período chuvoso e da estação de transição (seco-chuvoso).

No Brasil, Tomazello et al. (2001) assinalam que as árvores de *Tectona grandis* de plantações apresentam importante potencial dendrocronológico. Posteriormente no Brasil, 12 árvores de teca plantadas em área urbana foram analisadas através dos anéis de crescimento do seu lenho, com o objetivo de determinar a sua idade e taxa de crescimento obtendo-se, como resultado, uma boa sincronização de crescimento ( $r = 0,60$ ) (RADAELI NETO et al., 2011).

Oliveira (2011) realizou um estudo dendrocronológico com 15 árvores de teca de plantações no estado do Mato Grosso, concluindo que a precipitação do período de janeiro-abril, do ano corrente, foi a variável climática determinante para o maior crescimento do tronco, demonstrando seu potencial para reconstrução do clima. Sá et al. (2012) estudaram 6 árvores de teca de plantações, concluindo que a largura dos anéis de crescimento possibilitaram a construção de uma cronologia máster ( $r = 0,62$ ). Chagas et al. (2012) compararam árvores plantadas de teca de 2 sítios, sendo uma área de fragmento florestal natural (árvores de teca plantadas com árvores de espécies nativas) e uma área urbana obtendo, como principal resultado, uma correlação dos anéis de crescimento com a precipitação de verão e com a temperatura do início da primavera (período de ativação da divisão das células cambias) comprovando o potencial dendroclimatológico das árvores da espécie.

Todas as cronologias de anéis de crescimento de *Tectona grandis* que são consideradas significativas e estão inseridas no banco de dados de anéis de crescimento do NOAA (ITRD - *International Tree-Ring Data*) foram desenvolvidas para áreas naturais da Ásia tropical (Figura 5, Tabela 1). Neste contexto, Brasil pode ser potencial para estudos dendrocronológicos para avaliar como está afetando as mudanças globais nos climas tropicais de Sulamérica, além de apresentar uma oportunidade para investigar a interação entre as plantações e as espécies nativas.



Figura 5 - Mapa de cronologia de anéis de crescimento de *Tectona grandis* do banco de dados do NOAA-ITRD (*International Tree-Ring Data*). Figura adaptada de <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>

Tabela 1 - Cronologias de anéis de crescimento de *Tectona grandis* do ITRD

Autor	Código ITRD	Local-Pais	Periodo	Referência
Borgaonkar, H.P.	INDI025	Narangathara-India	1481-2003	Ahmed et al. (2013)
Buckley, B.M	TH001	Mae Hong Son-Thailand	1558-2005	Cook et al. (2010)
D'Arrigo, R.	INDO002	Bekutuk-Indonesia	1668-2004	Cook et al. (2010)
D'Arrigo, R.	INDO001	Bigin-Indonesia	1839-1995	D'Arrigo et al. (2006)
D'Arrigo, R.	INDO003	Donoloyo-Indonesia	1714-2004	Cook et al. (2010)
D'Arrigo, R.	INDO004	Klangon-Indonesia	1644-2005	Cook et al. (2010)
D'Arrigo, R.	INDO005	Muna-Sulawesi	1565-2005	Cook et al. (2010)
D'Arrigo, R.	INDO006	Pagerwunung-Indonesia	1776-2004	Cook et al. (2010)
D'Arrigo, R.	INDO007	Saradan-Indonesia	1689-2000	Cook et al. (2010)
D'Arrigo, R.	INDO000	Kanuan Island - Indonesia	1760-2000	Cook et al. (2010)

### 3.3.2 Dendrocronologia das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Os estudos dendrocronológicos de árvores de espécies de *Pinus* tropicais – como o *Pinus merkusii* e o *Pinus kesiya* - vêm sendo realizados em países da Ásia tropical, principalmente na Tailândia (PUMIJUMNONG, 2013). Buckley et al. (1995) realizaram quatro cronologias de anéis de crescimento de árvores de *P. merkusii* e de *P. kesiya* ocorrentes no norte de Tailândia obtendo correlação positiva da precipitação com o crescimento do tronco das árvores e negativa com a temperatura. D'Arrigo et al. (1997) realizaram cronologia de anéis de crescimento de árvores de *P. merkusii* do nordeste da Tailândia, compreendendo o período de 1647-1993, observando que a baixa taxa de crescimento do tronco das árvores no ano de 1979 relacionava-se com o severo período de seca ocorrido na região. Além disso, um recente estudo com árvores de *P. merkusii* y *P. kesiya* no noroeste de Tailândia permitiu a reconstrução climática do evento pré-moção (PUMIJUMNONG; ECKSTEIN, 2010).

Estudos com outras espécies de *Pinus* de distribuição tropical têm, também, apresentado excelentes resultados na datação exata da idade das árvores e sua relação com o clima. Chernavskaya et al. (1999) construíram séries cronológicas de anéis de crescimento do lenho de árvores de *Pinus tropicalis* de duas florestas de Cuba, obtendo uma associação do crescimento do tronco das árvores com a precipitação. Van der Burgt (1997) e Speer et al. (2004) analisando árvores de *Pinus occidentalis* indicaram o seu potencial dendroclimatológico pela boa correlação dos anéis de crescimento com a temperatura e permitindo a datação da ocorrência de incêndios no passado; os autores indicaram a complexidade da construção das cronologias pela quantidade de anéis de crescimento falsos formados no lenho das árvores destas espécies de *Pinus*.

As pesquisas em dendrocronologia são mais frequentes em árvores de *Pinus caribaea* var. *bahmensis* incluindo a datação dos incêndios florestais. Bolck e Wilson (1994) determinaram a periodicidade da formação dos anéis de crescimento de árvores de *P. caribaea* var. *bahamensis* ocorrente na ilha North Andros, Bahamas, concluindo que os anéis de crescimento são anuais e sua largura diminui após o 18-25º ano, tendo uma correlação positiva com a precipitação anual. Miller (2007) estudou a história dos incêndios florestais aplicando os anéis de crescimento das árvores desta espécie, ocorrentes na ilha Abaco, Bahamas, determinou 204 cicatrizes do lenho de 88 árvores vivas e mortas, criando uma cronologia de ocorrência de incêndios no período de 1935-2002.

Na Nigéria, Olajide et al. (2010) realizaram pesquisa dendroclimatológica em árvores de *Pinus caribaea* de plantações florestais, com baixa amostragem (4 árvores), obtendo uma correlação positiva somente com a temperatura; a correlação não foi significativa para a precipitação e para a umidade relativa do ar.

Estudo dos anéis de crescimento, através de método não destrutivo, de árvores de plantações de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, na Venezuela, realizado por Melandri et al. (2007) indicou a formação de anéis de crescimento anuais, sendo que para 28 % das amostras do lenho houve coincidência com a idade das árvores das plantações devido a grande frequência de anéis falsos, recomendando utilizar seções transversais do lenho do tronco para as datações. Worbes (1999) estudou os anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na Venezuela indicando uma correlação positiva significativa da largura dos anéis de crescimento com a precipitação do período de seca (novembro-abril). No Brasil só existem estudos de caracterização do lenho, potencial de produção de resina e qualidade da madeira da espécie.

Em geral, em regiões tropicais existem menos estudos com as árvores de pinus do que em relação às latifoliadas devido, principalmente, à presença de resina que dificulta o limite dos anéis de crescimento afetando a medição exata de sua largura e formação de anéis de crescimento falsos e, em consequência, a sincronização do crescimento em diâmetro entre as árvores (Pumijumnong, 2013). Emfim, as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* formam anéis de crescimento falsos, dificultando os estudos de dendrocronologia sendo, desta forma, o presente trabalho um dos únicos realizados no Brasil, indicando o potencial dos anéis de crescimento falsos para os estudos ecofisiológicos.

### **3.4 A densitometria de raios X aplicada na análise do lenho e dos anéis de crescimento**

A densidade do lenho das árvores é uma das propriedades físicas mais estudadas nas áreas de ciência e tecnologia pela sua relação com as demais propriedades da madeira, incluindo a caracterização dos anéis de crescimento (SCHINKER et al., 2003), proporcionando a Polge (1965) o desenvolvimento de uma metodologia de análise da densidade aparente dos lenhos inicial-tardio dos anéis crescimento pela análise de filme radiográfico.

A técnica da densitometria de raios X da madeira constitui-se em uma acurada ferramenta de análise dos anéis de crescimento, propiciando a determinação dos valores pontuais micrométricos da densidade aparente do lenho, representativas das variações inter e intra-anéis de crescimento. Os perfis radiais de densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento são aplicados nas análises genéticas, de manejo (fertilização, irrigação, etc.), de silvicultura, proteção fitossanitária, climáticos, edáficos, etc. (TOMAZELLO FILHO et al., 2005). Além disso, a densitometria de raios X possibilita a determinação da produção anual da biomassa e carbono fixado nos anéis de crescimento do lenho e sua relação com a estrutura anatômica (MOTHE et al., 1998).

Dentre das principais vantagens da aplicação da densitometria de raios X no estudo do lenho das árvores destacam-se o registro radiográfico do lenho, alta sensibilidade e resolução, velocidade de processamento dos dados e interpretação dos perfis radiais de densidade (CASTRO, 2011). A densitometria de raios X mostrou, nos últimos 20 anos, um desenvolvimento acelerado com a aplicação de software computacional para a leitura dos filmes radiográficos, permitindo construir o perfil da variação radial da densidade aparente do lenho (TOMAZELLO FILHO et al., 2008).

No Brasil, a aplicação da técnica de atenuação de raios X na análise de madeiras foi implantada por Amaral (1994) e Amaral e Tomazello filho (1998), sendo considerada uma importante ferramenta na avaliação detalhada do efeito dos tratamentos silviculturais na qualidade do lenho, bem como na caracterização tecnológica da madeira. A densitometria de raios X tem sido aplicada na análise do lenho das coníferas e folhosas, determinando os perfis radiais da densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento, a demarcação dos seus limites e os valores de densidade média, mínima e máxima (ZUMAETA et al., 2009). Para a madeira de espécies de coníferas, a densitometria de raios X tem sido aplicada em árvores de *Pinus taeda* (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1998), *Araucaria angustifolia* (WHER; TOMAZELLO FILHO, 2000), *A. columnaris* (MEDEIROS et al., 2008), *Abies alba*, *Pinus sylvestris* e *Picea abies* (DECOUX et al., 2004) dentre inúmeras outras.

Ferreira e Tomazello Filho (2009) utilizaram esta técnica para a caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, evidenciando a demarcação do limites do anéis de crescimento, com os anéis de crescimento falsos ocorrendo nos lenhos inicial e tardio em resposta às variações climáticas e com a densidade aparente mostrando relação com o diâmetro do tronco das árvores.

A técnica de densitometria em raios X tem sido empregada no estudo do lenho das árvores de folhosas como: *Eucalyptus grandis x urophylla* (TOMAZELLO FILHO et al., 2008), *Eucalyptus grandis* (SETTE JUNIOR et al., 2009), *Swietenia macrophylla* (ALVARADO et al., 2010), *Cederela odorata* (ANHOLETTO JUNIOR, 2013), *Afzelia xylocarpa*, *Neolitsea obtusifolia*, *Vitex peduncularis*, *Toona ciliata*, *Melia azedarach* e *Chukrasia tabularis* (NOCK et al., 2009), dentre muitas outras.

A densitometria em raios X foi aplicada no lenho das árvores de *Tectona grandis* observando que a densidade aparente aumenta no sentido medula-casca, e sua variação intra-anéis de crescimento (MOYA et al., 2009; OLIVEIRA, 2011; CASTRO, 2011).

A densitometria de raios X pode ser interessante em árvores com anéis de crescimento pouco visíveis, com a diferença da densidade aparente permitindo a demarcação do limite de cada anel de crescimento (TOMAZELLO FILHO et al., 2012). Porém, em árvores de espécies com anéis de crescimento bem definidos como as de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea*, a metodologia tem um potencial para estimar acúmulo anual de massa de lenho e de carbono (LISI, 2009).

### 3.5 Análise dos elementos de vaso nos anéis de crescimento do lenho das árvores

A inclusão da análise de parâmetros anatômicos do lenho e dos anéis de crescimento das árvores constitui-se em um dos mais importantes avanços nos estudos dendrocronológicos, além da variação da largura dos anéis de crescimento, para analisar a influência das variáveis ambientais (LINDORF, 1994). Neste contexto, o diâmetro, área, e frequência dos vasos nos anéis de crescimento anuais são afetados com as condições climáticas de um ano em particular (Figura 6) (PUMIJUMNONG; PARK, 1999; GARCÍA-GONZÁLEZ; ECKSTEIN, 2003; GIANTOMASI et al., 2008) e são, potencialmente, aplicados em pesquisas de dendroecologia e suas especialidades (GARCÍA-GONZÁLEZ; FONTI, 2006).

Na Europa, os estudos realizados por García-González e Fonti (2006) em árvores de *Castanea sativa* nos Alpes suíços relacionaram a temperatura mensal com os vasos (área do lume dos vasos) concluindo que os vasos de maior e de menor diâmetro têm correlação com a temperatura de março e de junho, respectivamente, embora nem todos os vasos permitem relacionar relevante informação. García-González e Fonti (2008) estudaram as características dos vasos no lenho caracterizados pela formação de anel poroso em árvores de *C. sativa* e de *Quercus petraea* calculando a área média total de vãos e a da 1ª linha dos vasos do lenho

inicial. Os autores, concluíram que (ambos) mostram correlação com o clima; em árvores de *C. sativa* a correlação foi mais significativa para os vasos da primeira linha, em relação aos dos anéis porosos; ao contrário do observado para as árvores de *Q. petraea*.

Em árvores de *Tectona grandis* ocorrentes na Ásia (PUMIJUMNONG, 2013; PUMIJUMNONG; PARK, 1999) foram avaliados 4 parâmetros dos elementos de vaso (área média total, área condutora, diâmetro e densidade) dos lenhos inicial e tardio de todos os anéis de crescimento indicando que todos os parâmetros dos vasos do anel apresentam correlação negativa com as chuvas na transição dos períodos seco-chuvoso e permitiram a reconstrução da temperatura da estação de pré-moção. Bhattacharyya et al. (2007) estudaram vasos do lenho de árvores de teca na Índia encontrando que a precipitação de outubro-novembro do ano anterior e de abril do ano de crescimento corrente relaciona-se com a formação dos vasos do lenho inicial do anel de crescimento.

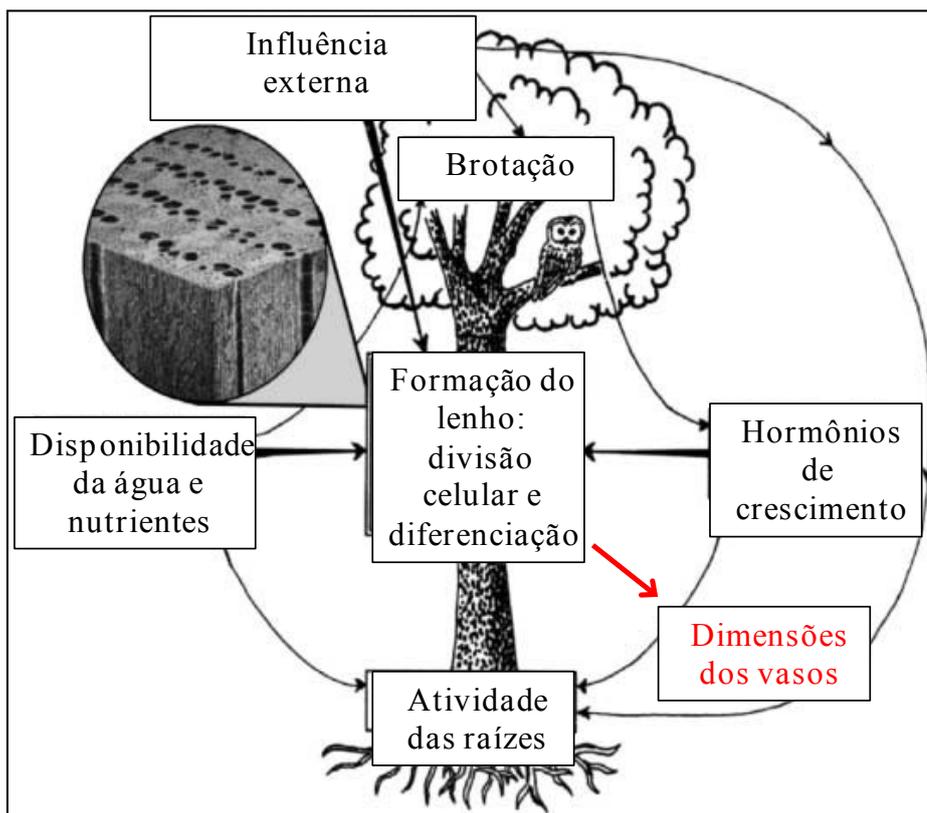


Figura 6 - Interação dos fatores externos e internos na formação dos vasos dos anéis de crescimento porosos do lenho das árvores (ECKSTEIN, 2004, adap.)

Na América do Sul, Giantomasi et al. (2008) avaliaram a largura dos anéis de crescimento e 2 parâmetros dos vasos (área total e frequência dos vasos) no lenho das árvores de *Prosopis flexuosa* da região do Chaco árido, Argentina. Os resultados mostraram a influência positiva da precipitação no período de novembro-dezembro, que representa a

importância da disponibilidade de água na etapa inicial da formação do lenho das árvores. Locosselli et al. (2013) analisando a influencia do clima na área dos elementos de vaso do lenho inicial do lenho das árvores de *Hymenaea courbaril* e *H. stigonocarpa*, ocorrentes no cerrado do Brasil, observaram uma forte correlação da precipitação para a primeira espécie e da temperatura com a segunda espécie.

### 3.6 Análise da flutuação da densidade intra-anéis de crescimento do lenho das árvores

Os anéis de crescimento formados no lenho das árvores são parâmetros importantes aplicados como dados “*proxys*” nas reconstruções ambientais pela correlação com as variáveis climáticas (local e regional) e em escala temporal e espacial (FRITTS, 1974; SCHWEINGRUBER, 1996). Porém, a influencia das variáveis ambientais intra-anuais no lenho das árvores não pode ser analisada a partir da mensuração da largura dos anéis de crescimento (DE LUIS et al., 2011). Desta forma, as análises de dendrocronologia têm demonstrado que as características anatômicas do lenho intra-anel de crescimento contêm importantes e são potenciais para os estudos ecológicos e climatológicos (CHERUBINI et al., 1996; WIMMER, 2002).

A literatura científica relata a ocorrência de danos às células do lenho devido a eventos de geadas durante a estação de crescimento (“*frost rings*”) (BRUNSTEIN, 1996; LAMARCHE; HIRSCHBOECK; 1984; KOZLOV; KISTERNAYA, 2004; BARBOSA, 2010; HADAD et al., 2012); dos anéis de crescimento levemente demarcados (“*light rings*”) (CHERUBINI et al., 1996; LIANG et al., 1997; WANG et al., 2002) e a flutuação da densidade intra- anéis de crescimento anuais (“*intra-annual density fluctuations*”; IADFs) referidos como “anéis de crescimento falsos”, “anéis de crescimento duplos”, “múltiplos anéis de crescimento” ou “bandas de crescimento intra- anuais” nos estudos ecológicos e climáticos (Figura 7) (YOUNG et al., 1993; WIMMER et al., 2000; COPENHEAVER et al., 2006; EDMONDSON, 2010).

Os anéis de crescimento falsos formados no lenho têm sido associados ao estresse hídrico (MARCHAND; FILION, 2012) em estudos de árvores de angiospermas de clima temperado (MASIOKAS; VILLALBA, 2004; CAMPELO et al., 2007; COPENHEAVER et al., 2010; BATTIPAGLIA et al., 2012) e tropical (PRIYA; BHAT,1998). A maior parte dos estudos do IADFs analisam as árvores de espécies de pinus pela formação de maior número de anéis de crescimento falsos e pela identificação mais fácil no seu lenho, em função do

maior contraste e nitidez (RIGLING et al., 2001; CAMPELO et al., 2006; DE LUIS et al., 2011; DE MICCO et al., 2007; HOFFER; TARDIF, 2009; MARCHAND; FILION, 2012).

No Brasil, ainda não existe estudos de anéis de crescimento falsos, pelo que este estudo seria pioneiro na área e pode ser uma base para próximas pesquisas na área da dendrocronologia utilizando IADFs.

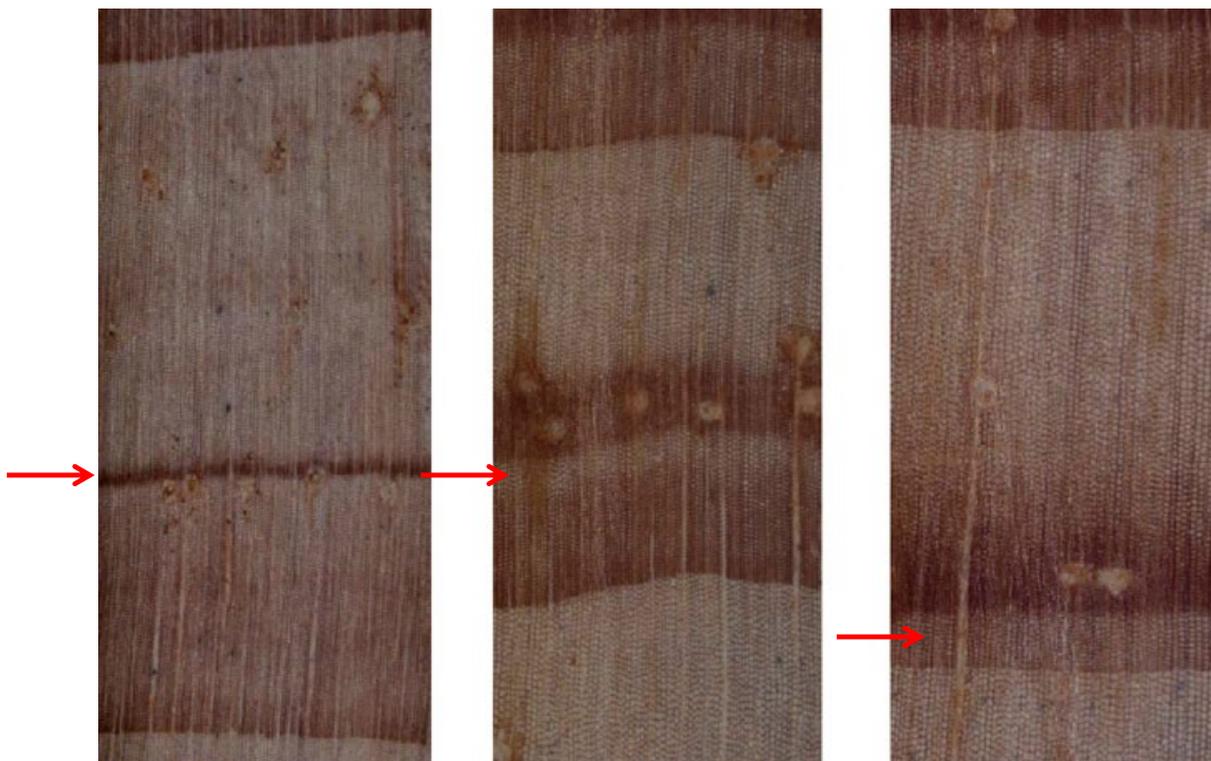


Figura 7 - Seção transversal do lenho de árvore de conífera indicando as flutuações de IADFs, com anéis de crescimento falsos (setas) (ROZAS et al, 2011; adap.)

### 3.7 Presença de lianas como indicador de áreas florestais degradadas

As plantas trepadeiras são classificadas como de natureza herbácea ou lenhosa; no 1º tipo, as plantas têm porte é reduzido e sua distribuição restrita às áreas mais abertas, clareiras e bordas de mata; o 2º tipo, as trepadeiras lenhosas, tem-se os cipós ou lianas (ENGEL et al., 1998). As lianas apresentam, geralmente, caule de maior diâmetro, sendo plântulas no início do seu ciclo de vida, com capacidade de crescimento no interior da floresta adulta, induzindo redução da taxa de crescimento das árvores hospedeiras (PUTZ, 1984; BOTOSSO et al., 2005; SCHNITZER; BONGERS, 2011).

As plantas de lianas são caracterizadas por uma copa bastante dinâmica e distante de suas raízes em até 100 m e com elevada capacidade de vigorosa rebrota (VIDAL et al., 1997),

conferindo grande capacidade competitiva e com hábil estratégia de adaptação e de sobrevivência. A taxa de alongamento caulinar das lianas pode ser de até 6 a 13,6 cm/dia em caules com 20 e 100 cm de comprimento, respectivamente (ENGEL et al., 1998). No entanto, o crescimento em diâmetro do caule de lianas é muito lento, de 1,4 mm/ano, quando comparado com o das árvores (PUTZ, 1990). A presença das lianas constitui-se em um forte indicador de áreas degradadas, comuns em florestas muito perturbadas, formando densos emaranhados de trepadeiras que dificultam a penetração e prejudicam a regeneração natural da floresta e, conseqüentemente, a sucessão secundária (RODRIGUES, 1999; BOTOSSO et al., 2005; SCHNITZER, CARSON, 2010).

Os resultados de pesquisas têm indicado um efeito negativo das lianas no crescimento das árvores contribuindo, inclusive, no aumento da mortalidade das árvores (PUTZ, 1984; LAURANCE et al. 2001; INGWELL et al., 2010), sendo prejudiciais na dinâmica natural das florestas tropicais quando a presença é hiperabundante, comprometendo a estrutura e o funcionamento do ecossistema (LAURANCE et al., 2001). O manejo das áreas de florestas tropicais degradadas pode incluir medidas silviculturais, como o enriquecimento com espécies do final da sucessão, diminuição do efeito de borda e eliminação de lianas (VIANA, 1990). No entanto, a eliminação das lianas deve ser seletiva, concentrando-se nas espécies de características agressivas e de maior dominância, considerando que são essenciais para manter a interação entre as espécies vegetais e a fauna (MORELLATO, 1991; RODRIGUES, 1999).

As lianas representam um importante componente estrutural das florestas tropicais, cujo papel é mais benéfico do que maléfico sobre sua dinâmica e ciclo de regeneração (PHILLIPS et al., 2005). Contribuem para a manutenção da biodiversidade, pela própria diversidade de espécies trepadeiras e pela manutenção dos processos fundamentais de funcionamento dos ecossistemas como a evapotranspiração, sequestro de carbono e ciclagem de nitrogênio (SCHNITZER; BONGERS, 2002; CERNUSAK et al., 2008). Porém, ainda, sabe-se pouco sobre a importância da especialização de habitat na manutenção da diversidade das lianas e as causas de variação entre florestas em abundância e composição de espécies de lianas (DE WALT et al., 2006).

São indesejáveis e prejudiciais quando os níveis de distúrbio (geralmente antrópicos) passam a comprometer de maneira irreversível a estrutura e a função das comunidades (ENGEL et al., 1998). Portanto, as lianas são capazes de manter uma convivência harmoniosa na floresta e não devem ser vistas como prejudiciais, exceto quando presente de forma

exagerada, sendo indicativo de perda da sustentabilidade da floresta (NEPSTAD et al., 2007). Neste caso, Phillips et al. (2002) analisaram a densidade e o volume médio das lianas em uma floresta da Amazônia não fragmentada, observando um aumento dessas variáveis em 4,6% por ano, provocando mortalidade das árvores antigas, que desempenham funções ecológicas muito importantes. Portanto, se espera que a colonização das lianas tenha um efeito na anatomia dos anéis de crescimento das árvores hospederas.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da Mata da Pedreira

A mata da Pedreira é o maior fragmento florestal de 14 ha remanescente do Campus da ESALQ, Escola de Agricultura Luiz de Queiroz da USP, Universidade de São Paulo, no município de Piracicaba, região oeste do Estado de São Paulo, nas coordenadas 22° 42' de latitude Sul e 47° 38' longitude Oeste, com altitude média aproximada de 546 m (Figura 8).

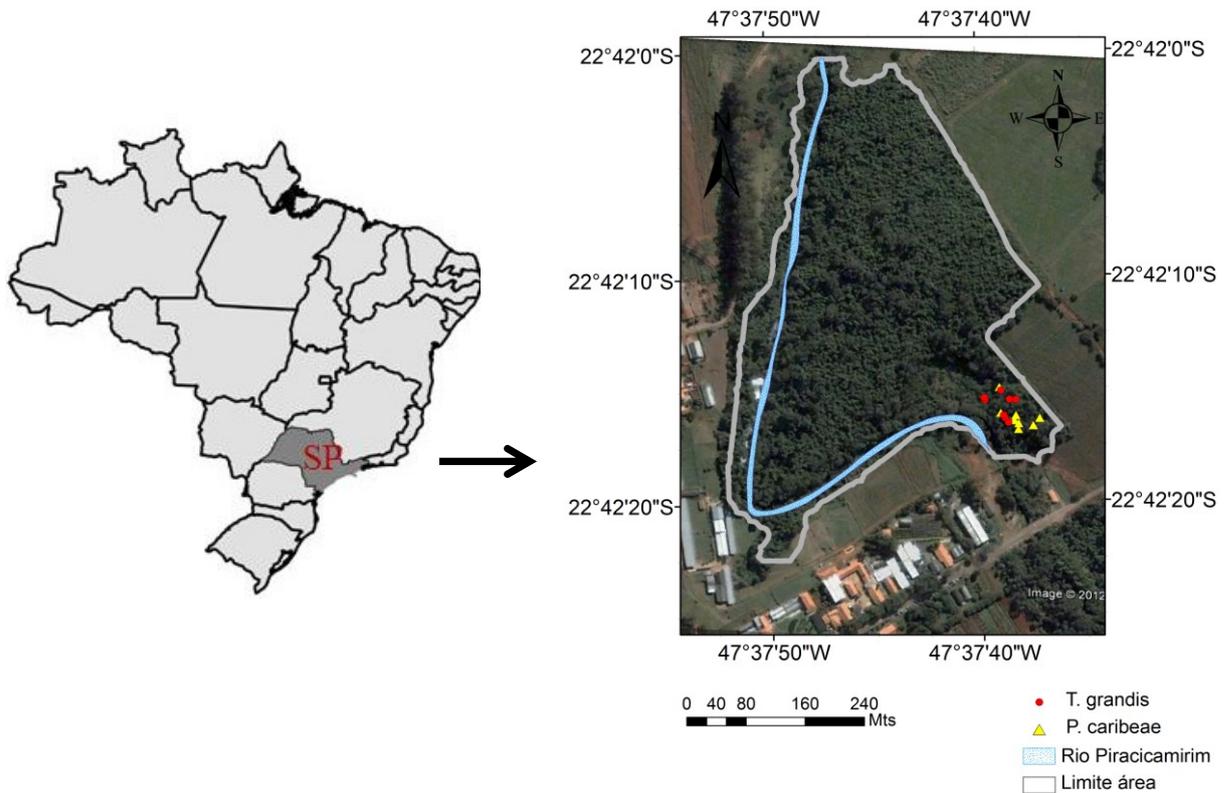


Figura 8 - Localização da Mata da Pedreira e das árvores de *Tectona grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Segundo a classificação de Köpen, o clima de Piracicaba é caracterizado como do tipo Cwa, com verão quente e estiagem no inverno, com temperatura média anual de 21,6°C, a temperatura no mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C, com pluviosidade média anual de aproximadamente 1328 mm, com cerca de 70% do volume de precipitação anual ocorrendo no verão (CENTRO DE PESQUISA METEOROLOGICA E CLIMATICAS APLICADA A AGRICULTURA - CEPAGRI, 2012) (Figura 9).

A classe de solo predominante é de TR (terra roxa estruturada), que ocupa cerca de 5% da superfície do Campus. Trata-se de solo com elevada fertilidade, mas com pouca

representatividade no Estado de São Paulo (SPAVOREK, 1993). A vegetação natural da região é classificada como Floresta Estacional Semidecidual, sendo este tipo de floresta a formação dominante das terras do centro oeste de São Paulo.

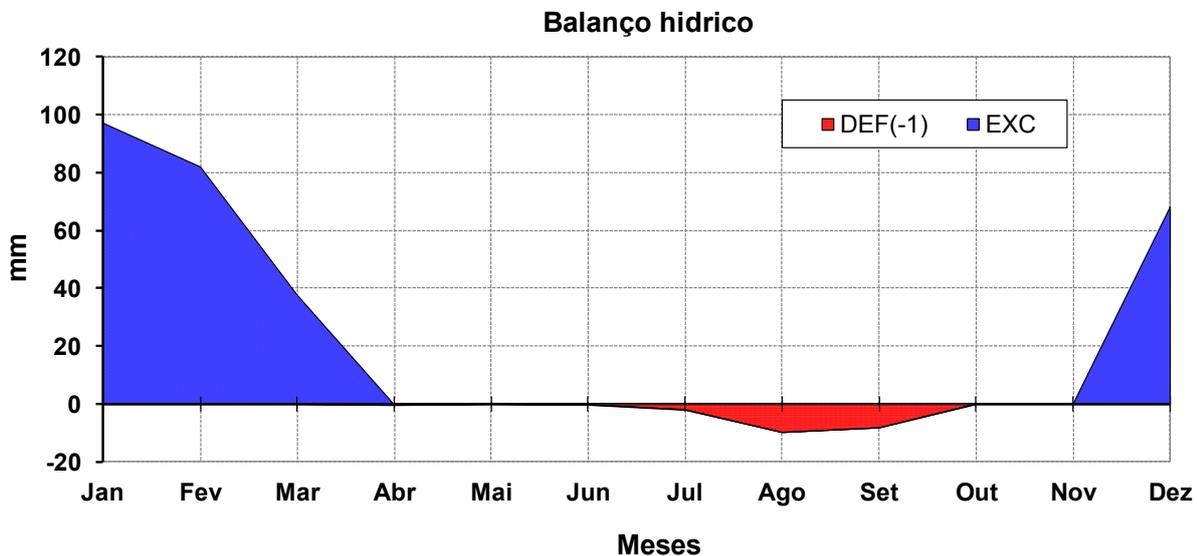


Figura 9 - Extrato do balanço hídrico mensal de Piracicabados últimos 30 anos.

Essa formação teve sua distribuição concentrada principalmente nos domínios da Depressão Periférica Paulista, dando lugar em algumas partes mais elevadas da depressão, com características próprias, para pequenas manchas de cerrado. Foi nessa condição que a floresta estacional semidecidual mais sofreu com as intervenções antrópicas, estando restritas, hoje, a pequenos fragmentos remanescentes encravados em áreas de difícil acesso, consideradas inaptas para práticas agrícolas ou protegidos na forma de reservas ou parques ecológicos por ação institucional e até de alguns proprietários rurais (RODRIGUES, 1999).

A vegetação da mata da Pedreira é caracterizada por apresentar um dossel não perfeitamente contínuo (irregular) (RODRIGUES, 1999), Catharino (1989) encontrou como espécies de maiores Índice de Valor de Importância (IVIs<sup>1</sup>) no estrato arboreo a *Aloysia virgata* (Verbenaceae), *Urera baccifera* (Urticaceae), *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae), *Bauhinia forficata* (Fabaceae-cercideae), *Trema micrantha* (Ulmaceae) e *Bastardiopsis densiflora* (Malvaceae). Num trabalho posterior, Ducatti et al. (2010) observaram que as quatro primeiras espécies tiveram um crescimento muito relevante de seus IVIs nos últimos 20 anos, e que há uma evidente perda de diversidade ocorrendo na comunidade arbórea desse fragmento florestal. No estrato arbustivo, destacam-se *Hybanthus atropurpureos* (Violaceae)

<sup>1</sup> IVI = Dominância + Densidade Relativa + Frequência Relativa

e *Piper amalago* (Piperaceae), ambas as espécies comumente encontradas nos subbosques das matas e capoeiras.

Praticamente em todas as margens do ribeirão Piracicamirim, dentro do Campus da USP, a vegetação secundária em diferentes estádios de sucessão está associada com bosques de espécies exóticas como *Pinus* spp. (Pinaceae), *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae), *Tipuana tipu* e *Caesalpinia* spp (Caesalpinaceae), etc., introduzidas pelo prof. Philippe Cabral Westtin Vasconcelos entre os anos 1940-1950 (CATHARINO, 1989).

Como mencionado, todos os fragmentos florestais da região de Piracicaba encontram-se alterados, inclusive o da Mata da Pedreira. Esses fragmentos florestais muito perturbados são caracterizados pela ausência de um dossel definido, predominância de espécies dos estágios iniciais da sucessão e algumas árvores remanescentes das espécies dos estágios finais da sucessão. Além disso, esses fragmentos apresentam uma deterioração das regiões limítrofes, conhecido como efeito borda, manifestado por meio de infestação de espécies vegetais daninhas, como as gramíneas e as lianas (GANDOLFI et al., 1995).

Ducatti et al. (2010) detectaram como principais características da Mata da Pedreira: o efeito de borda, a presença de espécies invasoras, de cipós, além de cerca de demarcação da propriedade e de estradas de acesso. O efeito de borda ocorre em função da presença de pastagem ao redor, o que expõem a mata à intensa luminosidade, vento e maior variação de temperatura afetando a vegetação. O formato triangular e a pequena dimensão da Mata da Pedreira contribuem, também, para aumentar a intensidade de degradação, permitindo que as lianas e as gramíneas colonizem a área, competindo com as espécies arbóreas e impedindo a sua regeneração natural.

#### **4.2 Espécies florestais selecionadas**

Foram selecionadas e identificadas 18 árvores vivas e mortas de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, plantadas na borda da Mata da Pedreira e que, atualmente, apresentam o desenvolvimento de lianas em sua copa (Figura 10,11). Foram selecionadas 8 árvores vivas de cada espécie (4 com 4 sem lianas) e, adicionalmente, mais 2 árvores mortas de *P. caribaea* (uma árvore morta em pé e outra caída).

As árvores vivas foram localizadas com equipamento GPS na Mata da Pedreira para o posterior georeferenciamento no mapa da Mata da Pedreira (Figura 8). As árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foram classificadas na Mata Atlântica, de acordo com a declividade do terreno, visando relacionar o desenvolvimento das árvores de acordo com a disponibilidade de água ao longo da declividade (maior escoamento) do terreno, de 0 a >25%, estratificadas a cada 5%. Verificou-se que 62,5% das árvores de *Tectona grandis* encontram-se em declividade maior do que 25% enquanto que 75% das árvores de *Pinus caribaea* em declividade menores que 25%, distribuída em categoria de 15-20% e 20-25%) (Figura 12).



Figura 10 - Árvores de *Tectona grandis*: com (A) e sem (B) lianas na copa

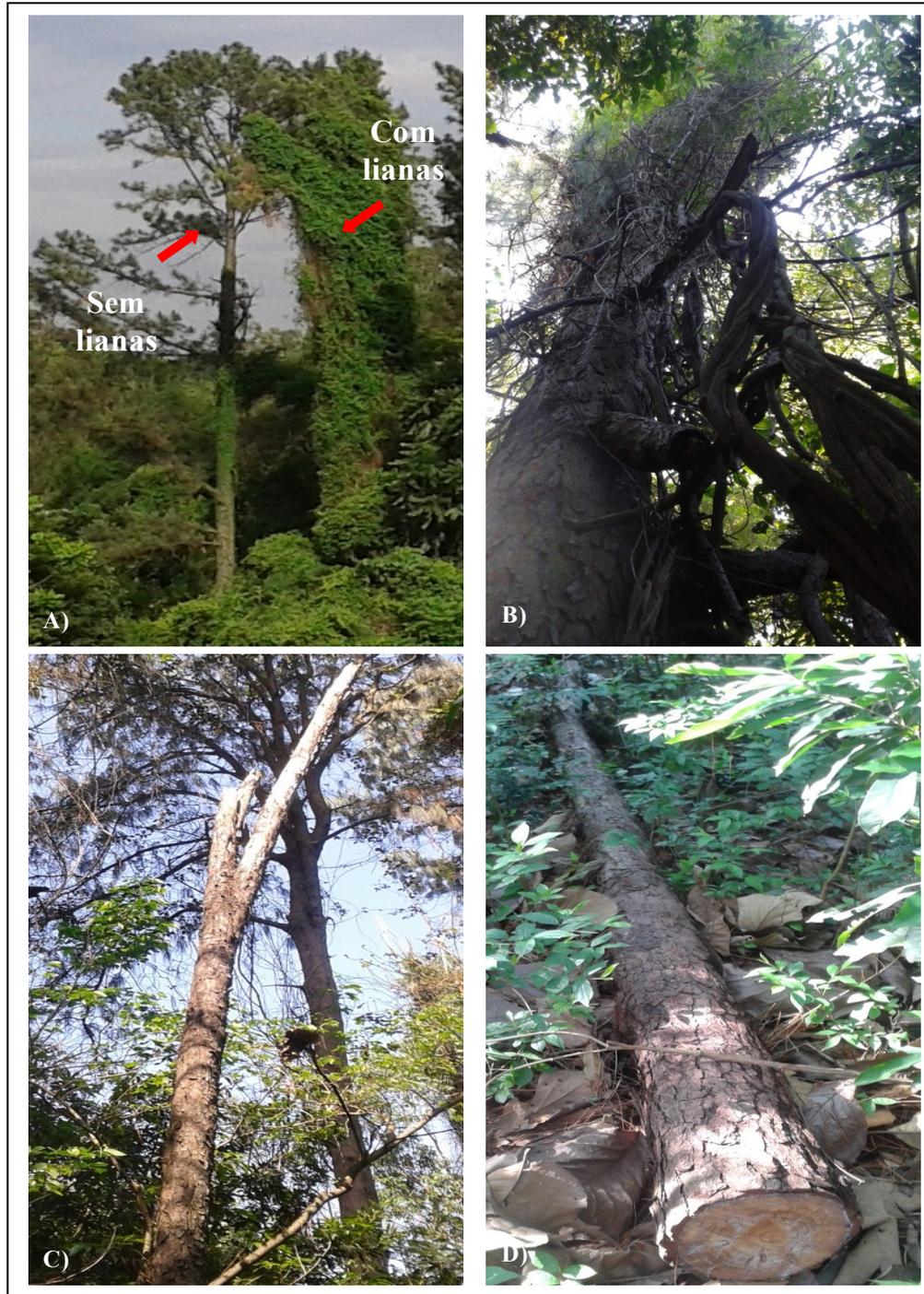


Figura 11 - A) Árvores de *P. caribaea* sem (à esquerda) e com (à direita) lianas; B) Detalhe das lianas colonizando a árvore desde o tronco; C) Árvore morta em pé (C) e no solo (D), sendo cortada seção transversal do lenho na base do tronco.

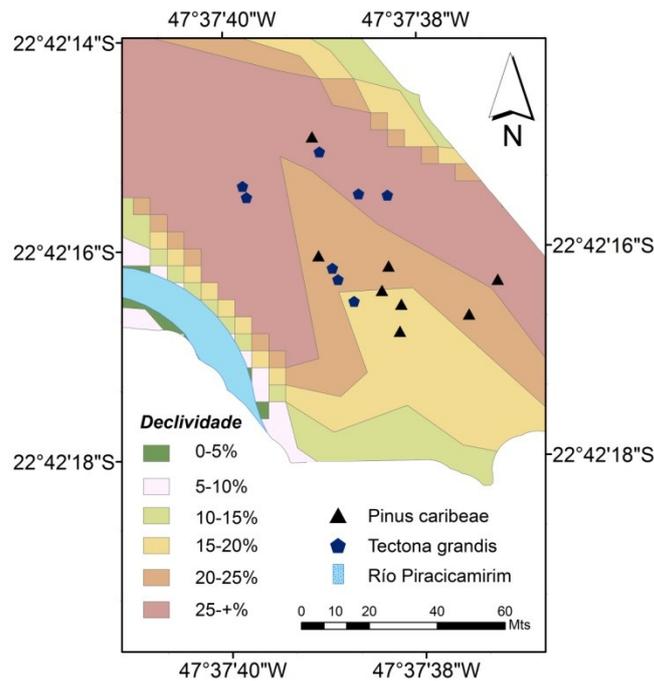


Figura 12 - Distribuição espacial das árvores de *Tectona grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

### 4.3 Caracterização das árvores

As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis* têm 48,4 e 29,6 cm de DAP médio, respectivamente. Foi descrita a intensidade das lianas nas árvores, mensurando seu diâmetro (GERWING et al., 2006), calculando sua área basal e biomassa (SCHNITZER et al., 2006), quando se teve acesso. As medições das lianas foram realizadas no seu caule principal e não nos ramos. A presença ou ausência de lianas nas árvores foi realizada por observações a olho nu, seguindo o critério de indicados por Fonseca e Rodrigues (2000):

- 0 = Ausência de lianas;
- 1 = 1-25% da copa coberta;
- 2 = 26-50% da copa coberta;
- 3 = 51-75% da copa coberta;
- 4 = 76-100% da copa coberta.

As árvores das 2 espécies foram caracterizadas pelo crescimento das lianas no seu tronco e copas. A avaliação visual indicou que nas árvores de *P. caribaea* as lianas mostraram um processo de colonização e ocupação das copas mais intenso e mais agressivo. As árvores das 2 espécies, sem a ocupação das lianas apresentaram-se com desenvolvimento normal, sem sintomas de ataque de insetos ou patógenos.

As árvores de *P. caribaea* apresentaram 76-100% das suas copas ocupadas pelas lianas, sendo colonizadas a partir da base do seu tronco por 1-4 caules de lianas, não considerando os seus ramos. A área basal do caule das lianas que ocupam a copa das árvores da espécie varia 2,9-97,5 cm<sup>2</sup> e a biomassa acima do solo de 1,5-137,1 Kg (Figura 13A, Tabela 2).

As árvores de *T. grandis* foram caracterizadas, diferentemente das de *P. caribaea*, pelo desenvolvimento das lianas na sua copa, sendo que o caule das lianas utiliza, inicialmente, o tronco das árvores vizinhas, de outras espécies, como suporte. Na copa das árvores de *T. grandis* as lianas se desenvolveram em uma intensidade de cobertura de cerca de 25% da copa (Figura 13B, Tabela 2).

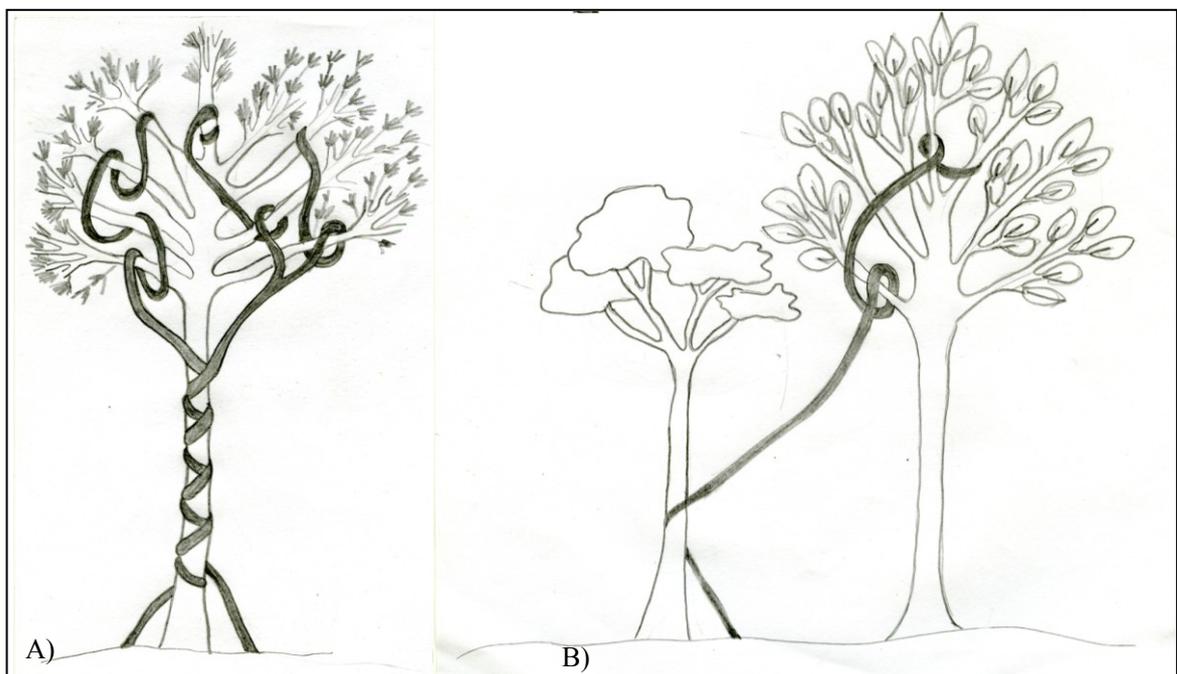


Figura 13 - Características do crescimento e da ocupação das lianas no tronco e na copa das árvores (A) *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e (B) *Tectona grandis*

Tabela 2 - Características das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis*

Espécie	Árvore	GPS	DAP (cm)	CL	QLT	AB (cm <sup>2</sup> )	BA (kg)
<i>P. caribaea hondurensis</i>	602	X = 230076 Y = 7486772	43,5	4	1	97,5	137,1
	1466	X = 230095 Y = 7486762	58,6	0	--	--	--
	1467	X = 230101 Y = 7486758	44,6	0	--	--	--
	1468	X = 230100 Y = 7486750	51,5	4	2	42,1 - 71,1	44,9 - 91,8
	1472	X = 230130 Y = 7486766	55,1	4	4	8,0 - 8,0 - 11,5 - 31,8	4,9 - 4,9 - 8,0 - 31,0
	1475	X = 230097 Y = 7486769	50	0	--	--	--
	1478	X = 230074 Y = 7486807	60,5	0	--	--	--
	1501	X = 230121 Y = 7486766	50,9	4	4	25,8 - 5,1 - 3,1 - 38,5	23,4 - 2,7 - 1,6 - 39,9
	1502	X = 230085 Y = 7486760	42	*	--	--	--
	1503	X = 230079 Y = 7486751	28	*	--	--	--
<i>T. grandis</i>	1488	X = 230087 Y = 7486759	31,8	0	--	--	--
	1491	X = 230097 Y = 7486790	24,8	1	**	--	--
	1492	X = 230088 Y = 7486791	55,7	1	**	--	--
	1493	X = 230076 Y = 7486803	27,1	0	--	--	--
	1494	X = 230082 Y = 7486765	21,0	0	--	--	--
	1495	X = 230081 Y = 7486769	20,1	1	**	--	--
	1496	X = 230055 Y = 7486790	27,2	0	--	--	--
	1497	X = 230054 Y = 7486793	29,3	1	**	--	--

GPS: Coordenadas UTM, Datum Córrego Alegre fuso 23S; CL: cobertura de lianas (FONSECA e RODRIGUES, 2000); QLT: quantidade de lianas que crescem pelo tronco da árvore; AB: área basal das lianas; BA: biomassa das lianas acima do solo (SCHNITZER et al., 2006). \*Árvore morta.

\*\*Lianas crescem a partir da copa das outras árvores

#### 4.4 Metodologia de análise do lenho das árvores das espécies florestais

##### 4.4.1 Coleta e preparo das amostras do lenho

A extração das amostras do lenho das árvores foi feita através de método não destrutivo, que consiste na retirada de cilindros do lenho com a sonda de Pressler (5,15 mm de diâmetro) no DAP do tronco das árvores (1,30 m) até atingir a região da medula (Figura 14). Para a análise dos anéis de crescimento (dendrocronologia) e para a caracterização da estrutura anatômica macro e microscópica do lenho e dos anéis de crescimento foram retiradas 2-6 amostras do lenho/árvore das 2 espécies, totalizando 65 amostras (32 amostras de teca e 33 de pinus) sendo utilizadas, no entanto, para a cronologia 47 amostras (23 amostras de teca e 24 de pinus). Para a obtenção dos perfis radiais de densidade do lenho foi retirada 1 amostra do lenho/árvore (com e sem lianas) das 2 espécies, totalizando 16 amostras do lenho, com sonda de Pressler. As amostras do lenho foram identificadas, acondicionadas em tubos de plástico e transportadas para o Laboratório de Anatomia, Anéis de Crescimento e de Densitometria de Raios X em Madeiras, do Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP. No laboratório, as amostras do lenho foram (i) coladas em suporte de madeira, com as fibras dispostas no sentido vertical, para a análise dos anéis de crescimento (Figura 14) e (ii) fixadas entre 2 suportes de madeira, com as fibras dispostas no sentido horizontal para que, posteriormente, serem seccionadas no sentido transversal (1,7 mm de espessura) em equipamento de dupla serra circular (Figura 15) e armazenadas em sala de climatização (20°C; 50% UR; 12 horas), para posterior análise por densitometria de raios X (ZUMAETA et al., 2009).

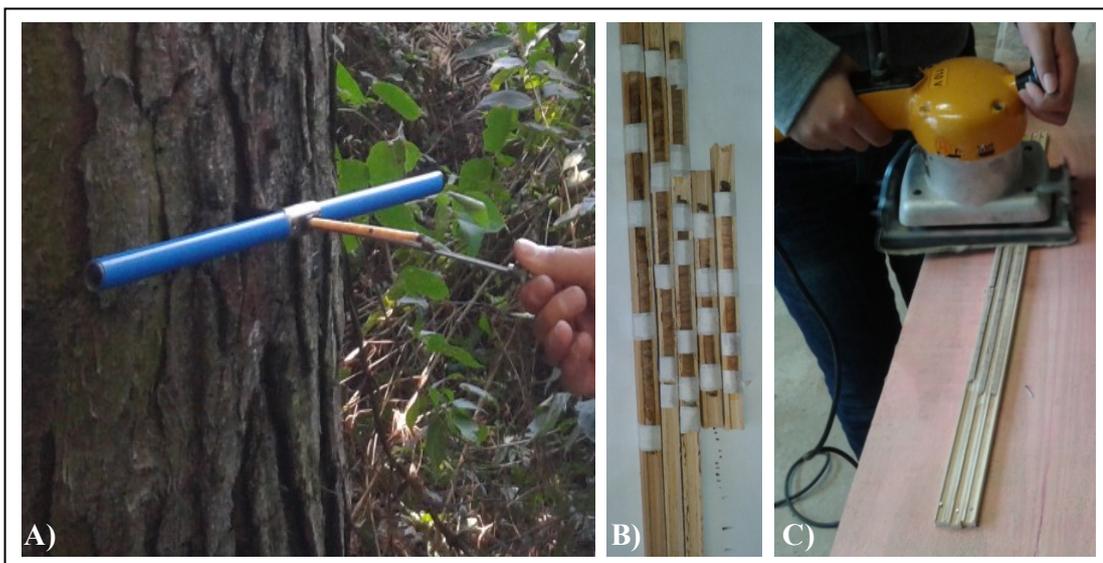


Figura 14 - Preparo das amostras do lenho. Análise dos anéis de crescimento: coleta (A); acondicionamento (B) e lixamento (C) das amostras do lenho das árvores

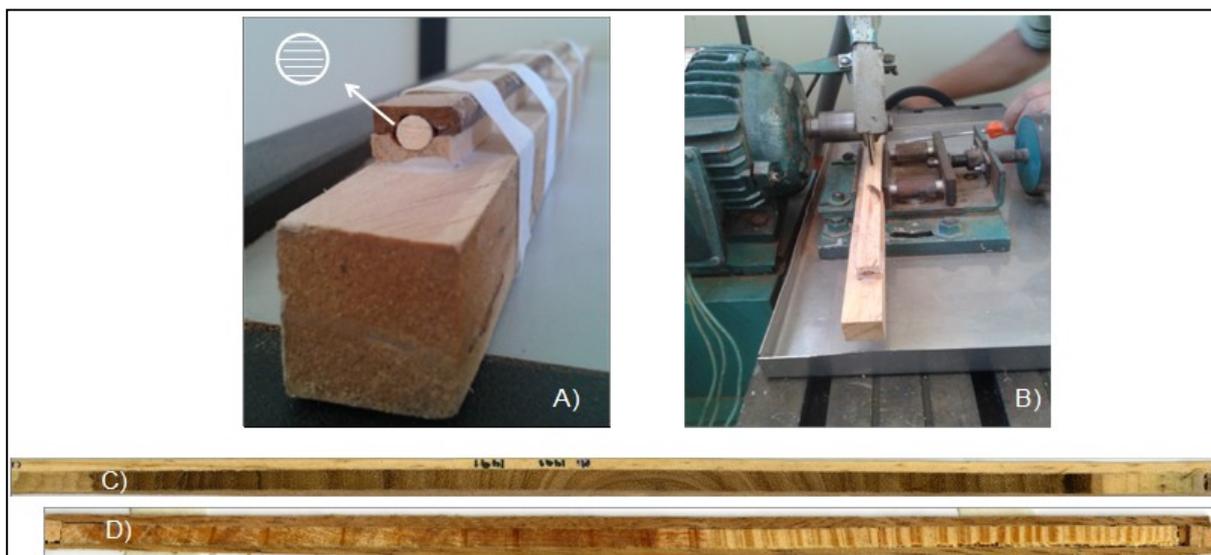


Figura 15 - Preparo das amostras do lenho. Análise dos anéis de crescimento por densitometria de raios X: colagem (A) das amostras entre suportes de madeira e corte transversal (B) das amostras; amostra do lenho de *Tectona grandis* (C) e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (D)

#### 4.4.2 Avaliação da estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento

Para a análise macroscópica observaram-se as superfícies transversais do lenho das árvores das 2 espécies sob microscópio estereoscópico, e para análise microscópica, foram montadas lâminas histológicas permanentes do plano de estudo transversal. Os corpos de prova do lenho com glicerina (2:1); submetidos à água em ebulição (48 h, para amolecimento); fixados no micrótopo de deslize; seccionados com navalha tipo C, na espessura de 15-20  $\mu\text{m}$ ; os cortes histológicos foram transferidos para lâmina de vidro (umedecidos e distendidos) e tratados, sendo (1<sup>o</sup>) coloração natural, para observação do conteúdo orgânico; (2<sup>o</sup>) corados, para o contraste das estruturas celulares. Nos cortes corados (2<sup>o</sup>) procedeu-se à extração de substâncias orgânicas (graxas, ceras e resinas) com a clarificação (hipoclorito de Na, 20%); lavados (gotas, água corrente); desidratados (série alcoólica, 20, 40, 60, 80, 100%) e corados (safranina, sol. alcoólica 50 %). Nos cortes naturais (1<sup>o</sup>) não se aplica a clarificação; desidratados (série alcoólica). Os cortes histológicos corados e naturais foram tratados (álcool/acetato de butila; 1:1, acetato de butila) e montados (bálsamo do Canadá; lâmina e lamínula de vidro) (SASS, 1951). Foram obtidas foto-microfotografias das seções do lenho das lâminas permanentes sob microscópio de luz ZEISS Axioskop, acoplado ao computador com a uma câmara digital LEICA EC2 e com o software LAS EZ se

capturaram as imagens (Leica Microsystems, Heerbrugg, Switzerland). As análises microscópicas do lenho foram realizadas adotando as normas de procedimentos em estudos de anatomia da madeira da COPANT e da IAWA Committee (1989).

#### **4.4.3 Caracterização e aplicação da análise dos anéis de crescimento: dendrocronologia**

Para a análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores das 2 espécies, as amostras do lenho foram coladas em um suporte de madeira (fibras na orientação vertical), com a sua seção transversal polida em uma série de lixas de granulometria crescente (80-600 grãos/mm<sup>2</sup>) para destacar os anéis de crescimento (Figura 14C). As amostras do lenho foram analisadas sob microscópio estereoscópico acoplado a sistema de iluminação de fibra ótica, possibilitando a visualização dos anéis de crescimento. Em seguida, as amostras do lenho foram digitalizadas em scanner HP Scanjet 3800 (resolução 1200 dpi), com uma escala de referência. A demarcação, a contagem e a mensuração da largura dos anéis de crescimento foram determinadas pelo software Image Pro-Plus (Figura 16), com os valores da largura dos anéis de crescimento exportados e analisados pelo software Excel e construídas as séries cronológicas dos anéis de crescimento para cada amostra do lenho; em seguida foi feita a datação-cruzada das árvores (“cross dating”), que consiste na identificação de padrões de crescimento que podem ser sincronizados entre as amostras de uma mesma árvore e entre árvores possibilitando a construção de uma série cronológica de anéis de crescimento datados no ano exato de sua formação. Desta forma, é realizada a construção das cronologias da largura ou outra variável dos anéis de crescimento do lenho das árvores das espécies. Após a datação-cruzada dos anéis de crescimento do lenho, procedeu-se ao teste da qualidade da sincronização do crescimento entre as amostras de cada espécie, utilizando o software COFECHA, obtendo-se a série média – denominada de série máster – a partir de todas as séries cronológicas (HOLMES et al., 1986). Após o uso do programa COFECHA foi estimada a padronização do crescimento com o software TURBO ARSTAN 2.07, o qual ajusta uma função de regressão aos dados da largura dos anéis de crescimento para construir os índices cronológicos para cada uma das espécies (COOK; HOLMES, 1984). Segundo Chagas (2009), a padronização corrige a heterogeneidade da variância dos dados de largura do anel de crescimento, uma vez que o desvio padrão dos índices deixa de ser função da média, como ocorria antes da padronização, pelo que este processo tem 2 objetivos (i) remover as tendências não climáticas, relacionadas com a idade das árvores e (ii) permitir que os valores

padronizados das árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, sejam calculados juntos em uma função média. Neste método, utilizou-se a opção de ARSTAN que realiza um ajuste das curvas da largura de anéis de crescimento a uma exponencial negativa ou a uma regressão linear.

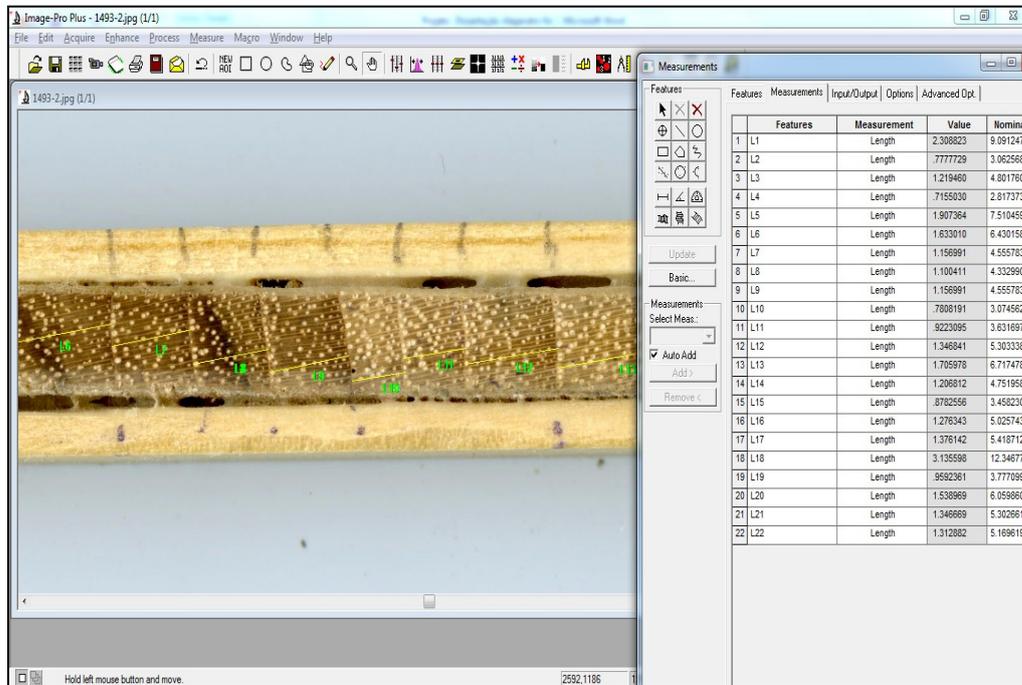


Figura 16 - Análise dos anéis de crescimento do lenho de *Tectona grandis* demarcados pelo software Image Pro-Plus

#### 4.4.4 Influencia das lianas no crescimento radial do tronco das árvores: Dendroecologia

Na sequência do processo de sincronização dos anéis de crescimento do lenho das árvores das 2 espécies, procedeu-se à análise do crescimento em diâmetro do tronco e à avaliação do efeito das lianas, considerando as variáveis (i) incremento radial do tronco acumulado (IRA), incremento radial do tronco médio anual (IRMA) e incremento radial corrente (anual) do tronco das árvores (ICA).

O IRA representa o incremento total do tronco das árvores, sendo calculado pela somatória dos valores da largura dos anéis de crescimento anuais de cada série para as árvores das espécies, diferenciando-as (i) com e (ii) sem presença das lianas desenvolvendo em suas copas. O IRMA representa o crescimento médio do tronco por ano das árvores das 2 espécies, sendo calculado a partir dos valores do IRA, dividindo-se pelo número de anos de cada série cronológica de anéis de crescimento. Da mesma forma, foi realizada uma estatística descritiva para analisar a influência da ocupação das lianas na copa das árvores, no seu crescimento em

diâmetro em relação às diferentes idades. Além disso, analisou-se o efeito da temperatura e da precipitação, através de regressões múltiplas, entre os índices de anéis de crescimento e as variáveis climáticas (maior detalhe da metodologia, vide Item 4.3.5.). O ICA representa o crescimento radial do tronco das árvores, em um determinado ano de crescimento, em qualquer etapa da vida das árvores das 2 espécies.

#### **4.4.5 Efeito das variáveis climáticas no crescimento das árvores: dendroclimatologia**

Os índices da cronologia dos anéis de crescimento anuais do lenho das árvores das 2 espécies determinados pelo programa ARSTAN foram comparados com os valores mensais de variáveis climáticas, através da correlação de Pearson, realizando uma regressão entre os índices cronológicos (variável dependente) e os parâmetros climáticos (variável independente), resultando em uma função de resposta para cada cronologia (BLASING et al., 1984) que expressa a relação independente da largura dos anéis de crescimento anuais e o clima. Foram comparados sete períodos de meses, de acordo com a estação climática do ano, iniciando-se pela primavera (ano anterior do crescimento) até o período final de crescimento do tronco das árvores (outono do ano ocorrente ou ano atual de crescimento), totalizando um período de 21 meses. A estação do crescimento foi considerada para os meses com precipitação acima de 60 mm (WORBES, 1995). Cabe destacar que o ano do crescimento do tronco das árvores (ano biológico) não coincide com o ano calendário (ano civil) considerando que, no hemisfério sul, as árvores iniciam os seu crescimento e desenvolvimento no final do período do inverno e/ou início do período da primavera até ano seguinte (Figura 17). Diferentemente, no hemisfério norte, onde o início e o término do crescimento do tronco das árvores (ou do anel de crescimento anual) ocorrem dentro do período de um ano, compreendendo os meses de janeiro a dezembro.

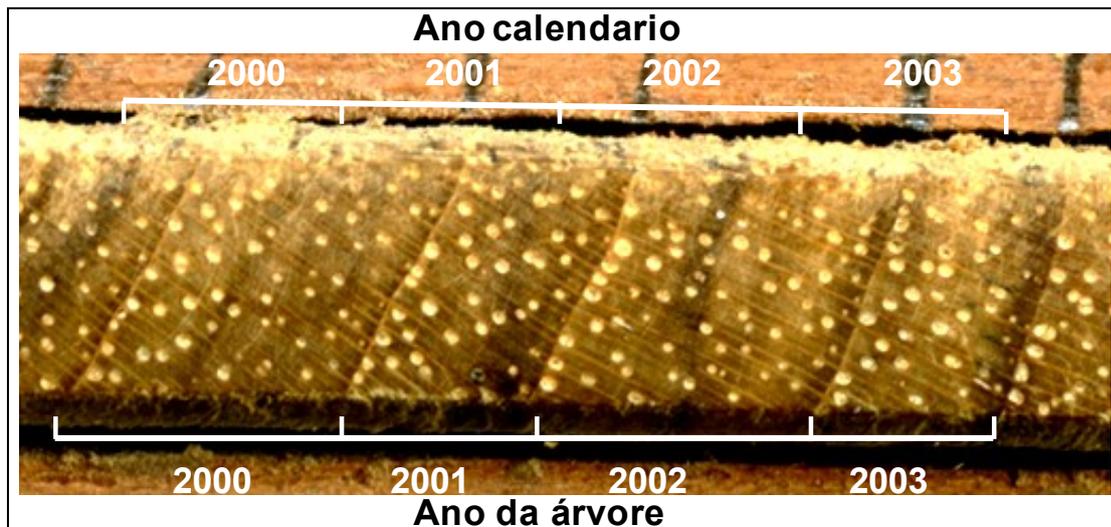


Figura 17 - Diferença do ano de calendário (civil) e ano de crescimento (biológico) do tronco da árvore de *Tectona grandis*, na área de estudo

Analisou-se a relação do crescimento radial do tronco das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com a variabilidade climática local e de grande escala. No 1º caso (variabilidade climática local) foram utilizadas as variáveis climáticas temperatura (°C) e precipitação (mm) e os índices climáticos associados com períodos de armazenamento de água no solo, como o (i) Índice de Seca de Palmer (*PDSI*) aplicado para calcular os eventos de seca severos para finalidade e aplicação hidrológica e agrícola (PALMER, 1965), (ii) Índice de Precipitação Normalizada (*SPI*) que quantifica o déficit de precipitação nas diversas escalas de tempo (MCKEE et al., 1993) e (iii) Índice de Satisfação de Necessidade por Água (*ISNA*) sendo a relação entre a evapotranspiração real e a potencial (FRERE; POPOV, 1986). No 2º caso (análise climática de grande escala) foi relacionado o crescimento das árvores com a (i) Oscilação Antártica (AAO: “*Antarctic oscillation*”) que ocorre ao sul da latitude 20°S, caracterizando-se por anomalias de pressão atmosférica sobre o continente antártico, que tem sido uma tendência positiva nos últimos 50 anos (GARREAUD et al., 2009) e (ii) o evento climático EL NIÑO. O evento EL NIÑO foi analisado através do (a) Índice da Oscilação Sul (SOI: “*Southern Oscillation Index*”) diferença dos valores superficiais da pressão atmosférica entre as ilha de Tahiti e de Darwin (Austrália) (TRENBERTH, 1984) e (b) Índice Trans-Niño (TNI: “*Trans-Niño Index*”) diferença das temperaturas normalizadas (dividas pelo desvio-padrão) da região El Niño 1+2 e região do El Niño 4 (TRENBERTH; STEPANIAK, 2001), sendo que sua extensão tem efeito significativo em praticamente 1/4 da superfície da Terra, afetando mais as regiões tropicais e subtropicais

do que as de maior latitude; portanto o TNI caracteriza melhor os eventos de ENSO<sup>2</sup>. Enfatiza-se que os índices AAO e de ENSO influenciam diretamente sobre os regimes de temperatura e de precipitação na região estudada (Tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetros climáticos analisados com os anéis de crescimento do lenho das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Parâmetros climáticos	Período	Fonte
Temperatura	1971-2011	Estação Meteorológica/ESALQ/USP
Precipitação	1971-2011	Estação Meteorológica/ESALQ/USP
Índice Seca de Palmer ( <i>PDSI</i> )	1971-2001	Sansígolo (2004)
Índice de Precipitação ( <i>SPI</i> )	1971-2011	Sansígolo (2012)
Índice de Oscilação Sul ( <i>SOI</i> )	1971-2010	Trenberth e Caron (2000)
Índice Trans-Nino ( <i>TNI</i> )	1971-2011	Trenberth e Stepaniak (2001)
Índice de Satisfação de Necessidade por Água ( <i>ISNA</i> )	1978-2011	Anexo A
Oscilação Antártica (AAO)	1976-2002	Thompson e Wallace (2000)

Para analisar como afeta a disponibilidade de água no solo no crescimento das árvores, foi feita a correlação entre o crescimento radial das duas espécies, segundo a declividade, e o ISNA. Finalmente, para determinar a relação do crescimento radial do tronco das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e (i) padrões de circulação associados às diferenças de pressão e (ii) os eventos ENSO, foi construído um Mapa de Correlação entre a cronologia residual dos anéis de crescimento e a média mensal da altura geopotencial de 850 hPa e a temperatura da superfície do mar (resolução 2.5°×2.5°). Os dados foram coletados da base do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NCEP-NCAR Reanalysis) (KALNAY et al., 1996).

#### 4.4.6 Determinação da densidade do lenho e dos anéis de crescimento

As amostras do lenho das árvores cortadas no sentido transversal em equipamento de dupla-serra e acondicionadas em sala de climatização (vide item 4.3.1) foram fixadas em suporte metálico e transferidas para a câmara de irradiação do equipamento de raios X e

<sup>2</sup> Clóvis Sansígolo, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Divisão de Meio Ambiente e Clima. Comunicação pessoal. 26 de julho de 2012.

expostas à varredura em um feixe colimado de raios X. Os valores de intensidade de raios X que atravessam a amostra do lenho são transformados em densidade aparente através do software QMS. Os valores pontuais de densidade são observados na tela do monitor, simultaneamente ao processo de escaneamento pelo feixe de raios X, construindo o perfil radial de densidade aparente do lenho juntamente com a imagem da seção transversal do lenho (QMS, 1999). Os valores radiais de densidade aparente do lenho obtidos pelo software QMS originam um arquivo DAN (relatório da análise com os valores pontuais de densidade aparente do lenho a cada 40 fÊm). Na sequência, o arquivo DAN é lido pelo software Excel, construindo-se os perfis radiais de densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento que foram relacionados com o crescimento do tronco das árvores das 2 espécies (QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS - QMS, 1999) (Figura 18).

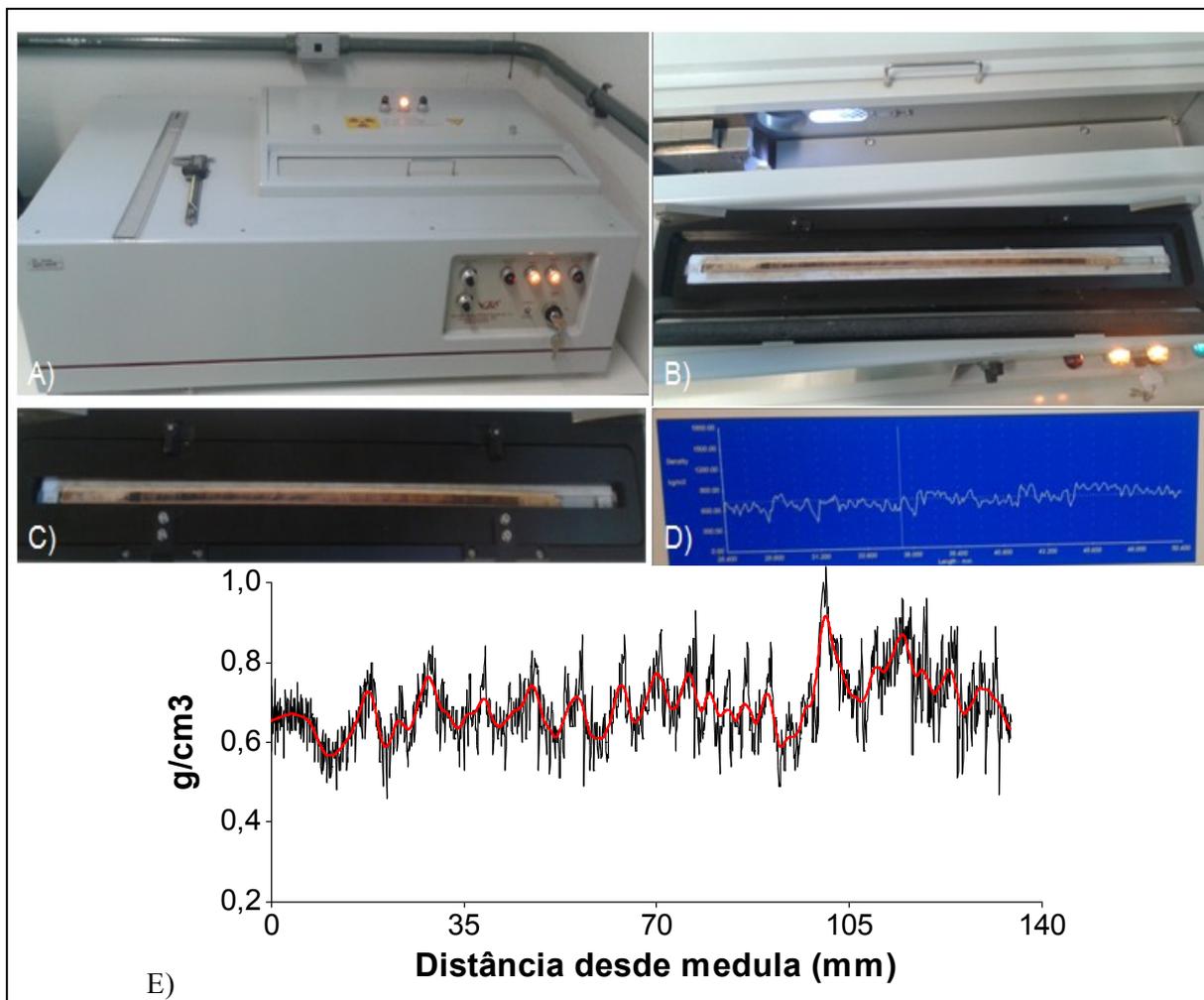


Figura 18 - Determinação da densidade do lenho/anéis de crescimento das árvores. (A) equipamento de raios X; (B, C) suporte metálico e encaixe das amostras do lenho; (D, E) seção do lenho e perfil de densidade aparente (monitor e gráfico)

Com os perfis radiais de densidade, calculados pela densitometria de raios X, e a espessura de cada anel de crescimento anual do tronco das árvores, medidos no software

Image Pro-Plus foram (i) projetadas as curvas de crescimento do tronco e (ii) calculada a massa de lenho anual, de carbono anual e total acumulada do lenho das árvores (vide item 4.3.7)

#### 4.4.7 Acúmulo de biomassa e carbono fixado no lenho e nos anéis de crescimento

Os perfis radiais de densidade aparente do lenho, possibilitam a (i) delimitação dos anéis de crescimento anuais do tronco, (ii) a determinação da densidade média, máxima e mínima do lenho dos anéis de crescimento anuais e (iii) do incremento de biomassa de lenho e de carbono fixada a cada ano no tronco das árvores das 2 espécies. Foi utilizado o valor da espessura média dos anéis de crescimento anuais das árvores e determinado o volume (cm<sup>3</sup>) de cada anel de crescimento anual (considerada altura da amostra do lenho de 1,0 cm, no DAP). A biomassa de cada anel de crescimento anual foi determinada através da fórmula:

$$M = \frac{V}{D}$$

Sendo: M= Biomassa do anel de crescimento anual (g); V= Volume do anel de crescimento anual (cm<sup>3</sup>); D= Densidade aparente média do anel de crescimento anual (g/cm<sup>3</sup>)

Considerando que o teor de carbono varia de 45-51% da biomassa do lenho, de acordo com o valor de sua massa específica (NUTTO et al., 2002), considerou-se de 50% o teor de carbono em relação à biomassa do lenho (MARLAND; SCHLAMADINGER, 1997; CHAVE et al., 2005). Para verificar a influência da cobertura da copa das árvores pelo desenvolvimento das lianas nos valores de biomassa e massa de carbono dos anéis de crescimento anuais foi realizada uma análise do incremento corrente e acumulado dessas variáveis.

#### 4.4.8 Análise dos vasos no lenho/anéis de crescimento das árvores de *Tectona grandis*

Na análise dos vasos no lenho dos anéis de crescimento das árvores de *Tectona grandis* foram utilizadas as mesmas amostras do lenho das análises dendrocronológicas. Foram selecionadas as amostras do lenho das árvores com e sem liana, selecionando entre 1-2 por árvore raios com melhor correlação com a série máster de COFECHA, totalizando 12

amostras das 8 árvores. A seção transversal das amostras do lenho das árvores de teca foi digitalizada em scanner HP Scanjet 3800 (resolução 4800 dpi, maior que a utilizada para à medições dos anéis de falsos) e, posteriormente, analisados os vasos utilizando o programa Image Pro-Plus pelo desenho do limite dos vasos e, na sequência, calculando a sua área.

Na secção transversal da amostra do lenho, para cada anel de crescimento anual, foi delimitada uma área (2 mm de largura x comprimento do anel de crescimento) para a avaliação dos vasos sendo analisada a (i) área média do total de vasos (AT), (ii) área média dos vasos do lenho inicial (ALI), (iii) área média dos vasos do lenho tardio (ALT), (iv) área média dos vasos da 1ª linha do lenho inicial (A1L), (v) área média dos vasos da transição entre lenho inicial/tardio (ATr) e (vi) a frequência dos vasos (Figura 19).

Realizou-se uma análise de componentes principais (PCA) para avaliar que variáveis de vasos tem maior relação com a largura dos anéis de crescimento anuais das árvores de teca. As variáveis que apresentaram correlação significativa foram transformadas em índices pela metodologia do TURBO ARSTAN (vide, Item 4.3.3) para, posteriormente, correlaciona-las com os parâmetros do clima (BLASING et al., 1984).

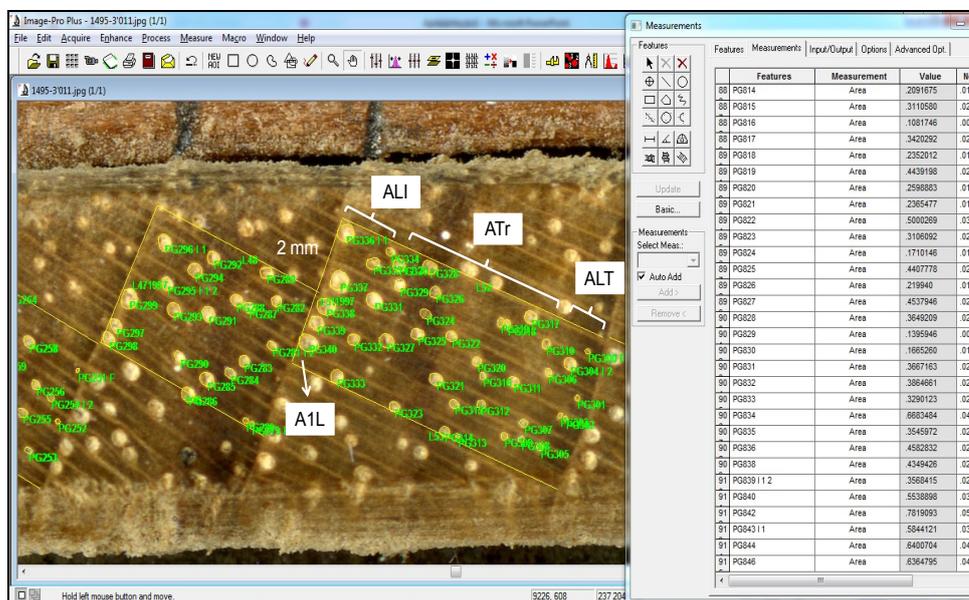


Figura 19 - Análise dos vasos em cada anel de crescimento das árvores de *Tectona grandis* demarcados por o software Image Pro-Plus

#### 4.3.9 Análise dos anéis de crescimento anuais falsos no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

As flutuações de densidade intra-anuais no lenho (IADFs: “*Intra-annual density fluctuations*”) ou “anéis de crescimento falsos” foram analisadas na seção transversal do lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Figura 20). Os IADFs são resultado das alterações da atividade cambial, induzidas por anormalidades climáticas, ao longo do curso normal da estação de crescimento e da formação dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento no lenho das árvores, indicada uma faixa estreita de traqueídes caracterizando uma mudança abrupta na densidade do lenho (BATTIPAGLI et al., 2010). A frequência de IADFs por ano foi calculada pela seguinte fórmula:

$$F = \frac{N}{n}$$

Sendo: F= Frequência de IADFs/ano; N= N° de árvores com presença de IADFs/dado ano; n= N° total de árvores amostradas no ano.

Como não estão presentes a mesma quantidade de árvores em todos os anos foi feito o ajuste desta diferença utilizando o método proposto por Osborn et al. (1997) para melhorar a estabilidade da variância:

$$f = F\sqrt{n}$$

Sendo:  $f$  = Frequência estabilizada de IADFs por ano.

A formação de IADFs em um ano dado foi testada usando a equação binominal adotada por Edmondson (2010) e Barbosa (2011), qual calcula o intervalo de confiança de 95% (IC) da proporção de anéis falsos em um ano determinado:

$$IC = 1 \pm \left( \sqrt{\frac{p \times (1 - p)}{n}} \right) \times 2$$

Sendo  $p$  = proporção de árvores datada com IADFs em um ano;  $n$  = numero total de árvores datado no ano.

Para que a frequência de IADFs seja significativa,  $p$ -IC deve exceder a frequência aleatória (*random background frequency*) de ocorrência de IADF. O valor de frequência

aleatória representa, em um ano dado, a frequência aproximada de uma ocorrência intra-anual totalmente aleatória, e foi calculado como a razão entre todos os anéis com IADFs e o número total de anéis analisados. A relação entre o  $f$  e os dados climáticos foi analisada aplicando a correlação de Spearman (CAMPELO et al., 2013), só nos anos com com anéis de crescimento falsos significativos.

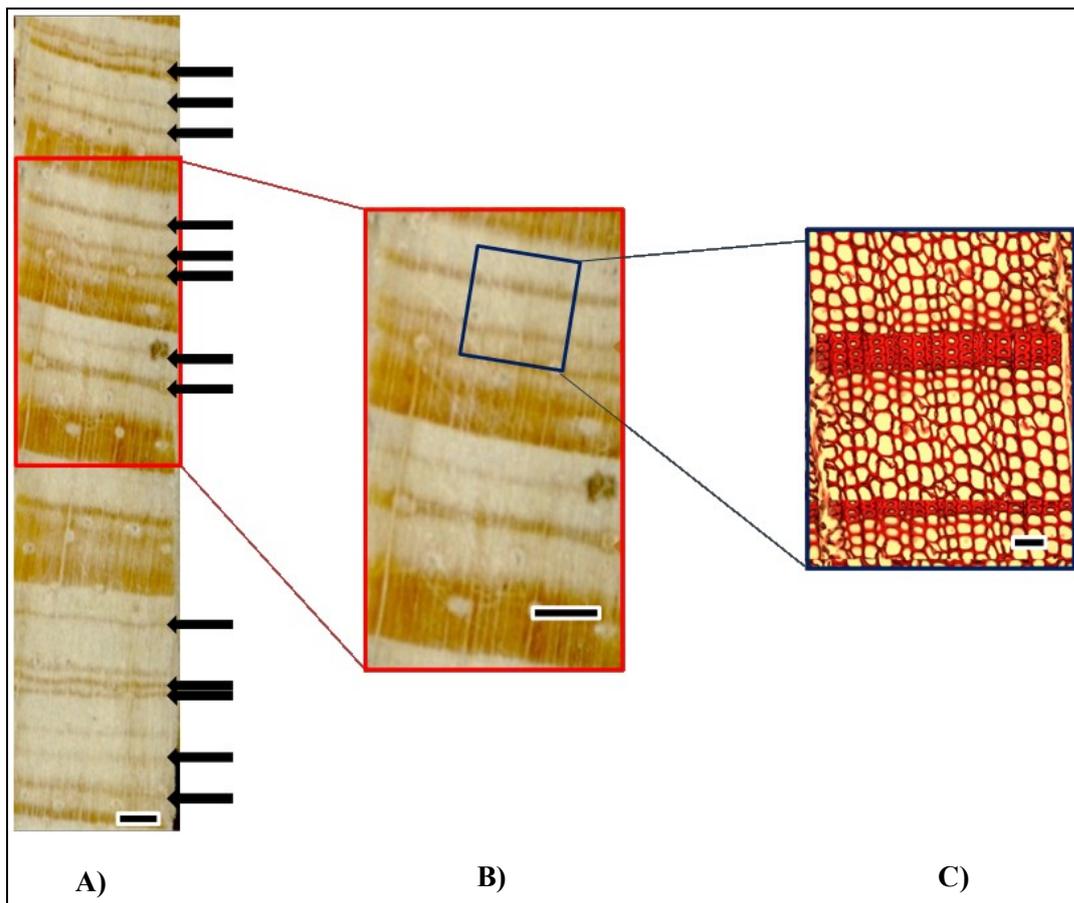


Figura 20 - Anéis de crescimento anuais falsos (vide setas) no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Escala (A,B) 1 mm; (C) 0,1 mm

#### 4.4.10 Análise Estatística

Foi realizada uma análise estatística descritiva das variáveis anatômicas do lenho das 2 espécies e uma ANOVA não paramétrica (teste Kruskal-Wallis  $p < 0,05$ ) para avaliar a influência da cobertura da copa das árvores pelas lianas no: i) incremento corrente acumulado (ICA), ii) densidade aparente, iii) variáveis de vasos em *Tectona grandis* (ATr, ALT e frequência de vasos) e iv) anéis falsos em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Foi utilizada uma análise não paramétrica devido a que os valores não têm uma distribuição normal segundo o

teste de Shapiro-Wilks (ZAR, 1999). No caso das variáveis de vasos AT, ALI e A1L aprovaram a prova de normalidade, pelo que a diferença estatística significativa entre suas médias foi analisada através do teste de comparação de Tukey ( $p < 0,05$ ). O Software INFOSAT (versão 2012) foi utilizado para as análises estatísticas e SIGMAPLOT (versão 10.0) para os gráficos.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização anatômica do lenho e dos anéis de crescimento das árvores

#### 5.1.1 Árvores de *Tectona grandis*

Os anéis de crescimento do lenho das árvores de teca apresentam características anatômicas associadas aos vasos (forma, dimensão e distribuição), parênquima radial e axial. Os vasos são importantes para a caracterização e delimitação dos anéis de crescimento do lenho das árvores de teca, sendo distintos a olho nu e agrupados, formando anéis semi-porosos (Figura 21A, B). Na seção transversal do lenho são evidenciados os vasos de maior diâmetro, formados no início do período de crescimento vegetativo, constituindo o lenho inicial e os vasos de menor diâmetro, formados no final do período vegetativo, do lenho tardio. Os anéis de crescimento são demarcados pelo parênquima marginal associado aos vasos de maior diâmetro (Figura 21B, C). Foi observada a ocorrência de parênquima paratraqueal vasicêntrico. Raios visíveis somente sob lente de 10x no plano transversal, com 2(3)4 células de largura, composto por células procumbentes (Figura 21D). Tem presença de Tiolose casualmente. Fibras septadas, ligeiramente estratificadas com pontuações simples escassas, composto por células fusiformes (OLIVEIRA, 2011).

A análise macroscópica evidencia uma diferenciação do lenho do tronco das árvores de teca, com uma região interna de coloração (mais escura) e externa (mais clara), definindo o cerne e o alburno, respectivamente. No lenho mais externo do tronco das árvores, compreendendo o alburno, os anéis de crescimento são mais estreitos, quando comparados com o mais interno, na região do cerne, ao redor da medula (Figura 21A). A caracterização macroscópica do lenho das árvores de teca coincide com a descrita na literatura por inúmeros autores (PUMIJUMNONG et al., 1995; PRIYA; BHAT, 1998; MOYA et al., 2009; etc).

Além dos anéis de crescimento anuais, verifica-se no lenho das árvores de teca a predominância de anéis de crescimento falsos do Tipo I, com 1 linha de parênquima associada a vasos de maior diâmetro (Figura 21C). De acordo com Priya e Bhat (1998) os anéis de crescimento falsos em árvores de teca são classificados em 4 tipos, sendo Tipo I (no lenho inicial, com 1 ou mais linhas de parênquima, vasos grandes, fibras de parede fina, precedidas por fibras de parede espessa), o tipo II (com mudança abrupta da espessura fina da parede das fibras do lenho inicial para uma faixa de fibras de parede mais espessa com parênquima e vasos difusos); Tipo III (no lenho tardio, com 1 ou 2 linhas de parênquima, vasos pequenos)

e do Tipo IV (agregação de vasos múltiplos radiais com parênquima paratraqueal). Os anéis de crescimento falsos foram formados, nos anos iniciais do crescimento do lenho, com tendência à redução do seu número com o aumento da idade das árvores de teca (Figura 22), corroborando as observações de Chowdhury e Rao (1949) para as árvores da espécie na Índia. No entanto, Oliveira (2011) identificou maior frequência de anéis de crescimento falsos na região de alburno de árvores de teca cultivadas na região de Mato grosso.

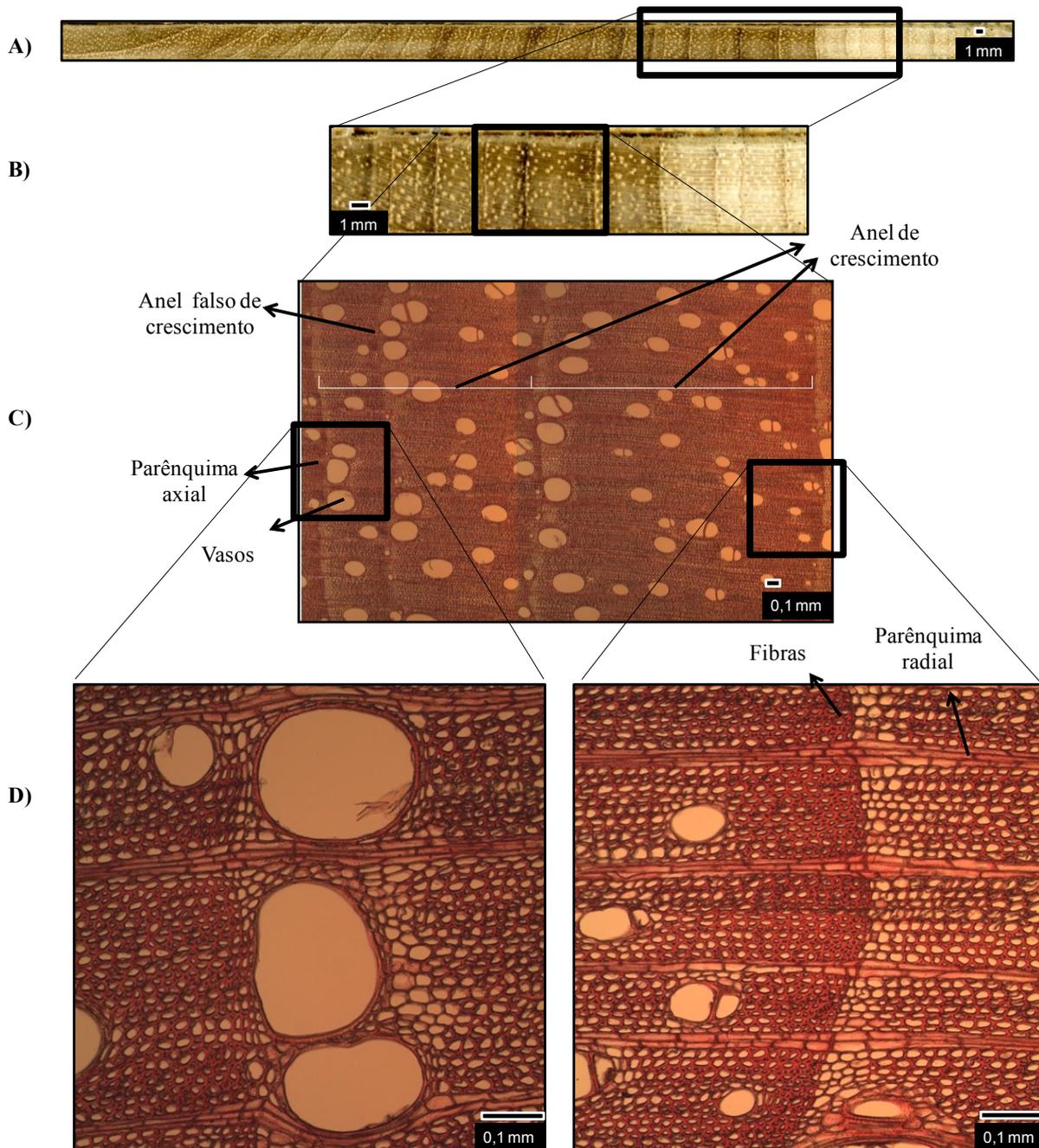


Figura 21 - Características anatômicas do lenho das árvores de *Tectona grandis*. Estrutura macroscópica (A, B); microscópica (C, D), evidenciando lenho inicial e tardio dos anéis de crescimento, vasos, fibras, parênquima axial, parênquima radial

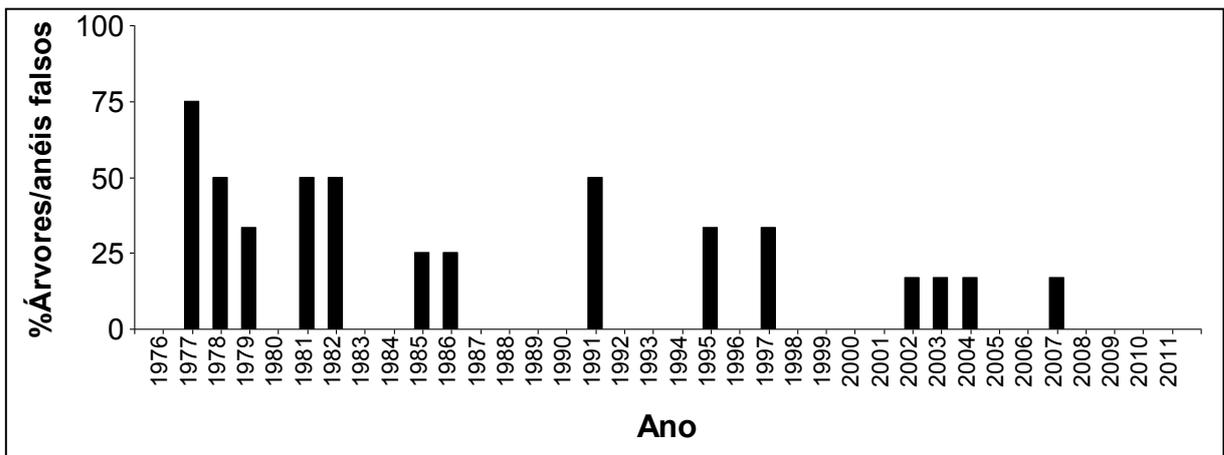


Figura 22 - Porcentagem de árvores com anéis de crescimento falsos no lenho das árvores de *Tectona grandis* (período 1976-2011)

### 5.1.2 Árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Na análise macroscópica do lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* destacam-se os anéis de crescimento anuais constituído pelo lenho inicial (coloração amarelada-clara, maior espessura, menor densidade) e tardio (marrom-escuro, menor espessura, maior densidade) (Figura 23 C, D). O lenho inicial apresenta maiores valores de espessura na região interna do lenho, próxima da medula, diminuindo com o aumento da idade das árvores, ou seja, na fase adulta de desenvolvimento, indicativa da região periférica do tronco, próxima à casca. O cerne é caracterizado pela textura grosseira, grã direita, raios distintos apenas sob lente e o parênquima axial indistinto. Os canais resiníferos longitudinais são visíveis sob lente, como pontos marrons com círculo amarelado e associados, principalmente, ao lenho tardio dos anéis de crescimento (Figura 23 C, D). A descrição do lenho das árvores é similar à descrita na literatura por inúmeros autores em plantações da espécie no Brasil (LORENZI et al., 2003; FERREIRA 2009, CASTRO, 2011, etc).

A exemplo das árvores de teca, verifica-se, ainda, no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* uma elevada frequência de anéis de crescimento falsos; no entanto, as árvores de pinus apresentaram um número significativamente maior de anéis de crescimento falsos em todo o período de crescimento das árvores. Neste contexto, os anéis falsos podem ser muito interessantes para estudos ecológicos e climáticos, além da observação se existe uma influencia das lianas na formação dessas anomalias no crescimento. Essa reação das árvores de pinus à ocupação das suas copas pelas lianas relaciona-se com a

redução da área foliar, afetando a taxa de fotossíntese e outros importantes processos fisiológicos (fluxo de seiva mineral e orgânica, transpiração, respiração, etc) das árvores e, desta forma, a atividade cambial em resposta às variações climáticas (Figura 24; vide maiores detalhes no Item 5.7).

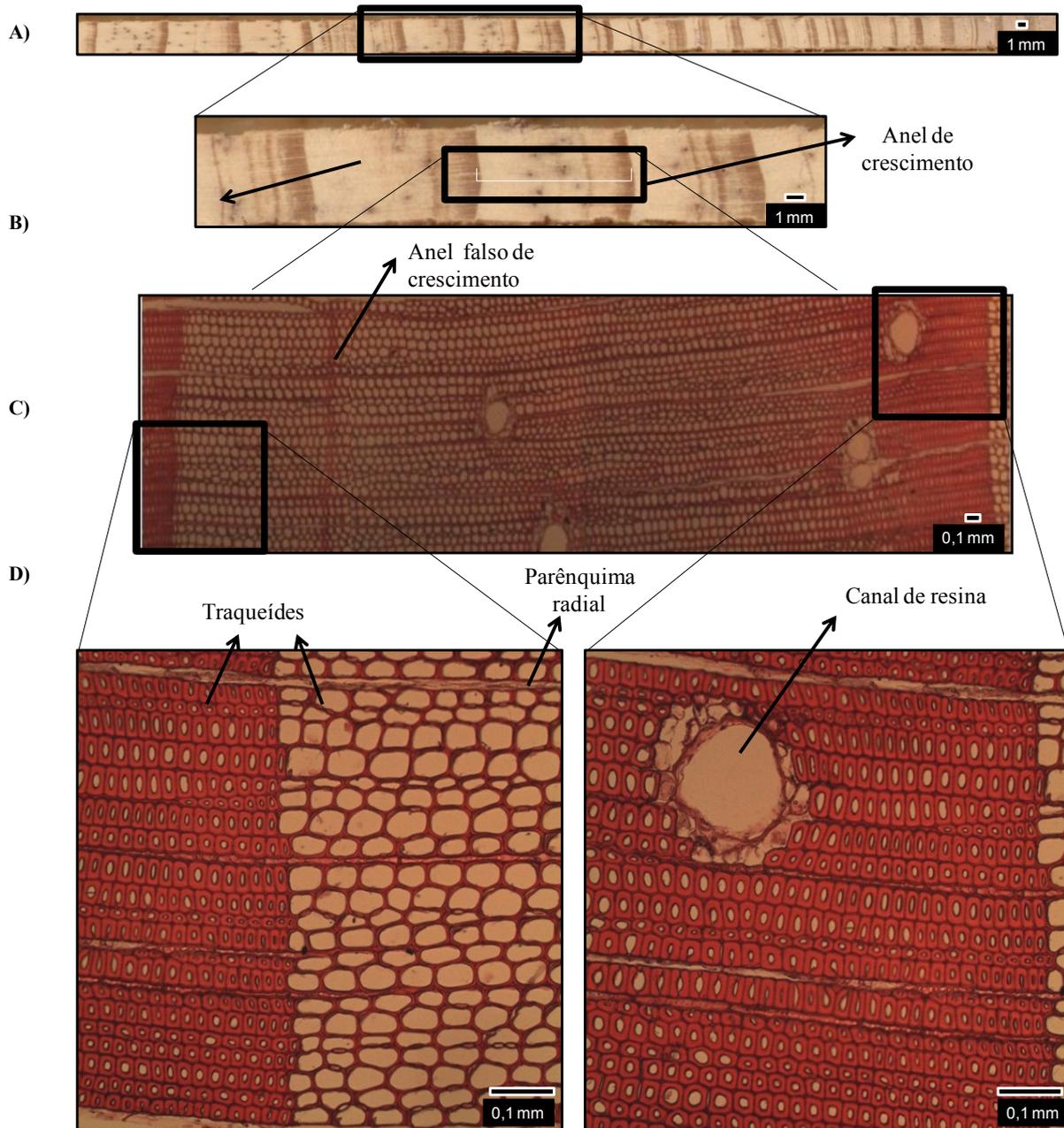


Figura 23 - Características anatômicas do lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Estrutura macroscópica (A, B); microscópica (C, D), evidenciando lenho inicial e tardio dos anéis de crescimento, anéis falsos, canal de resina, traqueídes com diferencia na espessura da parede, parênquima radial

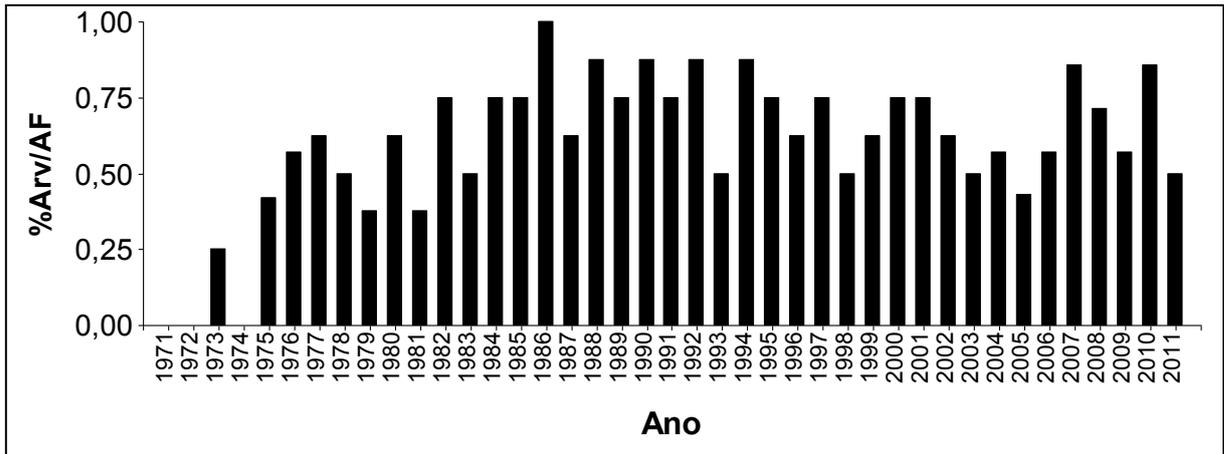


Figura 24 - Porcentagem de árvores com anéis de crescimento falsos no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (período 1976-2011)

## 5.2 Dendrocronologia das árvores das duas espécies

O controle de qualidade da largura dos anéis de crescimento anuais das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis* demonstrou que, do total de 65 amostras do lenho extraídas de 18 árvores (10 de *P. caribaea*; 8 de *T. grandis*), 49 amostras do lenho apresentam um sinal comum de crescimento (25 de *P. caribaea*; 24 de *T. grandis*) evidenciado pelas correlações significativas entre as séries de crescimento. As cronologias de anéis de crescimento indicam 41 anos para as árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* e de 36 anos para as de *Tectona grandis* (Tabela 4; Figuras 25).

A média da largura dos anéis de crescimento anuais foi de 6,82 e de 4,95 mm/ano para as árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis*, com maior taxa de crescimento do tronco verificada para os primeiros anos. As cronologias de anéis de crescimento construídas para as árvores das 2 espécies apresentam uma inter-correlação estabelecida pelo programa COFECHA superior a 0,59 (as 2 espécies excedem o valor da correlação crítica). O valor de sensibilidade média mostra que as séries de anéis de crescimento das 2 espécies são sensíveis ( $>0,30$ ) (GRISSINO-MAYER, 2001). O sinal de expressão da população (EPS) foi maior do que 0,85 para as 2 espécies, indicativo do tamanho adequado da amostra (WIGLEY et al., 1984; MCCARROL; LOADER, 2004) (Tabela 4).

Tabela 4 - Estatística descritiva das cronologias das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis*

Espécie	Período	Árvores (séries)	ML± $\sigma$ (mm)*	Intercor.	Correlação crítica**	EPS***	Sensib.
<i>T. grandis</i>	1976- 2011	8 (24)	4,95±1,52	0,599	0,515	0,92	0,424
<i>P. caribaea</i>	1971- 2011	10 (25)	6,82±4,56	0,597	0,422	0,94	0,399

\*ML ±  $\sigma$ : média da largura dos anéis de crescimento±desvio padrão; \*\* Correlação crítica pelo software COFECHA; \*\*\* Sinal de expressão da população (“*Expressed population signal*”)

A idade estimada foi de 37-41 e de 30-36 anos para as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis* (com 1 árvore c/ 22 anos), respectivamente. Na sequência, com a padronização da série cronológica dos anéis de crescimento das árvores das 2 espécies removeu-se a tendência biológica do crescimento do seu tronco, permitindo que as séries de crescimentos individuais fossem calculadas em conjunto em uma função média e, desta forma, estabelecer as correlações com as variáveis climáticas (Figura 25).

O menor crescimento radial das amostras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* observadas no ano 1981 pode ser atribuída ao incêndio um incêndio florestal ocorrido no inverno (julho), corroborando outros trabalhos da literatura que aplicam a análise dos anéis de crescimento de árvores da espécie na datação dos incêndios (MILLER, 2007) e na interação com o fogo (O'BRIEN et al., 2008) pela dependência ecológica da espécie ao fogo para sua sucessão e regeneração natural (MYERS et al., 2004; GREEN, 2011).

A literatura relata que o incêndio na Mata da Pedreira afetou áreas significativas, com a queima total da vegetação, com somente algumas árvores permanecendo em pé (CATHARINO, 1989) e, atualmente, caracterizadas pela grande quantidade de lianas na cobertura do solo e ocupando a copa das árvores. A ocorrência, no passado, de incêndios florestais afetando os fragmentos florestais e induzindo a ocupação do solo e da copa das árvores por lianas é comumente relatada na região de Piracicaba.

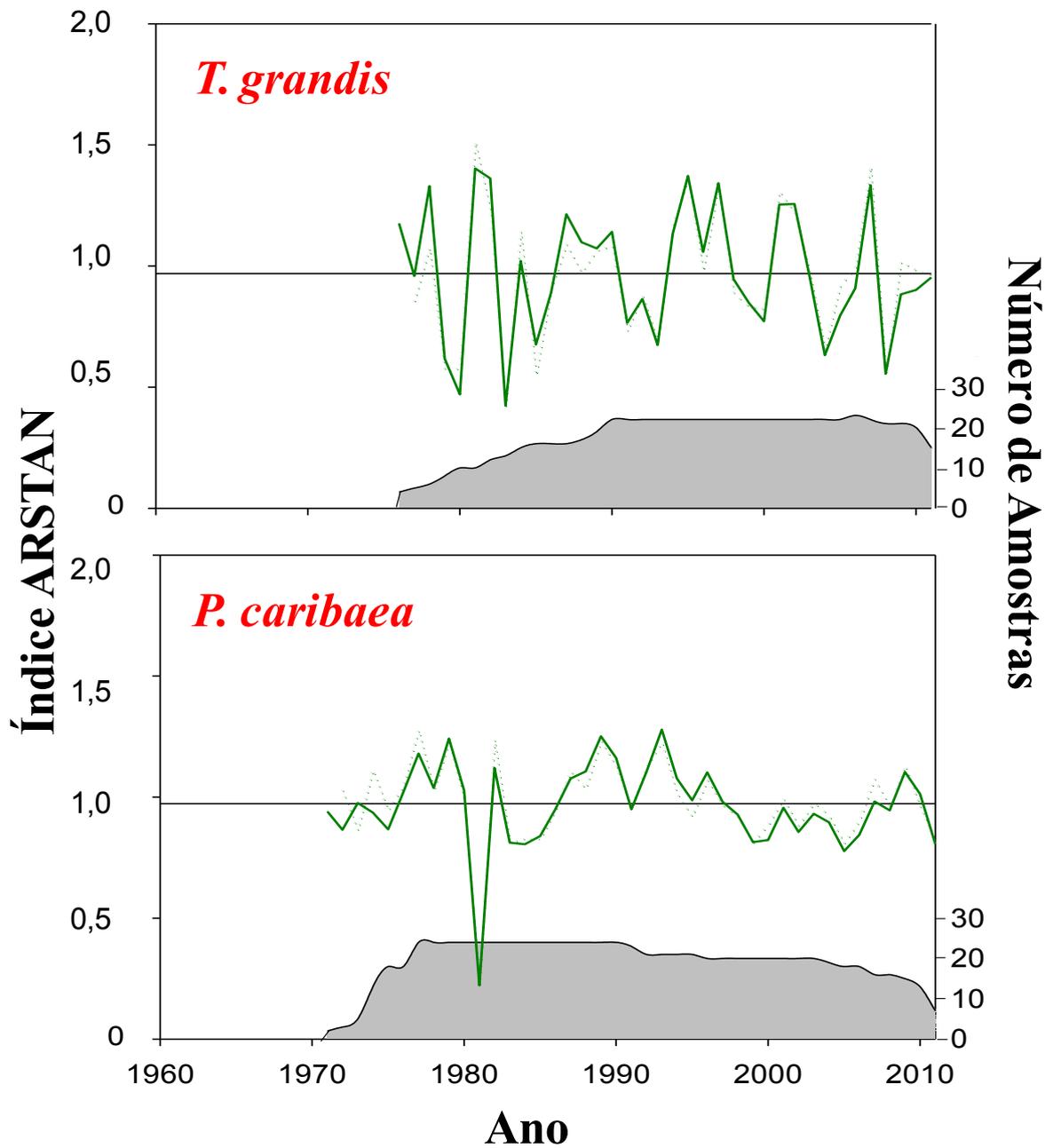


Figura 25 - Cronologias das árvores de *Tectona grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Linha verde índice ARSTAN, sólida (standard) e pontuada (residual).

### 5.3 Dendroecologia das árvores das duas espécies

#### 5.3.1 Influência das lianas no crescimento radial do tronco das árvores

As árvores sem lianas tem uma melhor correlação que as árvores com lianas, nas duas espécies. O que demonstra o efeito prejudicial das lianas no crescimento das árvores, provocando uma menor sincronização do crescimento (Figura 26; Tabela 5).

A correlação entre os índices standard de ARSTAN entre as árvores com e sem a presença de lianas, resultou em diminuição do coeficiente de correlação nos últimos anos de crescimento do tronco das árvores das 2 espécies, sendo que, para as de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, foi significativa a partir do ano de 1984 (Figura 26).

Por outro lado, a Tabela 5 que representa a saída do programa COFECHA, onde foram analisadas as séries cronológicas das árvores de *Tectona grandis* e de *P. caribaea* var. *hondurensis* em segmento-intervalo de 16-8 e 30-10, respectivamente, indica uma diminuição da intercorrelação das séries de crescimento das árvores com lianas. Nas árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* verifica-se que, no último período de crescimento, não houve correlação significativa sendo que, no entanto, a cronologia (1971-2011) das árvores da espécie com lianas continua sendo significativa. Em árvores de *Tectona grandis* observa-se que o efeito prejudicial das lianas ocorre nos últimos 12 anos de crescimento, representado pela baixa sincronização entre as séries das árvores com presença de lianas, sendo suficiente para que sua cronologia (1976-2011) não fosse significativa.

Tabela 5 - Intercorrelação das séries cronológicas de anéis de crescimento das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com a copa com lianas Segmento/intervalo saída do Cofecha: *T. grandis*; *Pinus caribaea* (16/8; 30/10)

Lianas	<i>Tectona grandis</i>					<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>			
	1976-1991	1984-1999	1992-2007	2000-2011	1976-2011	1971-1999	1980-2009	1990-2011	1971-2011
C	0,58	0,56	0,60	0,52*	<b>0,55*</b>	0,56	0,62	0,25**	<b>0,55</b>
S	0,72	0,61	0,60	0,70	<b>0,64</b>	0,61	0,67	0,51	<b>0,60</b>

\* Correlação não significativa ao nível de confiança 99% (r=0,574); \*\*ao nível de 99% (r=0,422)

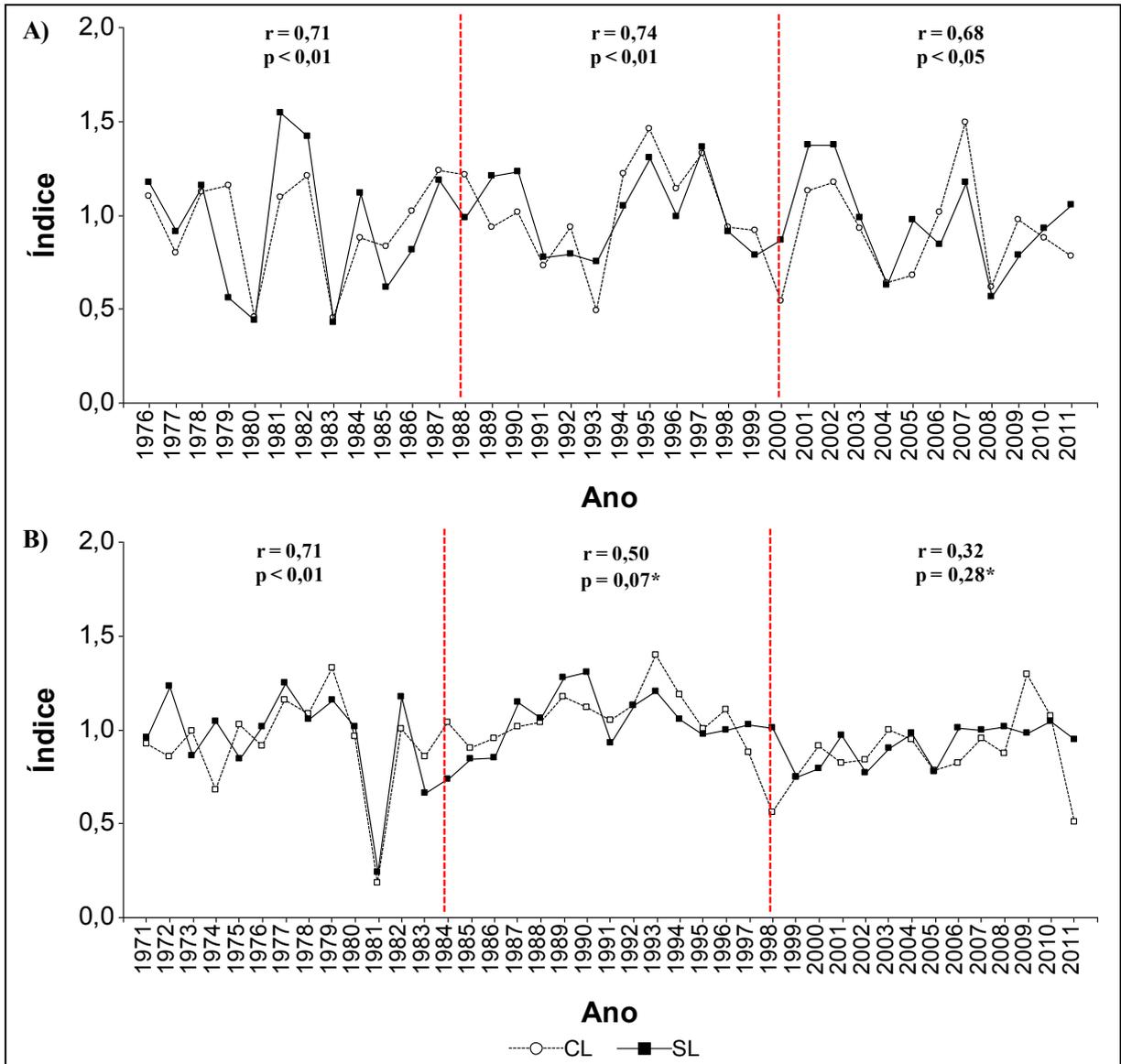


Figura 26 - Comparação da cronologia de anéis de crescimento das árvores com presença de lianas e períodos comuns de crescimento. (A) *Tectona grandis*, (B) *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. \*coeficiente de correlação não significativo ( $p < 0,05$ )

A análise do incremento corrente anual (ICA) do tronco das árvores de *Tectona grandis* indica um crescimento de 5 mm/raio até 10º ano, em seguida, nas árvores com idade juvenil o incremento é de 5-7 mm/raio de ICA até o 20º ano; na idade adulta (últimos 10 anos) crescimento do tronco diminui para 3,75 mm/raio/ano (Figura 27A; Tabela 6). Embora o ICA médio das árvores de teca com lianas (5,20 mm) ser maior do que o das sem lianas (4,73 mm) verifica-se uma importante redução do IRMA nos últimos dez anos pelo efeito negativo das lianas ocupando a copa das árvores (Figura 27B, C).

As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* mostraram um grande crescimento do ICA até o 5º ano (com 20 mm de raio); acima de 11 mm até 10º ano; seguindo-se redução

acentuada do crescimento, intensificada nos últimos 15 anos, com anéis de crescimento estreitos de 3 mm (Figura 28A; Tabela 6). O ICA médio das árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* sem lianas (7,18 mm) é maior que o das com lianas (6,52 mm), pelo que poderia atribuir-se à colonização das lianas nas árvores (Figura 28B,C).

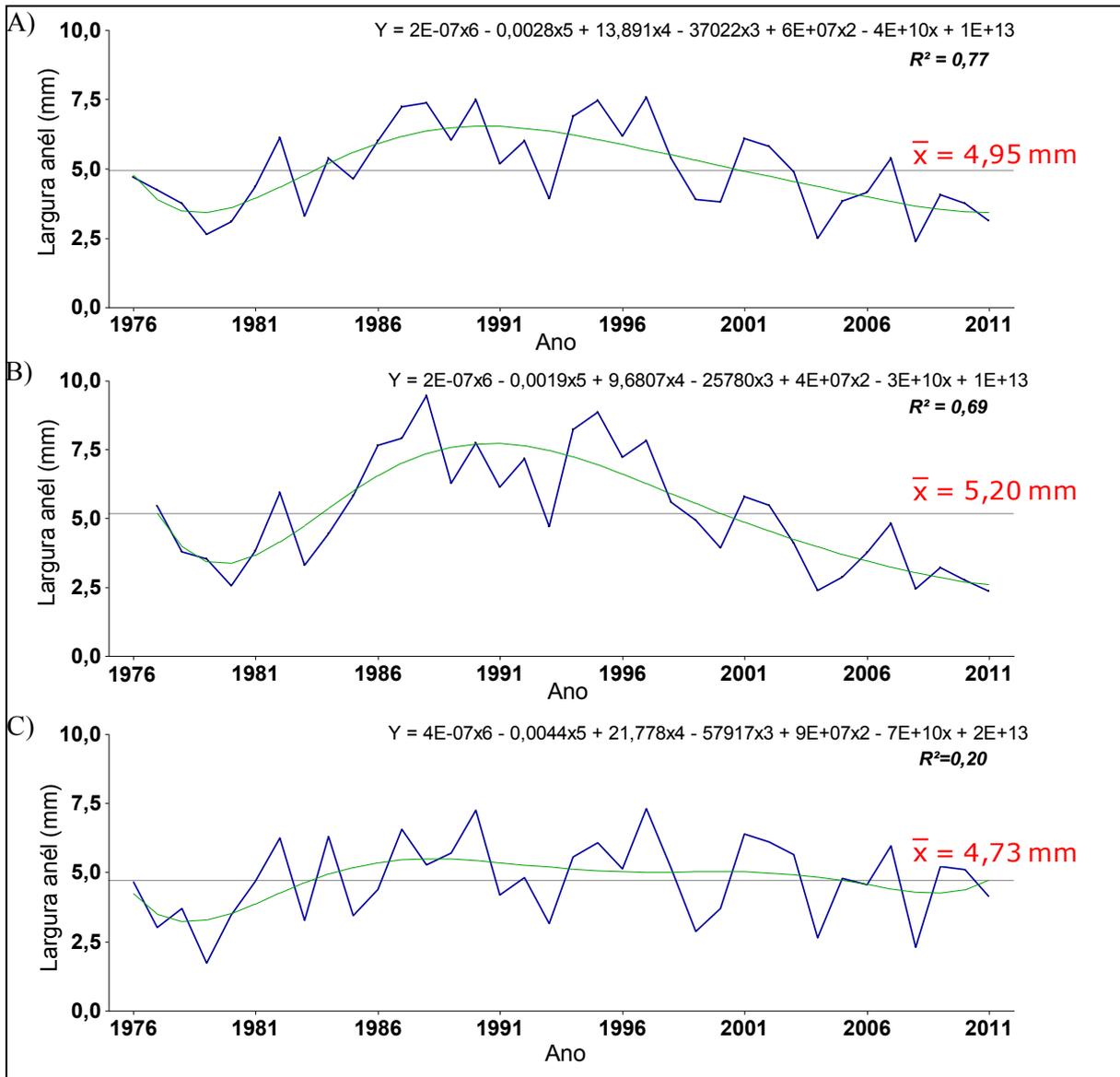


Figura 27 - Incremento corrente anual (ICA) das árvores de *Tectona grandis*. (A) todas as árvores; (B) árvores com e sem (C) lianas. Linha verde: tendência estimada a partir de regressão polinomial de ordem 6.; cinza é o IRMA médio

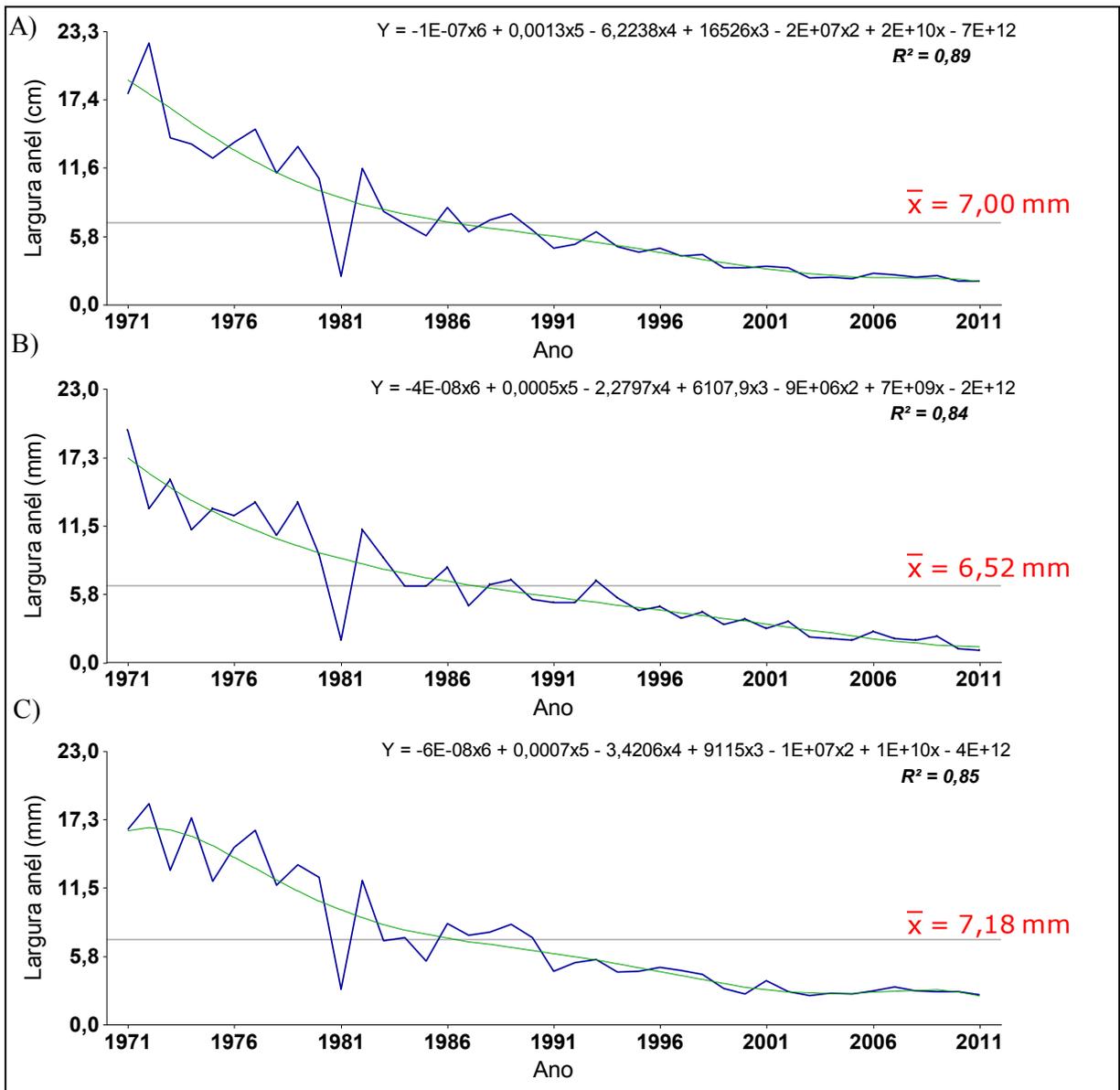


Figura 28 - Incremento corrente anual (ICA) das árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis*. (A) todas as árvores; (B) com lianas e sem (C) lianas. Linha verde: tendência estimada a partir regressão polinomial ordem 6; cinza é IRMA médio

A Tabela 6, representa os resultados da estatística descritiva do ICA segundo a classe de idade e a presença de lianas nas árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis*. Os resultados da ANOVA não paramétrica demonstra que o ICA é significativo somente nas classes de idade inicial (1-5) e final do crescimento (35-+) ( $p < 0,001$ ); onde a presença de lianas afeta negativamente o crescimento em tronco das árvores de pinus (Apêndice A). Observa-se uma grande variação nos dados das árvores de pinus com lianas em quase todas as classes de idade (exceto 10-15 anos), demonstrado pelo alto coeficiente de variação, em comparação com as árvores sem a presença de lianas (Tabela 6).

Para as árvores de *Tectona grandis* os dados de largura dos anéis de crescimento não foram significativos para os fatores avaliados (Apêndice A), devido aos valores serem muito heterogêneos, sobretudo, nas árvores com presença de lianas que apresentam o menor coeficiente de determinação no modelo de crescimento calculado (Figura 27) sendo que, além disso, árvores tiveram menor coeficiente de variação do 5º ao 30º ano (Tabela 6).

Tabela 6 - Estatística descritiva do ICA segundo a classe de idade e a presença das lianas das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis*

Classes	Lianas	<i>Pinus caribaea</i>			<i>Tectona grandis</i>		
		$\bar{X}$	$\sigma$	CV	$\bar{X}$	$\sigma$	CV
1-5	CL	10,13	3,35	32,39	3,55	0,5	1,14
	SL	14,7*	5,32	19,32	4,00	3,30	82,40
5-10	CL	11,95	3,85	32,2	4,61	2,28	49,60
	SL	13,76	1,19	8,62	4,79	1,31	27,31
10-15	CL	6,95	0,96	13,86	7,7	4,47	58,00
	SL	6,95	1,02	14,72	6,47	2,34	36,24
15-20	CL	6,35	3,16	49,84	6,97	3,71	53,27
	SL	7,91	2,84	35,83	4,76	1,24	25,98
20-25	CL	5,38	1,9	35,22	5,60	3,55	63,40
	SL	4,8	1,19	24,69	4,83	1,51	31,25
25-30	CL	3,92	1,79	45,65	4,04	1,59	39,22
	SL	3,83	0,76	19,85	5,11	2,39	46,73
30-35	CL	2,5	0,9	35,86	3,17	1,74	54,73
	SL	2,79	0,51	18,24	4,02	2,06	46,17
35-+	CL	1,91	0,59	31,02			
	SL	3,10*	0,51	18,36			
média	CL	6,52	4,53	69,14	5,02	2,03	39,19
	SL	7,18	4,88	68,01	4,73	1,40	29,73

$\bar{X}$ : média largura anéis de crescimento (mm);  $\sigma$ : desvio padrão; CV: Coeficiente de variação;  
\*Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ )

O incremento radial acumulado (IRA) do tronco das árvores de *Tectona grandis*, considerando todos os anos, indica que a presença de lianas não resulta em efeito negativo durante o período comum (Tabela 7). No entanto, a linha de tendência do crescimento do ICA mostra uma diminuição da largura dos anéis do crescimento nos últimos 12 anos (Figura 26B) e, como nesse período, ocorre uma baixa inter-correlação entre as séries de crescimento (Tabela 5) foi realizada a análise do IRA (a partir do ano 2000) resultando em tendência da redução do crescimento do tronco das árvores na última década, embora não significativa (Figura 29, Tabela 7).

Para as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a análise do IRA indica uma diminuição do seu crescimento desde o início (avaliação do período comum) comprovando o efeito negativo das lianas (Tabela 7, Figura 30). O desenvolvimento das lianas na copa das árvores desta espécie ocorreu muito antes do que nas árvores de teca, induzindo um efeito negativo desde uma idade mais jovem.

Tabela 7 - Incremento radial acumulado médio  $\pm$  desvio padrão (mínimo-máximo) das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Tectona grandis* com e sem lianas

Espécies	Período comum		Período 2000-11	
	CL	SL	CL	SL
<i>P. caribaea</i>	209,5 $\pm$ 36,4 (168,2-245,6)	223,2 $\pm$ 37,2 (178,2-258,4)	29,1 $\pm$ 8,6 (23,4-38,8)	34,1 $\pm$ 6,4 (27,2-29,9)
<i>T. grandis</i>	112,1 $\pm$ 36,9 (75,3-160,2)	103,7 $\pm$ 35,1 (65,6-140,9)	43,8 $\pm$ 11,2 (28,3-52,4)	62,8 $\pm$ 29,5 (34,1-93,1)

<sup>a</sup> *Pinus caribaea* var. *hondurensis*: 1975-2011; de *Tectona grandis*: 1989-2011

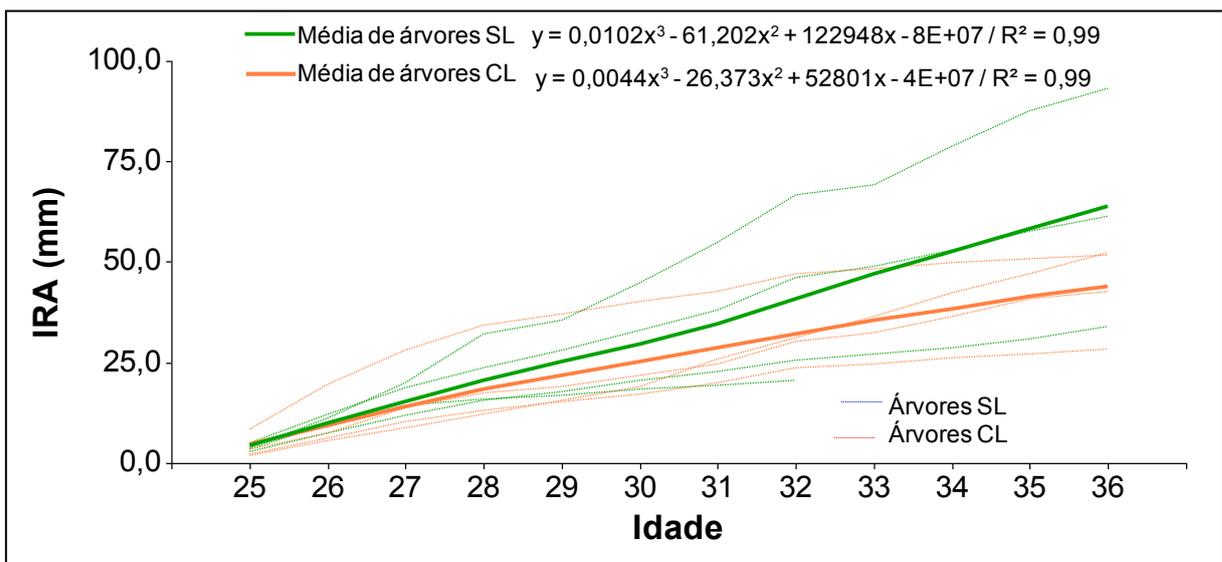


Figura 29 - Incremento radial acumulado (IRA) do tronco das árvores de *Tectona grandis* com e sem lianas (período 2000-11). Linha pontilhada: curva de crescimento das árvores; sólida: curva de crescimento média representada por linha de tendência

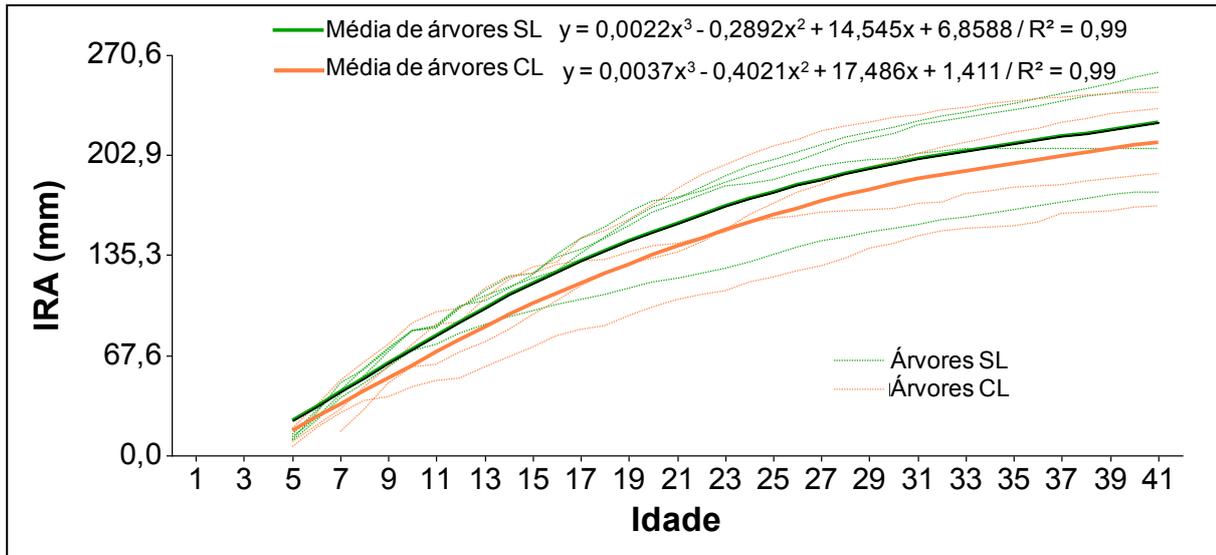


Figura 30 - Incremento radial acumulado (IRA) do tronco das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com e sem lianas (período) 1971-2011. Linha pontilhada: curva de crescimento das árvores; sólida: curva de crescimento média representada por linha de tendência

### 5.3.2 Resposta das árvores às variações de clima, com a presença das lianas

A correlação entre o crescimento radial do tronco das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com e sem a presença de lianas e as condições climáticas mensais (temperatura média e precipitação acumulada) foi investigada através da análise da função resposta (Tabela 8). As árvores das 2 espécies sem lianas apresentam uma alta correlação com a precipitação, demonstrada por um maior coeficiente de determinação, sendo as de teca têm maior associação com esse parâmetro climático ( $R^2 = 79\%$ ). Esse resultado pode comprovar a dependência do crescimento radial do tronco das árvores de teca à precipitação, de acordo com o indicado em muitos estudos (vide Item 5.5). No caso da temperatura, as árvores de teca com lianas apresentam maior relação devido a 75% da variação do crescimento radial ser explicado por esse parâmetro climático; no entanto, em árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* observa-se o contrário, quando as árvores sem lianas têm uma maior relação ( $R^2 = 48\%$ ).

As árvores de *Tectona grandis* com lianas têm correlação negativa com a temperatura dos meses de maior precipitação no ano corrente do crescimento (N até  $A^{+1}$ ), sendo significativo nos meses de fevereiro ( $F^{+1}$ ) a abril ( $A^{+1}$ ). No entanto, a temperatura é positivamente significativa no mês de fevereiro, anterior ao crescimento, enquanto as árvores

sem lianas, incluindo todas, são significativas no mês de março. A precipitação só foi significativa para as árvores sem lianas e *Todos*, sendo significativo positivo para o crescimento, em dezembro ( $D^{-1}$ ), novembro e fevereiro do ano corrente (N e  $F^{+1}$ ) (e março só nas árvores com lianas); e significativo negativo em  $A^{+1}$  e S.

Em geral, as árvores de *Pinus caribaea var. hondurensis* tem menor correlação com o clima do que as de *Tectona grandis*. A temperatura tem uma correlação negativa significativa com o crescimento radial das árvores sem lianas no mês de maio do ano prévio ao crescimento; a precipitação tem uma correlação positiva significativa com o crescimento de julho (árvores com lianas) e setembro (árvores com lianas).

A temperatura dos meses mais quentes (N até  $A^{+1}$ ) influencia negativamente o crescimento radial do tronco das árvores com lianas, sendo que os meses  $F^{+1}$ ,  $M^{+1}$  e  $A^{+1}$  existe um efeito significativo sobre a largura dos anéis de crescimento; existe, portanto, uma maior demanda evaporativa do solo, diminuindo a disponibilidade hídrica para as plantas, além do efeito negativo das lianas, provocando uma maior evapotranspiração da árvore. Esse raciocínio pode ser explicado, pelo que muitos autores afirmam que as lianas lenhosas podem possuir uma grande área foliar que contribui consideravelmente para os processos de transpiração florestal, cobertura vegetal e ciclo de nutrientes (GERWING; FARIAS, 2000; SCHNITZER; BONGERS, 2002; PHILIPS et al., 2005), onde a transpiração tende a saturar no interior da cobertura vegetal com o déficit de pressão vapor (PHILIPS et al., 1999). Em fim, à medida que aumenta a demanda evapotranspirativa em muitas florestas tropicais, é provável que favoreça a proliferação liana (SCHNITZER; BONGERS, 2011).

Tabela 8 - Coeficiente de regressão expressando o efeito da temperatura e precipitação sobre a cronologia das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea var. hondurensis* diferenciado pela presença de lianas. Período analisado: dezembro, ano anterior do crescimento ( $D^{-1}$ ) até abril no ano corrente do crescimento ( $A^{+1}$ )

Sp	Temperatura															Precipitação																			
	$D^{-1}$	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$J^{+1}$	$F^{+1}$	$M^{+1}$	$A^{+1}$	$R^2$	$D^{-1}$	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$J^{+1}$	$F^{+1}$	$M^{+1}$	$A^{+1}$
TG-CL	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	75	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	40
TG-SL	-	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	32	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	79
Todos	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	35	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	77
PC-CL	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	34	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	39
PC-SL	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	48	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	49
Todos	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	38	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	35

	Crescimento prévio		Crescimento corrente		Crescimento prévio		Crescimento corrente	
+	coef. correl. positiva	coef. correl. significativa:	+	p<0,05	+	p<0,01	$R^2$ : Porcentagem da variância explicada pelo clima	
-	coef. correl. negativa	coef. correl. significativa:	-	p<0,05	-	p<0,01		

TG: *Tectona grandis*; PC: *Pinus caribaea var. hondurensis*; CL: com lianas; SL: sem lianas. Todos: todas as árvores

No caso da precipitação, nas árvores de teca com lianas não apresentam uma resposta significativa neste sinal climático, no entanto as árvores sem lianas encontram-se relacionadas com as chuvas do verão anterior e corrente no crescimento, sendo os meses  $D^{-1}$ ,  $D^{+1}$ , S,  $F^{+1}$  e  $M^{+1}$  mais significativos, o que demonstra que essa espécie é sensível a precipitação (BORGAONKAR, 2011; PUMIJUMNONG, 2013) e que as lianas tem um papel negativo no desenvolvimento natural das árvores.

A influência da precipitação em *Pinus caribaea* mostra que, as árvores com lianas respondem dois meses depois que as sem presença de lianas (CL: setembro e SL: julho). Esse resultado pode assinalar que a resposta é imediata nas árvores sem lianas, enquanto que a presença das trepadeiras retarda o sinal climático. Schnitzer e Bongers (2002) sinalam que em florestas com sazonalidade climática, existe uma maior competição por água entre as lianas e as árvores. Além disso, tem estudos que mostraram que o crescimento das lianas tem uma correlação positiva com o período de seca, devido a sua capacidade para aceder e utilizar de maneira eficiente a água do solo durante a seca sazonal, crescendo muito mais que as árvores, que estão em dormência (GENTRY, 1991; SCHNITZER; 2005; DE WALT, 2010). Neste contexto, julho existe menor pluviosidade pelo infere-se que maior parte vai ser aproveitada pelas lianas e recém as chuvas de setembro tem uma influência significativa no crescimento das árvores.

## 5.4 Densidade aparente do lenho das árvores

### 5.4.1 Densidade aparente do lenho das árvores

Para a determinação da densidade aparente do lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis* foram analisados 26.006 e 16.018 pontos de densidade, respectivamente, sendo que o coeficiente de variação de maior valor – 29,76% - foi observado detectado para o *P. caribaea* pela alta flutuação da densidade dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento (Figuras 31, 32).

Nas árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* o valor médio da densidade aparente do lenho foi de  $0,60 \text{ g/cm}^3$ , com o  $Q1 = 0,46 \text{ g/cm}^3$  e o  $Q3 = 0,7 \text{ g/cm}^3$ , dentro da faixa de variação da espécie (Figura 29). O valor de densidade média aparente é menor ao o obtido por Ferreira e Tomazello Filho (2009) em uma plantação de 40 anos ( $0,67-0,69 \text{ g/cm}^3$ ) e maior ao

apresentado por Castro (2011) ( $0,54 \text{ g/cm}^3$ ) em uma de 20 anos na mesma região. No Brasil, têm sido relatados valores médios de densidade aparente do lenho de  $0,35\text{-}0,41 \text{ g/cm}^3$ , pelo rápido crescimento das árvores (FRANCIS, 1992). Em plantações florestais da espécie na Nigéria, a densidade básica variou de  $0,47$  a  $0,68 \text{ g/cm}^3$  (UDOAKPAN, 2013), sendo que a procedência (genética), o sítio e manejo florestal influenciam consideravelmente no valor da densidade do lenho (BAHUER, 1992), relatando-se que na sua região de origem, as árvores de *P. caribaea* apresentam uma densidade aparente média de  $0,53 \text{ g/cm}^3$  (PLUMPTRE, 1984).

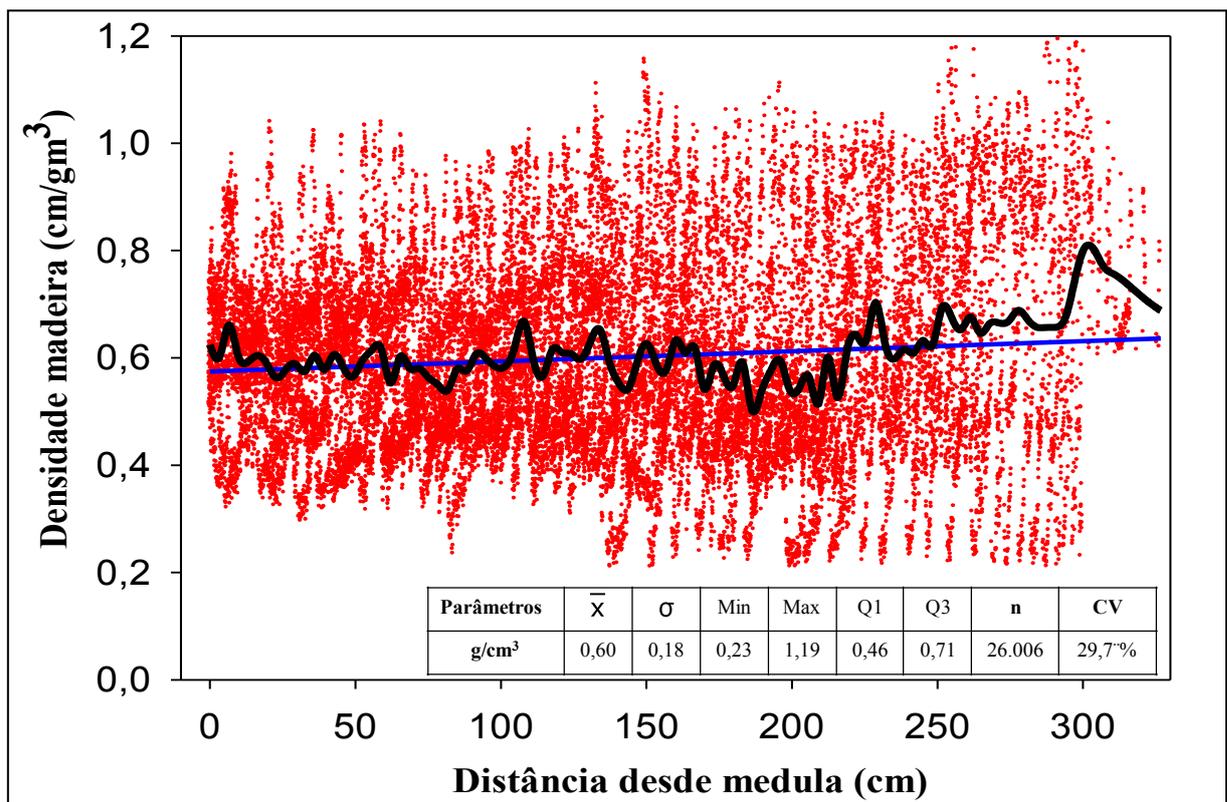


Figura 31 - Variação da densidade da madeira sentido medula-casca das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Linha azul representa um suavizado mediante regressão linear. Linha preta representa um suavizado mediante regressão Loess

As árvores de *Tectona grandis* apresentam densidade aparente média do lenho de  $0,64 \text{ g/cm}^3$ , com o  $Q1 = 0,56 \text{ g/cm}^3$  e o  $Q3 = 0,69 \text{ g/cm}^3$ , dentro da faixa de variação da espécie (Figura 30). O valor de densidade aparente média é similar ao indicado para árvores da espécie na região (LIMA et al., 2009, 2011; CASTRO, 2011). Moya et al. (2009) encontraram maior valor de densidade aparente média de  $0,55\text{-}0,87 \text{ g/cm}^3$  do lenho em árvores na Costa Rica, além disso, determinaram que a variabilidade da densidade aparente intra-anel de crescimento anual foi de 5-21%. Na África são relatados valores de densidade aparente do

lenho de 0,65-0,73 g/cm<sup>3</sup> em árvores jovens e adultas (KOKUTSE et al., 2004) e na Ásia a densidade aparente do lenho variou de 0,62-0,70 g/cm<sup>3</sup> (BAILLÈRES et al., 2000).

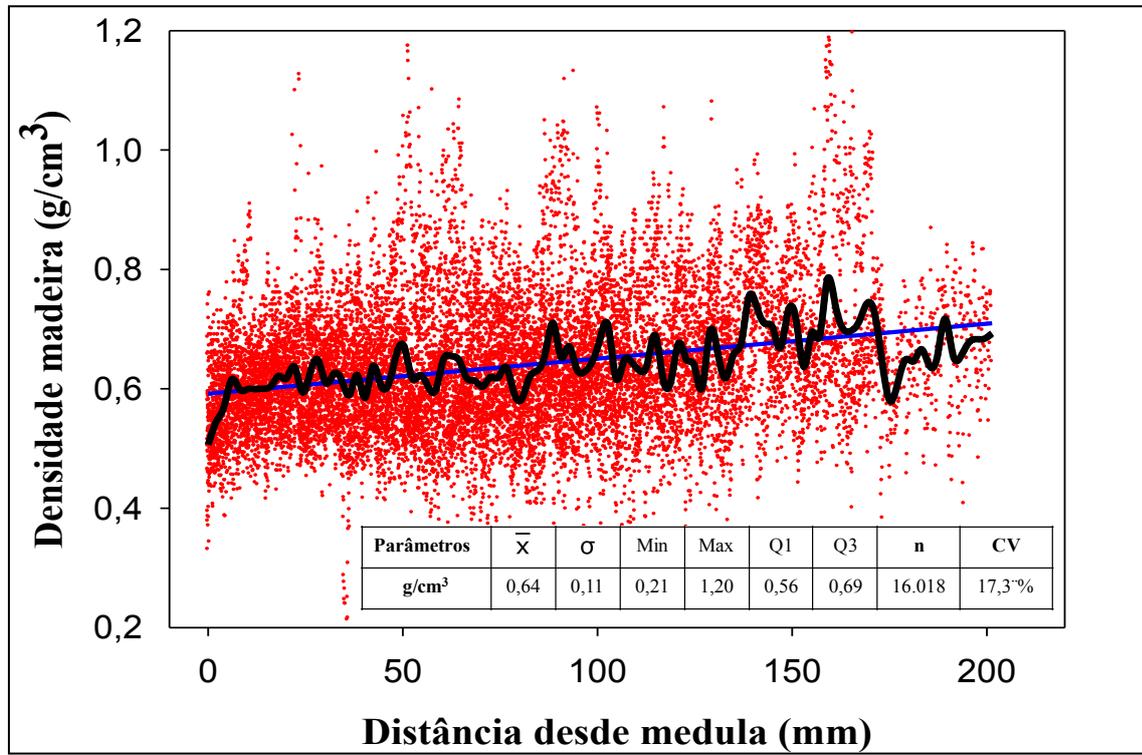


Figura 32 - Variação da densidade da madeira sentido medula-casca das árvores de *Tectona grandis*. Linha azul representa um suavizado mediante regressão lineal. Linha preta representa um suavizado mediante regressão Loess

No lenho das árvores das 2 espécies verifica-se a tendência do aumento da densidade com o da sua idade, coincidente com o apresentado na literatura nacional e internacional (KOKUTSE et al., 2004; MOYA et al., 2009; LIMA et al., 2011; FERREIRA; TOMAZELLO FILHO, 2009; UDOAKPAN, 2013). A variação da densidade aparente do lenho das árvores das 2 espécies (Figuras 33, 34) representa essa variação em relação à idade das árvores e diferencia as regiões de madeira juvenil, de transição e adulta; a maior flutuação do valor da densidade aparente do lenho ocorre na madeira adulta sendo que, nas árvores de *Tectona grandis* ocorre decréscimo na região do alburno.

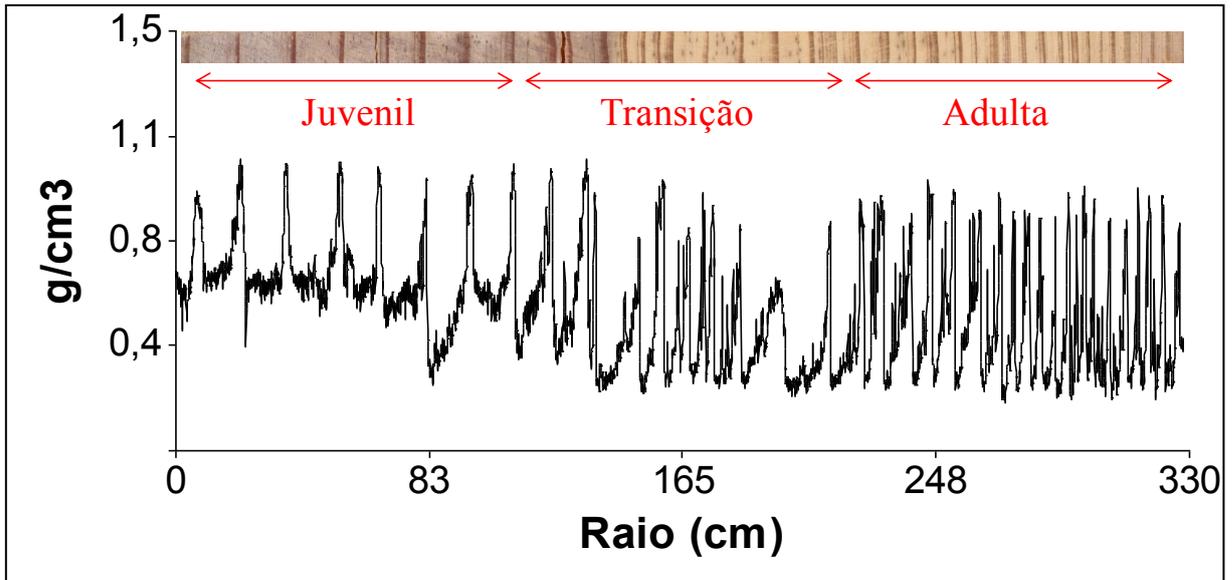


Figura 33 - Perfil radial da densidade aparente do lenho de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e o comprimento do raio (1466-1), indicando a delimitações das regiões da madeira juvenil, transição e adulta

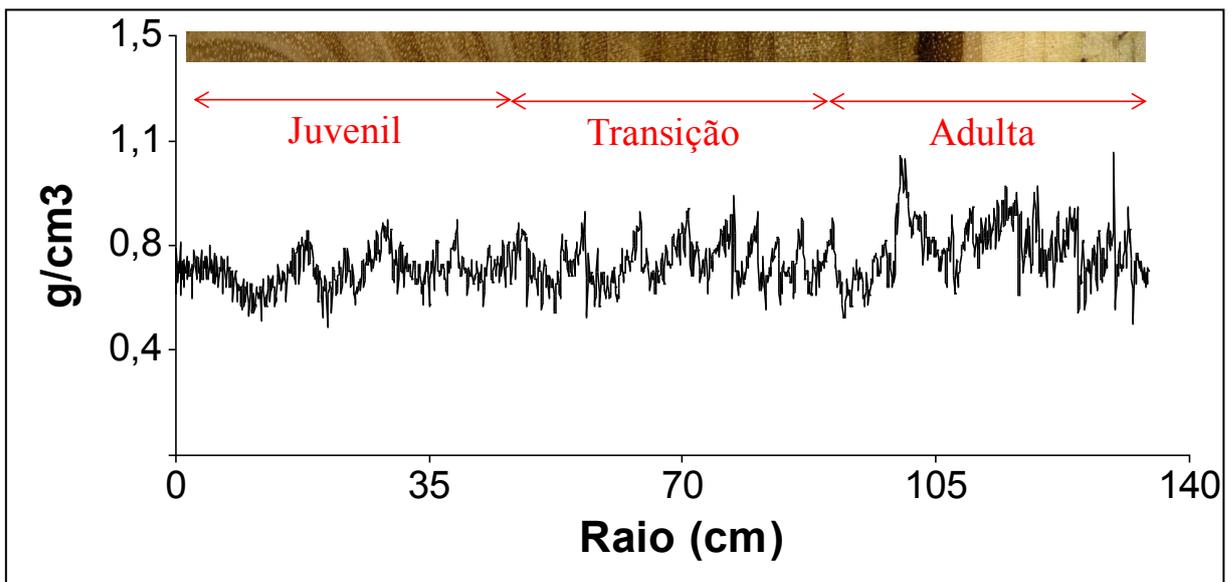


Figura 34 - Perfil radial da densidade aparente do lenho de *Tectona grandis* e o comprimento do raio (1491-1), indicando a delimitações das regiões da madeira juvenil, transição e adulta

A aplicação da densitometria de raios X possibilitou a demarcação dos limites dos anéis de crescimento anuais formados no lenho das árvores das 2 espécies, em função da variação da densidade inter e intra-anéis de crescimento. O aumento da densidade aparente do lenho nas árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ocorre no lenho tardio, pela maior espessura da parede e menor diâmetro do lume das traqueídes; nas árvores de *Tectona grandis* ocorre uma redução do valor de densidade na transição dos anéis de crescimento anuais, pelas células de parede mais delgada e maior lume do parênquima longitudinal. A metodologia de

densitometria de raios X constitui-se, desta forma, em importante ferramenta para a definição do limite dos anéis de crescimento e potencial aplicação para a dendrocronologia tropical, propiciando a delimitação e a mensuração da largura dos anéis de crescimento anuais do lenho de árvores, além de possibilitar a determinação da densidade dos lenhos inicial-tardio (TOMAZELLO FILHO et al., 2012).

#### **5.4.2 Influencia das lianas na densidade do lenho do tronco das árvores**

O valor médio da densidade aparente do lenho indica diferença estatística significativa entre árvores, de acordo com o tipo de madeira formada no lenho das árvores das 2 espécies com/sem presença de lianas ( $p < 0,001$ ) (Figura 35, Apêndice B). Nas árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com a presença de lianas ocupando suas copas, o valor da densidade aparente do lenho é maior quando comparado com a das árvores sem lianas, desde o início do seu crescimento. Essa diferença de densidade aparente do lenho deve-se ao menor crescimento do tronco das árvores de pinus com lianas e, dessa forma, uma menor % de lenho inicial (de menor densidade, traqueídes de maior largura, menor espessura de parede, maior diâmetro do lume) em relação ao tardio (de maior densidade, traqueídes de menor largura, maior espessura de parede, menor diâmetro do lume) nos anéis de crescimento anuais (MÄKINEN et al., 2002; DECOUX et al., 2004; JYSKE et al., 2008). Nesse aspecto, Ferreira e Tomazello Filho (2009) determinaram para o lenho das árvores da espécie, por densitometria de raios X, a variação da densidade aparente do lenho inicial e tardio dos anéis de crescimento de 0,2-0,5 e de 0,8-1,2 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Anteriormente, observou-se um efeito negativo das lianas (Item 5.3.1) nos últimos 10 anos do crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis*, com reflexo na densidade aparente do seu lenho. Os resultados mostraram que, diferentemente das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, as árvores de teca sem a presença de lianas apresentaram maiores valores de densidade aparente do lenho. Este efeito deve-se à menor variação da densidade interanual do lenho das árvores de teca (MOYA et al., 2009) e, pelo fato de que, em condições de estresse, as árvores da espécie produzem lenho com maior quantidade de parênquima, menor teor de fibras e menor resistência físico-mecânica (BHAT; PRIYA, 2004).

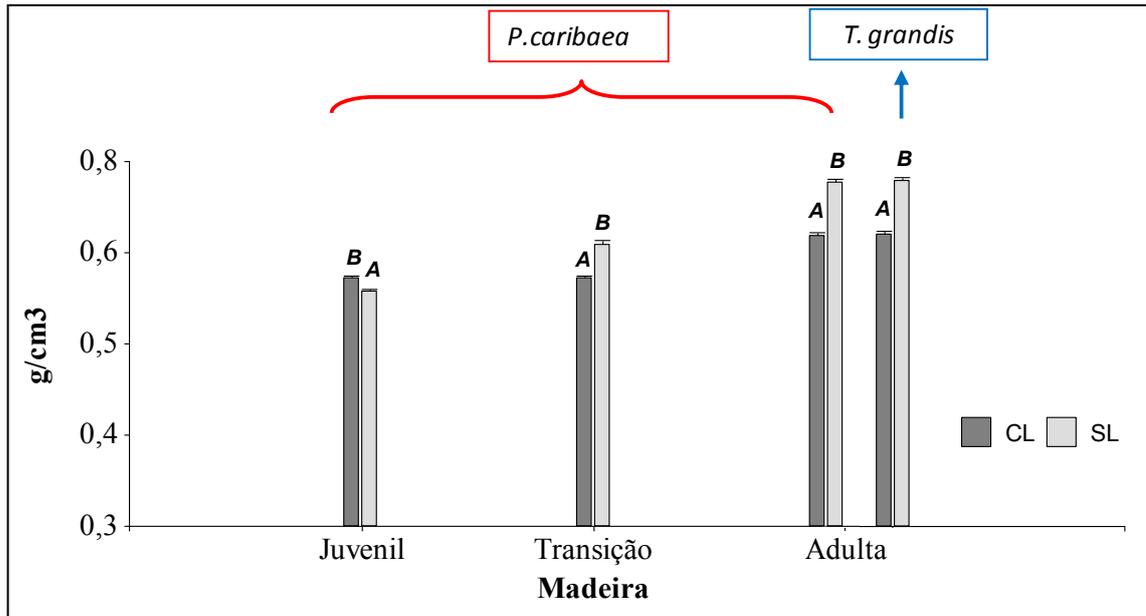


Figura 35 - Densidade aparente média do lenho da madeira juvenil-transição-adulta das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis* com a presença de lianas. Letra diferente: significância pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ )

#### 5.4.3 Incremento de biomassa e massa de carbono no lenho das árvores

Os valores de espessura, densidade média e altura (1 cm) dos anéis de crescimento anuais do lenho das árvores das 2 espécies, obtidos nas análises dendrocronológicas (Item 5.3) possibilitaram a determinação dos valores de incremento anual de biomassa de lenho e de carbono.

Para as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* obteve-se valor de biomassa de 590-2525 g, considerando uma altura de 1 cm no DAP do tronco (Figura 36A). Ainda, as árvores com e sem lianas apresentaram um acúmulo similar de biomassa do lenho nos 10 primeiros anos de crescimento do tronco. Após esta idade, árvores sem lianas apresentam maior acúmulo de biomassa comprovando o efeito negativo das lianas quanto ao acúmulo de carbono no lenho das árvores (Figura 36B, 36C). Essa tendência é observada até os 5 anos finais das árvores, quando, neste período, as árvores com lianas apresentam maior teor de carbono nos anéis de crescimento, similar ao das árvores sem lianas, resultado da maior densidade do lenho dos anéis de crescimento.

Para as árvores de *Tectona grandis* obteve-se valor de biomassa de 200-863g, em um 1 cm de espessura no DAP do tronco (Figura 37A). Na figura 5, o efeito das lianas no acúmulo da biomassa nos anéis de crescimento anuais do período final do crescimento do tronco das árvores de *T. grandis* (Figura 37B) (período caracterizado pelo efeito prejudicial das lianas

ocupando a copa das árvores, vide Item 5.3.1), resultou em um incremento similar de biomassa em todo o período analisado, diferenciando-se somente nos últimos 3 anos (3 últimos anéis de crescimento) quando as árvores sem lianas apresentaram maiores incrementos (Figura 37B, C).

Ao longo da vida das árvores das 2 espécies houve oscilação da massa de carbono nos anéis de crescimento anuais (Figura 36C, 37C) demonstrado que a variação do teor de carbono depende da densidade e da largura dos anéis de crescimento. Nas árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* verificou-se que nos anéis de crescimento de maior largura, menor foi o teor de carbono, pela menor densidade do lenho dos anéis de crescimento na fase juvenil (Figura 36D). Nas árvores de *Tectona grandis* verificou-se uma pequena tendência de que a maior a largura do anel de crescimento implicou em maior acúmulo de carbono, em um ritmo de crescimento do tronco quase uniforme (ver Item 5.3.1, Figura 27A) indicando que a capacidade de acúmulo de carbono foi mais influenciada pela densidade do que pela largura do anel de crescimento anual (Figura 37D).

Essa metodologia foi aplicada por Bellote et al. (2011) na avaliação do crescimento de árvores de *Pinus taeda* com objetivo de desenvolver modelos matemáticos para estimar a quantidade de carbono acumulada nos anéis de crescimento das árvores. Os resultados mostraram que essa técnica é adequada para estimar o acúmulo de carbono no tronco das árvores de *P. taeda* sendo que, no entanto, não foi estabelecido um modelo matemático único para estimar o acúmulo anual de carbono no lenho das árvores.

Quanto ao efeito das lianas, Phillips et al. (2002) e Schnitzer e Bongers (2002) afirmaram que as lianas reduzem o estoque de carbono total da floresta pela interferência no sequestro de carbono no tronco e demais partes das árvores das espécies “hospedeiras”. Enfatize-se que o sequestro do carbono é um serviço ambiental que atende às importantes funções importantes de manutenção da camada de ozônio, regulação dos gases GEI (Gases Efeito Estufa) e balanço  $\text{CO}_2/\text{O}_2$ , etc (DE GROOT et al., 2002). As árvores que constituem os ecossistemas florestais manejados e em equilíbrio tem a capacidade de sequestrar maior quantidade de carbono/ano em relação a outros ecossistemas terrestres (DIXON et al., 1994) justificando a importância da avaliação de sequestro do carbono nesses ecossistemas (GALLOSO; GUERRA, 2005; PERI et al., 2010). Considerando que 60% do aquecimento global relacionam-se com o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera e, importante que as florestas tropicais constituam-se em significativo estoque de carbono, podendo funcionar

como dreno de carbono (CHAMBERS et al., 2001) representando, portanto, grande parte do carbono na forma de biomassa (GRACE et al., 2001; LISI et al., 2009).

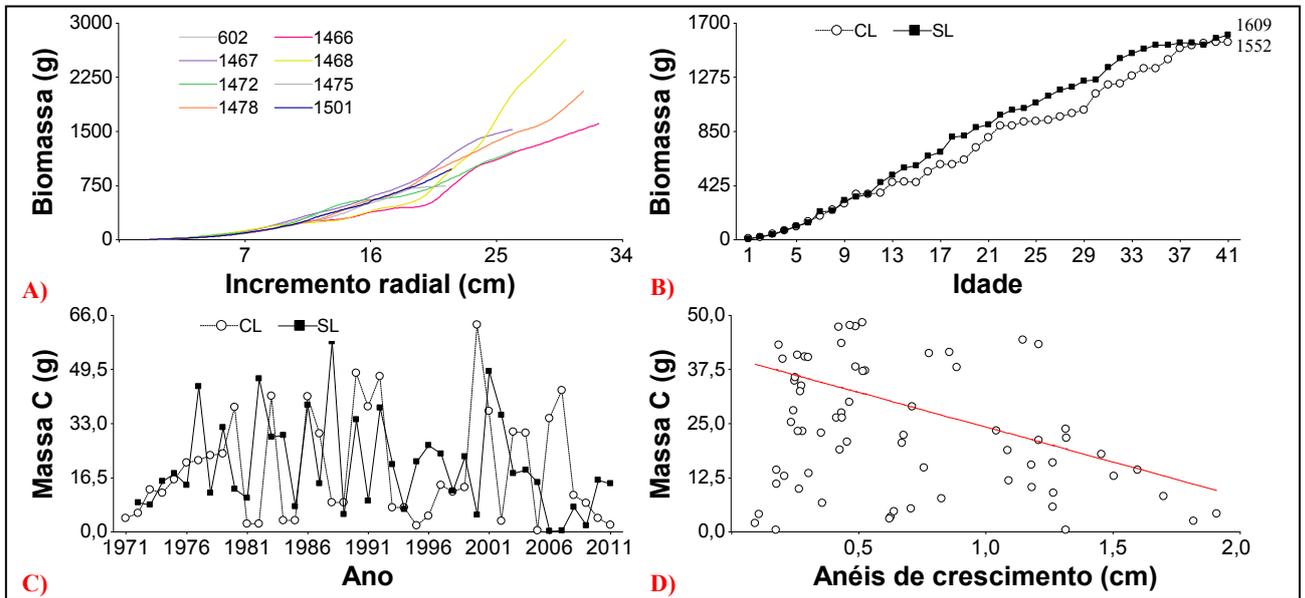


Figura 36 - Árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*: biomassa acumulada em relação ao raio (A) e com/sem lianas em relação à idade (B); massa de carbono/ano com/sem lianas (C); relação massa de carbono/largura anéis de crescimento (D)

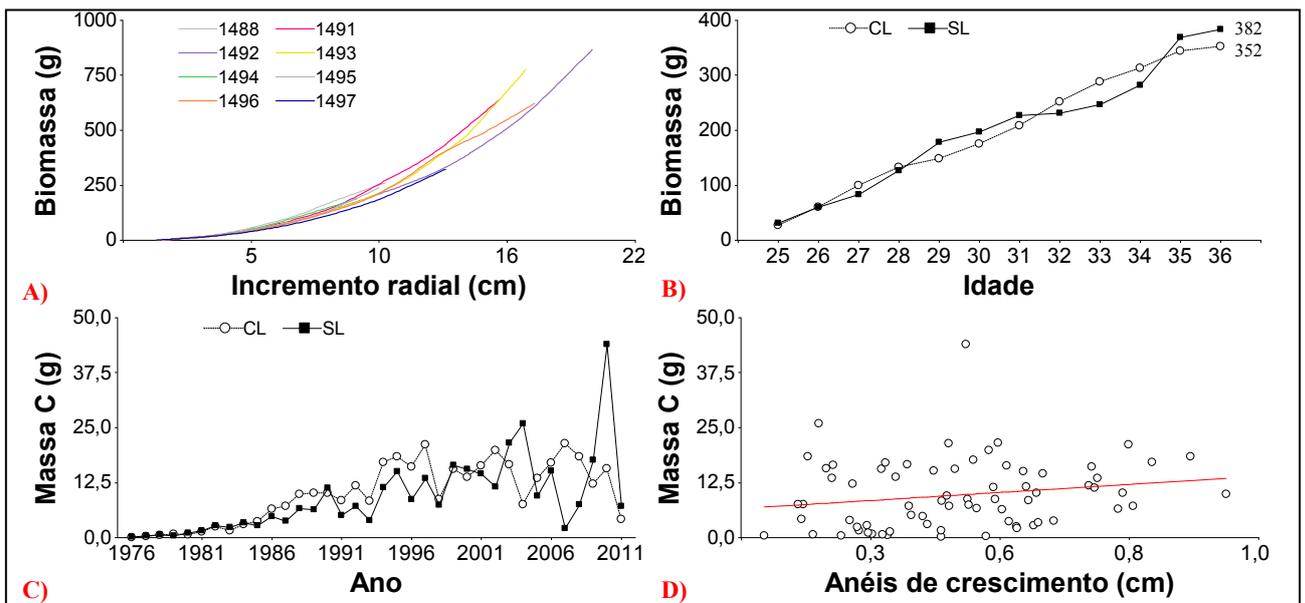


Figura 37 - Árvores de *Tectona grandis*: biomassa acumulada em relação ao raio (A) e com/sem lianas em relação à idade (B); massa de carbono/ano com/sem lianas (C); relação massa de carbono/largura anéis de crescimento (D)

## 5.5 Dendroclimatologia das árvores das espécies

A análise da resposta climática permitiu verificar a influência das variáveis ambientais no crescimento em diâmetro do tronco – ou nos anéis de crescimento anuais - das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Tectona grandis*, plantadas na Mata da Pedreira. Com a aplicação da regressão múltipla entre os índices cronológicos e a temperatura, precipitação, índices de aridez (SPI, PDSI e ISNA) e a influência do EL NIÑO (TNI e SOI) e oscilação antártica (AAO) foram obtidos os valores de coeficiente de correlação de Pearson para as árvores das 2 espécies.

### 5.5.1 Influência do clima local

O resultado da correlação do crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e a influência do clima - temperatura média, precipitação e índices de aridez -, da primavera (ano anterior de crescimento; setembro-novembro – SON) até o outono (ano corrente; março- maio – MAM) é apresentado nas Figuras 38 e 39.

Para as árvores de *Tectona grandis* houve uma correlação significativa positiva com a precipitação do verão do ano ocorrente do crescimento, período com maior pluviosidade na região (DJFa:  $r=0,53$ ,  $p=0,002$ ); caso haja a continuidade da precipitação nos meses seguintes ao verão haverá aumento do crescimento do tronco das árvores (MAMa:  $r=0,36$ ,  $p=0,03$ ); no entanto, houve correlação negativa da precipitação do outono anterior no crescimento (MAMa:  $r=-0,34$ ,  $p=0,04$ ). Para as árvores desta espécie, a temperatura tem uma correlação significativa com a primavera do ano ocorrente com o crescimento do tronco, indicando a ativação do meristema cambial pelo incremento da temperatura no período (SONa:  $r=0,37$ ,  $p=0,03$ ) (Figura 38A). Não foi encontrada correlação significativa entre a temperatura-precipitação e o crescimento do tronco das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Figura 38B).

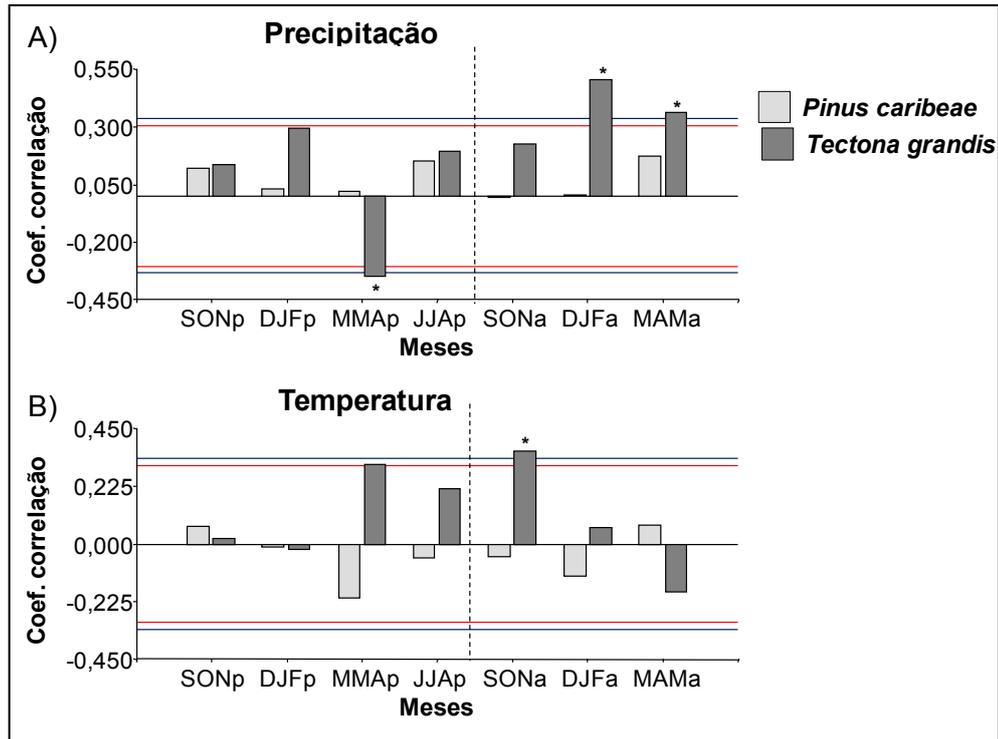


Figura 38 - Correlação da precipitação/temperatura com os anéis de crescimento de (A) *T. grandis* e (B) *P. caribaea* var. *hondurensis*. Linha vertical pontilhada: limite do crescimento prévio e atual (letras nos meses assinalam crescimento p=prévio; a=atual). Linhas horizontais: significância estatística, vermelha (*P. caribaea*) e azul (*T. grandis*). \*Período de meses com correlação significativa ( $p < 0,05$ )

O resultado da análise dendroclimatológica e os 3 índices de aridez indica uma influência significativa em relação ao crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis*. Por outro lado, em árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi encontrada correlação significativa do crescimento em diâmetros do tronco somente com 1 índice, o ISNA (JJAp:  $r=0,33$ ;  $p=0,048$ ), com os índices ISNA e PDSI não se correlacionando significativamente com a largura dos anéis de crescimento anuais (Figura 39).

Para árvores de *Tectona grandis* verificou-se uma correlação significativa do crescimento do seu tronco com os índices SPI, PDSI e ISNA no verão do ano ocorrente do crescimento (DJFa: SPI,  $r = 0,58$ ;  $p < 0,001$ ; PDSI,  $r = 0,43$ ;  $p = 0,031$ ; ISNA,  $r = 0,35$ ;  $p=0,046$ ) e com outono do ano do crescimento (MAMa: SPI,  $r=0,35$ ;  $p=0,045$ ; PDSI,  $r=0,64$ ;  $p=0,001$ ; ISNA,  $r=0,44$ ;  $p=0,010$ ). No entanto, o SPI e o ISNA (ISNA foi significativo mas, apresenta tendência) indicaram que essa condição favorável de disponibilidade de água no outono (ano prévio) influencia negativamente o crescimento do diâmetro das árvores (MAMp: SPI,  $r = -0,36$ ;  $p=0,035$ ; ISNA,  $r=-0,33$ ;  $p=0,060$ ) (Figura 39).

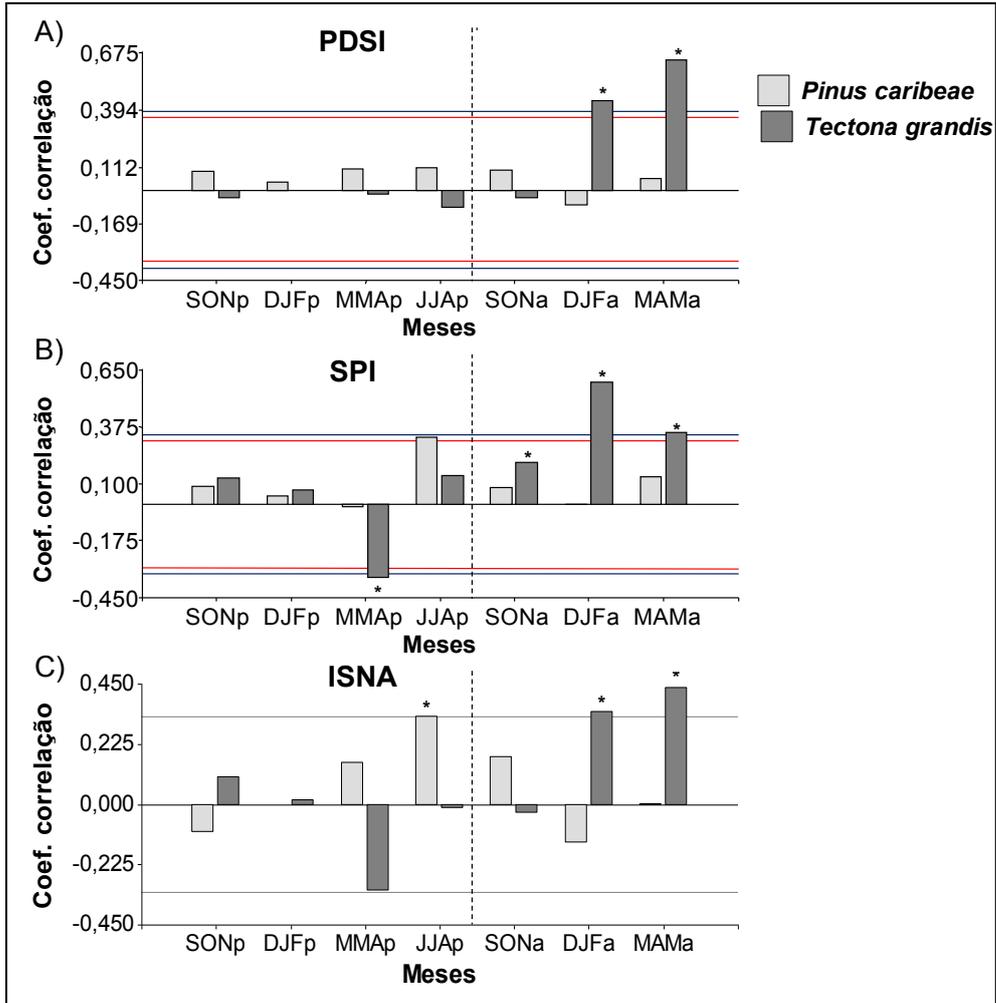


Figura 39 - Correlação dos índices de disponibilidade de água (PDSI, ISNA, ISNA) com os anéis de crescimento de (A) *T. grandis* e (B) *P. caribaea* var. *hondurensis*. Linha vertical pontilhada: limite do crescimento prévio e atual (letras nos meses assinalam crescimento p=prévio; a=atual). Linhas horizontais: significância estatística, (*P. caribaea*) e azul (*T. grandis*); no caso do ISNA a linha cinza: significância estatística 2 espécies.\*Período meses com correlação significativa

Para as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* só foi significativo o índice ISNA, com correlação com o crescimento do seu diâmetro no período de seca (junho, julho, agosto) antes do início do crescimento. Os resultados evidenciaram que a atividade cambial inicia-se antes nesta espécie de conífera, em comparação com a das árvores de *Tectona grandis*; além disso as árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* não necessitam de grande quantidade de água da precipitação para a reativação do crescimento (e atividade cambial), que ocorreu após as primeiras chuvas do ano ocorrente. Confirma-se, portanto, que as árvores dessas espécies podem ser utilizadas na reconstrução do ISNA para demarcar, principalmente, os anos secos (Figura 40).

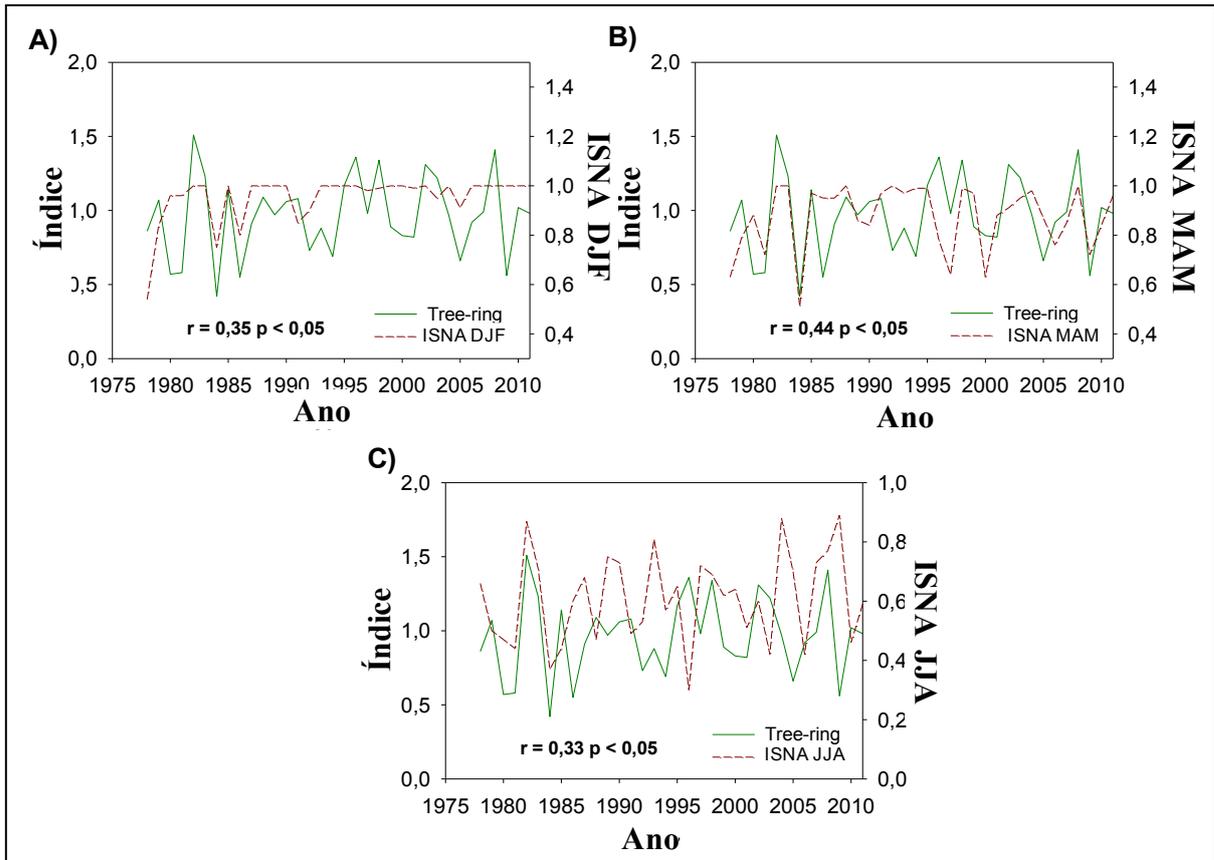


Figura 40 - Comparação do ISNA e índice dos anéis de crescimento no período significativo (Fig. 35) *Tectona grandis* (A,B), *Pinus caribaea var. hondurensis* (C)

Em análise dendroclimatológica em árvores de plantações de *Pinus caribaea*, na Nigéria, Olajide et al. (2010) encontraram que a largura dos anéis de crescimento anuais tem correlação significativa positiva com a temperatura e não com a precipitação e a umidade relativa do ar. No entanto, Worbes (1999) analisando a largura dos anéis de crescimento anuais de árvores da espécie, na Venezuela, observou uma correlação positiva significativa com a precipitação do período de seca (novembro-abril).

As árvores de *Tectona grandis* apresentaram correlação positiva, em relação ao crescimento em diâmetro do tronco, com o período de maior quantidade de chuva (verão), o que indica que a maior precipitação no verão resulta em maior crescimento das árvores. Além disso, caso haja boa disponibilidade de água no solo no outono do ano do crescimento (MAMa) verificou-se que as árvores prolongam o crescimento e reduzem a perdas das folhas (caducifólia) pela existência de condições favoráveis; no entanto, essa condição favorável da água no outono (ano prévio) influencia negativamente o crescimento das árvores, pela alteração da queda das folhas do período de crescimento anterior, afetando o próximo crescimento. Destaca-se que as árvores da espécie têm características de caducifólia como estratégia de reduzir a perda de água por transpiração no período da seca (CHAVES;

FONSECA, 1991), por isso o excesso de água no solo no outono anterior pode afetar negativamente o crescimento do tronco no período corrente, deduzindo-se que a perda das folhas pode-se retardar e induzir um desequilíbrio hormonal refletido no crescimento radial do tronco das árvores de teca. Essa dependência das árvores de diferentes espécies em florestas tropicais em relação às chuvas de verão tem sido relatada na literatura por inúmeros autores (PUMIJUMNONG et al., 1995; RAM et al., 2008; BORGAONKAR et al., 2011; D'ARRIGO et al., 2011b; DEEPAK et al., 2010).

Ao analisar os índices de crescimento das do tronco das árvores das duas espécies em relação à declividade do terreno e os índices de aridez (Figura 41), observa-se uma influencia direta do clima sobre o crescimento radial do tronco. Note-se que, nas três classes de declividade, os anéis de crescimento das árvores de *Tectona grandis* apresentaram correlação significativa com o período de maior precipitação na sessão de crescimento (dezembro a maio). As árvores de teca situadas em declividade alta (> 25%) mostraram-se diretamente dependentes da disponibilidade de água, antes ou durante a estação de crescimento, sugerindo que as árvores que crescem nas encostas mais íngremes são afetadas pela menor retenção de água no solo devido ao maior escoamento de água, com o aumento das chuvas favorecendo o crescimento da árvore. Enquanto que, para as árvores de *Pinus caribaea* var *hondurensis*, foi observado no período seco (junho, julho e agosto), antes do início do crescimento, com o destaque de somente o índice ISNA mostrar resultado significativo. Indica-se que as árvores da espécie apresentam maior potencial de crescimento do tronco nas áreas mais planas, com a variação de crescimento mais importante relacionada à disponibilidade de água na estação seca.

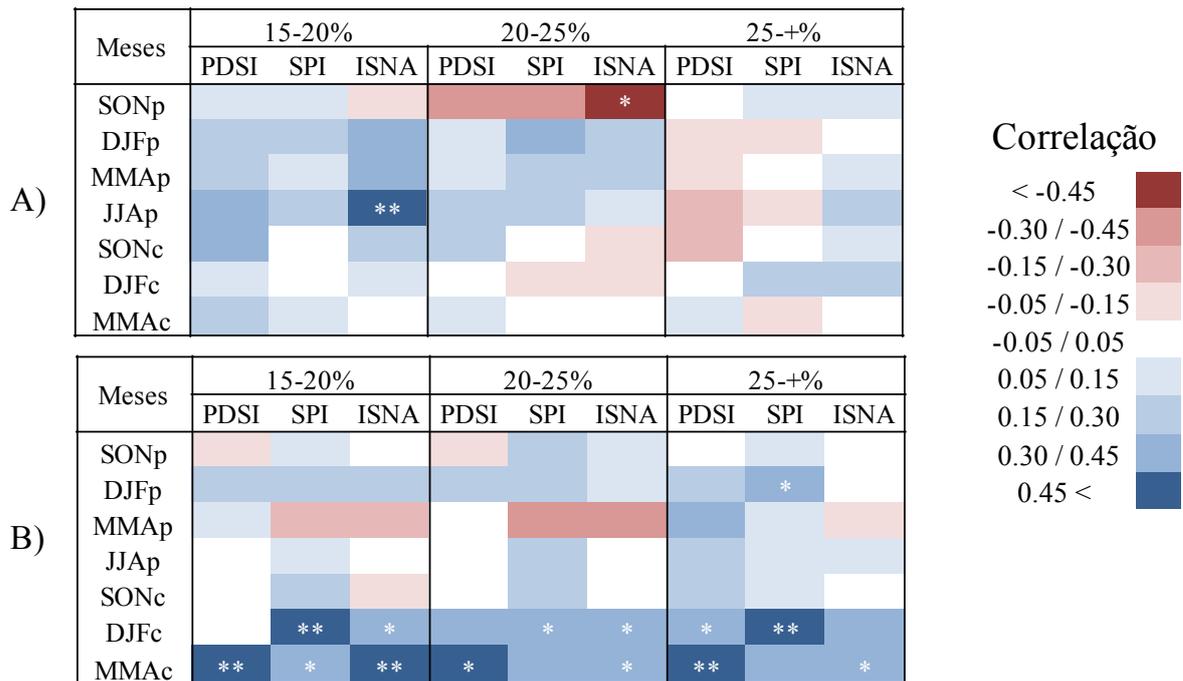


Figura 41 - Correlação dos índices com os anéis de crescimento das árvores de acordo a declividade do terreno. (A) *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; (B) *Tectona grandis*. Letras nos meses assinalam tipo de crescimento p=prévio e a=atual. \* Correlação significativa  $p < 0,05$ ; \*\* correlação significativa  $p < 0,01$ .

Muitos autores destacam a importância da floresta natural em relação à declividade do terreno, pelo efeito de proteção e estabilização do solo e dos recursos hídricos, regulando o processo erosivo e prevenindo o movimento de massa (como o deslizamento superficial do solo em ladeira) com a diminuição do escoamento considerada como principal vantagem (CONSTANZA et al., 1997; LIMA, 2005; HUBER et al., 2008; LARA et al., 2009). Da mesma forma, a vegetação interfere no teor de umidade do solo, principalmente, pela alteração da evapotranspiração (GRAY; LEISER, 1982). Neste caso, a menor produtividade volumétrica das árvores nesta condição e a importância da proteção do solo nas áreas declivosas recomendam a manutenção da vegetação nativa.

### 5.5.2 Influência do clima a grande escala

A comparação entre a cronologia residual das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e os índices do El Niño mostra a existência de correlação significativa somente com TNI. Este índice - TNI - é determinado pela diferença das anomalias normalizadas de temperatura da superfície do mar (TSM) entre a região 1+2 (Niño

1+2) e região 4 (Niño 4) (TRENBERTH; STEPANIAK, 2001). Neste contexto, observa-se redução do crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis* com o aumento do TNI, antes do período do crescimento (MAMp é significativa; DJPp e JJAap tendem à significância) (Figura 42A). A associação do crescimento radial do tronco das árvores de teca e anomalias da Temperatura Superficial do Mar (TSM), aplicando TNI, é negativa – significando que quando a TSM do El Niño 1+2 é maior que a TSM do El Niño 4, o crescimento do tronco das árvores de teca será menor. O índice SOI não mostrou correlação significativa no crescimento do tronco das árvores das 2 espécies (Figura 42).

Muitos autores assinalam que o sinal do evento ENSO é débil na região do sudeste do Brasil, por ser uma região de transição caracterizada por anomalias de chuva com sinais opostos, definindo a fronteira entre a condição seca do Nordeste e chuvosa do Sul do Brasil (GRIMM; FERRAZ, 1998; COELHO et al., 2002). No entanto observa-se, pelo resultado do presente trabalho, um efeito negativo no crescimento do tronco das árvores com o aumento dos valores mensais de TNI (Figura 42B). No Brasil, o sinal forte do evento do ENSO ocorre no Rio Grande do Sul, norte do Nordeste e sudoeste da Amazônia (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; GRIMM et al., 1998), sendo que na região sudeste do Brasil só aparece em eventos fortes como o da La Niña de 1924/25 (seca intensa) e o El Niño de 1982/82 (chuva intensa) (SANSIGOLO, 2012).

A relação positiva significativa do crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis* com os valores de AAO no período atual de crescimento de março a abril (Figura 42C) indica que, durante a fase positiva de AAO nos meses MAMa, ocorre uma indução do crescimento em diâmetro das árvores influenciada, principalmente, por um aumento da precipitação no período chuvoso do verão e, possivelmente, pelo aumento do período de chuva até o outono. As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* mostram uma tendência, embora não significativa, da fase positiva de AAO de março a agosto (antes do início do crescimento) influenciar positivamente no crescimento radial do seu tronco.

O resultado da relação de AAO com o crescimento radial do tronco das árvores é diferente do relatado para as árvores da Patagônia, Argentina, onde se observa um efeito negativo do crescimento radial do seu tronco, na fase positiva de AAO (BONINSEGNA et al., 2009; MUNDO et al., 2012) associado, principalmente, pela diminuição da precipitação com os valores positivos de AAO (ARAVENA; LUCKMAN, 2009).

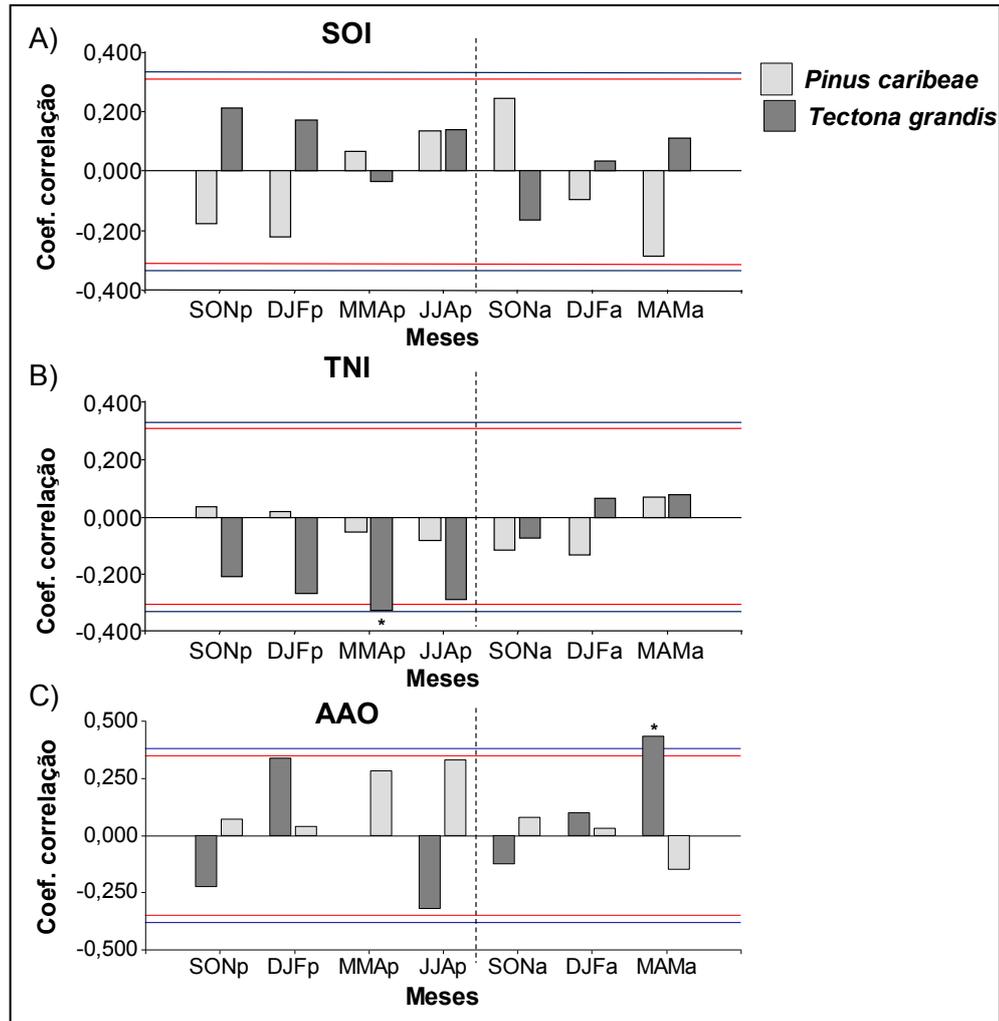


Figura 42 - Correlação dos índices de evento de El Niño (ENSO) SOI e TNI com os anéis de crescimento das árvores de *Tectona grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Linha vertical pontilhada=limite entre o crescimento prévio e atual (letras nos meses assinalam tipo de crescimento p=prévio e a=atual; linhas horizontais indicam significância estatística, vermelha (*P. caribaea* var. *hondurensis*) e azul (*T. grandis*). \*Período de meses com correlação significativa

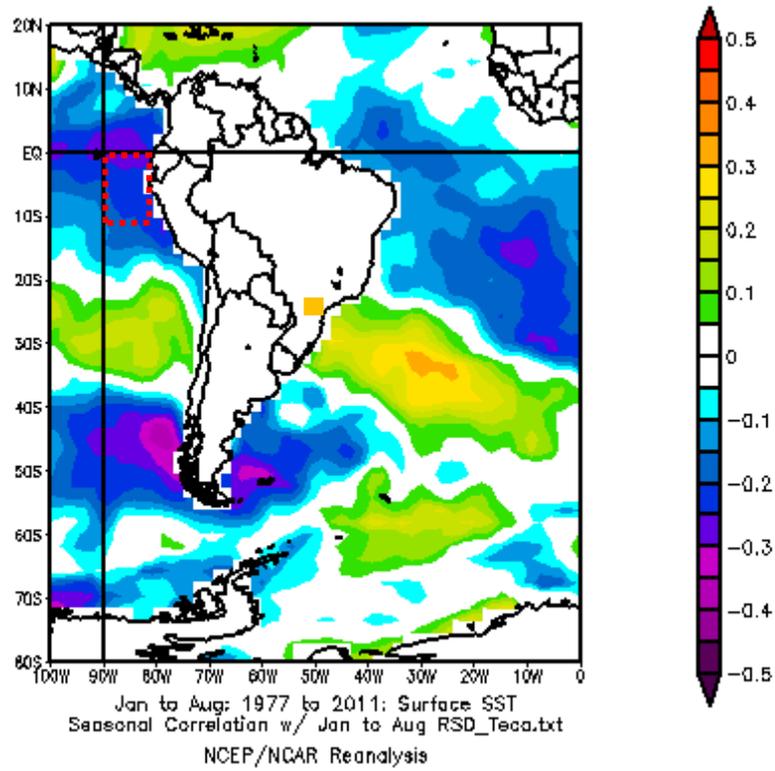
Existe um incremento da temperatura média anual nas últimas décadas associado aos valores positivos da AAO (GARREAUD et al., 2009), sendo que assinalam uma diminuição da precipitação na fase positiva da AAO. Marshall e Connolley (2006) demonstraram que um aumento da temperatura da superfície da água do mar nas altas latitudes do Hemisfério Sul provoca o aquecimento da atmosfera e, pelos processos termodinâmicos, ocasiona o levantamento do centro de massa da atmosfera e aumento da altura geopotencial gerando, assim, índices mais negativos da AAO.

A correlação espacial da cronologia regional das árvores de *Tectona grandis*, temperatura da água da superfície do mar e a altura geopotencial (850 hPa) para área 20N-80S/0-100W foi estimada. De acordo com a relação significativa do crescimento do tronco

das árvores de teca e o TNI e AAO, registraram-se a temperatura da água da superfície do mar e a altura geopotencial de janeiro-agosto do ano prévio e março-maio do ano corrente, respectivamente (Figura 42), sendo feita a análise para as árvores desta espécie pela significância observada nesse período (Figura 43).

Desta forma, o crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis*, a nível regional, é favorecido pelas anomalias da TSM da região Niño 1+2 e no atlântico sudeste encontram-se abaixo e acima da média, respectivamente, durante a estação do crescimento anterior e baixas alturas geopotenciais sobre a Antártica no outono atual. Como a pressão atmosférica e a altura geopotencial se relacionam positivamente, um aumento da altura geopotencial significa, também, um aumento na pressão (GARREAUD et al., 2009) neste caso na Antártida, pelo que a maior pressão nesta região significa uma fase positiva da AAO e, portanto, uma correlação positiva com a cronologia de *Tectona grandis*, em Piracicaba-SP.

A)



B)

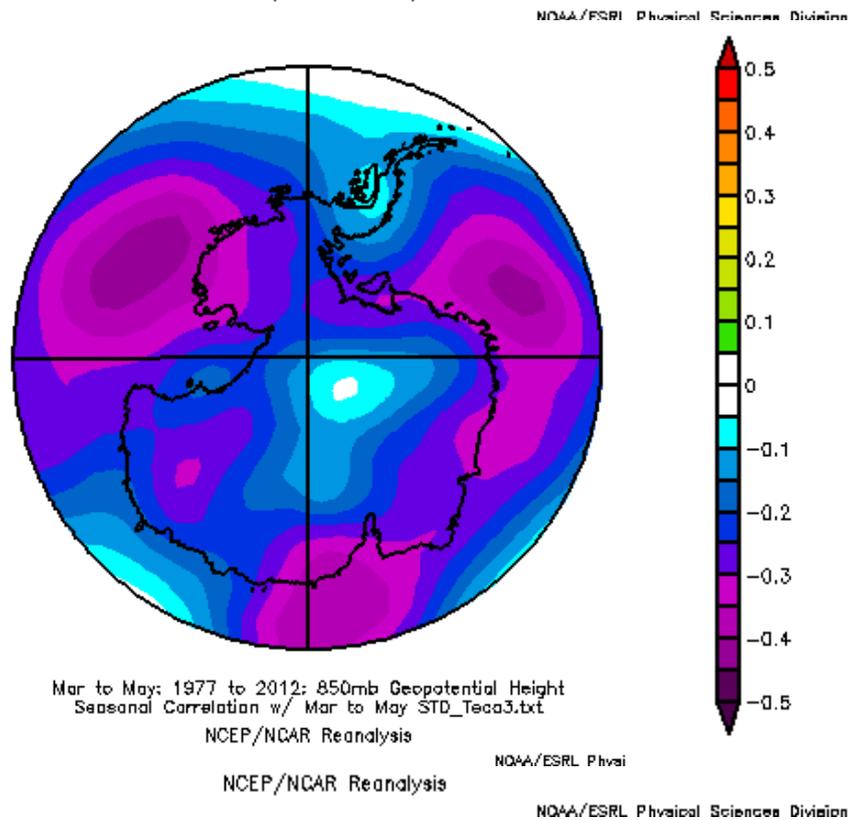


Figura 43 - Padrões da correlação espacial entre a cronologia residual (A) temperatura da superfície do mar (TSM) no período janeiro-agosto prévio do crescimento de 1977-2011; (B) altura geopotencial 850 HPa de março-maio corrente do crescimento de 1978-2012. Coloração alaranjada corresponde à área de estudo. Área com linhas vermelhas pontilhadas: região do Niño 1+2

## 5.6 Análise dos vasos no lenho das árvores de *Tectona grandis*

### 5.6.1 Efeito das lianas nas dimensões dos vasos no lenho das árvores

No período de 1978-2011 foram analisados 16.393 vasos no lenho de 8 árvores de 12 amostras de *Tectona grandis*. A distribuição da frequência dos vasos demonstra que estão na classe de 8,7-16,7 (x 1000  $\mu\text{m}^2$ ) com a média de 20,2 (x 1000  $\mu\text{m}^2$ ), podendo estar influenciada pelos valores máximos, embora menos frequentes (Figura 44). O valor médio dos vasos é similar ao relatado por Cardoso et al. (2009) que mencionam 16,7 (x 1000  $\mu\text{m}^2$ ) no lenho de árvores de *Tectona grandis*.

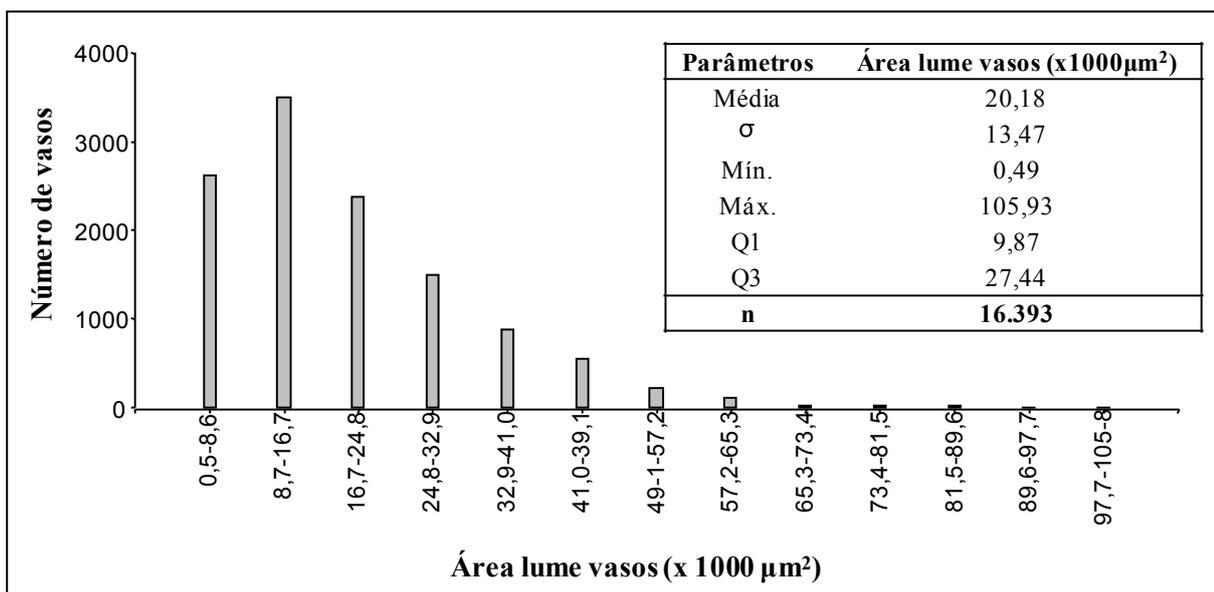


Figura 44 - Distribuição da frequência dos vasos no lenho das árvores de *Tectona grandis*, com a tabela indicativa dos parâmetros estatísticos

No Item 5.3 observa-se o efeito negativo das lianas no crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis* representado pela redução da largura dos anéis de crescimento anuais nos últimos 12 anos (2000-11). Por essa razão, a análise da influência das lianas no lenho das árvores foi realizada neste período, pela determinação da área de vasos nas 6 variáveis: AT: Área média/total de vasos; ALI: Área média dos vasos/lenho inicial; AIL: Área média dos vasos/1ª linha lenho inicial; ALT: Área média/vasos lenho tardio; ATr: Área média dos vasos/transição lenho inicial-tardio; Freq: Frequência dos vasos.

Os resultados da análise estatístico mostraram que, para as variáveis AT, ALI, ALT e ATr, existem diferenças significativas entre as árvores com e sem presença de lianas no período avaliado (AT:  $p < 0,001$ ; ALI:  $p = 0,02$ ; ALT:  $p < 0,001$ ; ATr:  $p < 0,001$ ; Frequência:  $p = 0,01$ ); sendo que as árvores de teca com lianas apresentaram valor médio de AT, ALI, ALT

e ATr maior de 30,5, 10,3, 29,0 e 34,9%, respectivamente, em relação às árvores de teca sem lianas. Em relação ao período (anos) observaram-se diferenças significativas do valor médio de ALI, A1L e de ATr e os anos do período avaliado (2000-11) (ALI:  $p=0,002$ ; A1L:  $p=0,013$ ; ATr:  $p=0,015$ ) revelando no ano 2002 um aumento significativo das variáveis ALI e A1L de 26,8 e 27,6%, respectivamente, em comparação com a média dos demais anos. Para a variável ATr observou-se no ano 2004 um incremento significativo 44% maior em comparação com a média dos demais anos (Tabela 9).

A análise da influência das lianas no lenho das árvores de teca para os vasos/ano verificou-se que as árvores com lianas apresentaram maior valor significativo de AT e ATr no ano 2001, 2002, 2003, 2004, 2006, 2007, e em ALI no ano 2000; para a frequência dos vasos no lenho das árvores observou-se maior frequência nas árvores lianas nos últimos anos (a exceção de 2011) destacando a significância no ano 2007 e 2010 (Tabela 9, Apêndice C).

Das 5 variáveis que avaliaram a área de vasos no lenho das árvores, 4 (AT, ALI, ALT, ATr) foram significativas quanto à influência das lianas, sendo que as árvores com lianas apresentaram maior valor médio para essa variável. Para compreender o significado dos resultados é importante destacar a função dos vasos no equilíbrio da eficiência e da segurança na condução hidráulica (ZIMMERMANN, 1983), com vasos de menor diâmetro privilegiando a segurança; os de maior diâmetro mais eficientes na condução hidráulica (LOCOSELLI et al., 2013).

Este resultado comprova a hipótese formulada de que as árvores de teca apresentam no seu lenho diferença na área ocupada pelos vasos, em resposta à ocupação de suas copas pelas lianas – com as árvores formando vasos maiores para propiciar maior condução hidráulica e compensar o efeito prejudicial no crescimento em diâmetro do seu tronco.

As árvores com a copa ocupada pelas lianas têm menor área foliar e menor taxa de fotossíntese, produzindo menor quantidade de hormônios de crescimento, com as auxinas que têm importante papel importante na ativação e divisão das células do câmbio (SCARPELLA; MEIJER, 2004). As lianas exercem um peso adicional no tronco e copa das árvores, principalmente quando desenvolvidas e lignificadas, afetando o normal desenvolvimento do tronco e a atividade cambial (ENGEL et al., 1998). Neste contexto, as células cambiais possuem pressão mais elevada, portanto, maior pressão de turgor, afetando a plasticidade celular e a composição das pectinas, formando vasos de maior diâmetro (MELLEROWICZ et

al., 2001). As análises no lenho árvores de folhosas indicam que as alterações na quantidade e composição de pectinas têm um importante papel na expansão celular radial (CATESSON; ROLAND, 1981; BARNETT, 1992).

Tabela 9 - Área média  $\pm$  desvio padrão das variáveis dos vasos no lenho das árvores de *Tectona grandis* com e sem lianas (período: 2000-11)

Ano	AT <sup>1</sup>		ALI <sup>1</sup>		ALT <sup>1</sup>	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
2000	23,1 $\pm$ 5,3	18,1 $\pm$ 3,7	<b>38,6 <math>\pm</math> 4,3**</b>	28,4 $\pm$ 7,7	6,2 $\pm$ 3,3	5,5 $\pm$ 0,7
2001	<b>22,7 <math>\pm</math> 3,8**</b>	17,1 $\pm$ 2,1	39,3 $\pm$ 8,4	32,7 $\pm$ 3,6	6,3 $\pm$ 3,3	5,0 $\pm$ 1,7
2002	<b>24,8 <math>\pm</math> 4,3**</b>	17,1 $\pm$ 2,6	46,8 $\pm$ 9,9	45,2 $\pm$ 8,6	6,6 $\pm$ 3,3	5,9 $\pm$ 1,2
2003	<b>23,1 <math>\pm</math> 1,8**</b>	16,9 $\pm$ 1,3	35,1 $\pm$ 8,2	31,6 $\pm$ 2,8	9,8 $\pm$ 9,0	6,5 $\pm$ 1,5
2004	<b>28,6 <math>\pm</math> 3,3**</b>	23,8 $\pm$ 1,4	31,1 $\pm$ 4,9	32,5 $\pm$ 5,2	9,7 $\pm$ 5,2	6,6 $\pm$ 1,8
2005	23,9 $\pm$ 5,7	18,1 $\pm$ 2,4	37,5 $\pm$ 10,0	31,9 $\pm$ 8,5	6,6 $\pm$ 3,4	5,0 $\pm$ 1,2
2006	<b>24,7 <math>\pm</math> 2,8**</b>	16,5 $\pm$ 4,4	39,5 $\pm$ 10,7	35,2 $\pm$ 8,5	7,6 $\pm$ 3,2	5,1 $\pm$ 2,3
2007	<b>25,6 <math>\pm</math> 4,6**</b>	18,6 $\pm$ 5,4	41,1 $\pm$ 4,5	40,8 $\pm$ 5,5	8,3 $\pm$ 1,8	5,5 $\pm$ 2,0
2008	<b>24,8 <math>\pm</math> 2,8**</b>	19,9 $\pm$ 4,6	32,2 $\pm$ 7,1	30,0 $\pm$ 8,1	8,1 $\pm$ 2,5	8,9 $\pm$ 7,6
2009	24,4 $\pm$ 3,1	19,7 $\pm$ 4,6	45,7 $\pm$ 9,2	41,8 $\pm$ 21,9	7,6 $\pm$ 2,3	5,1 $\pm$ 2,6
2010	25,0 $\pm$ 4,8	21,7 $\pm$ 5,9	43,4 $\pm$ 11,8	40,2 $\pm$ 22,5	6,8 $\pm$ 2,1	6,2 $\pm$ 3,3
2011	29,1 $\pm$ 3,5	21,8 $\pm$ 8,7	36,6 $\pm$ 15,2	33,8 $\pm$ 20,7	7,4 $\pm$ 3,6	5,8 $\pm$ 1,2
	<b>25,0 <math>\pm</math> 4,7**</b>	19,5 $\pm$ 4,7	<b>39,0 <math>\pm</math> 8,6**</b>	35,1 $\pm$ 8,2	<b>7,6 <math>\pm</math> 3,2*</b>	5,9 $\pm$ 2,4

Ano	AIL <sup>1</sup>		ATr <sup>1</sup>		Freq <sup>2</sup>	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
2000	41,9 $\pm$ 10,4	30,4 $\pm$ 11,5	19,1 $\pm$ 4,4	16,9 $\pm$ 3,2	46,6 $\pm$ 40,8	42,2 $\pm$ 12,6
2001	37,6 $\pm$ 9,8	37,3 $\pm$ 15,8	<b>20,7 <math>\pm</math> 3,9*</b>	15,8 $\pm$ 3,1	65,5 $\pm$ 54,6	53,2 $\pm$ 15,0
2002	49,1 $\pm$ 10,9	46,9 $\pm$ 14,9	<b>22,3 <math>\pm</math> 3,4*</b>	14,2 $\pm$ 1,1	58,0 $\pm$ 47,1	55,6 $\pm$ 6,6
2003	37,2 $\pm$ 12,0	34,9 $\pm$ 4,7	<b>23,2 <math>\pm</math> 7,3*</b>	14,5 $\pm$ 0,9	52,8 $\pm$ 28,1	42,8 $\pm$ 21,1
2004	31,1 $\pm$ 8,0	33,5 $\pm$ 6,8	<b>31,8 <math>\pm</math> 5,4*</b>	22,8 $\pm$ 2,3	28,2 $\pm$ 15,9	29,0 $\pm$ 6,9
2005	38,5 $\pm$ 13,7	38,8 $\pm$ 3,4	21,1 $\pm$ 6,1	16,2 $\pm$ 2,5	30,8 $\pm$ 12,5	50,0 $\pm$ 14,1
2006	38,1 $\pm$ 12,6	40,4 $\pm$ 10,4	<b>22,9 <math>\pm</math> 3,7*</b>	14,5 $\pm$ 2,2	35,4 $\pm$ 21,2	50,6 $\pm$ 24,2
2007	43,9 $\pm$ 5,4	39,7 $\pm$ 6,2	<b>22,1 <math>\pm</math> 4,7*</b>	16,1 $\pm$ 4,1	38,4 $\pm$ 18,0	<b>64,0 <math>\pm</math> 22,5*</b>
2008	24,6 $\pm$ 6,7	32,1 $\pm$ 11,1	<b>24,4 <math>\pm</math> 6,7*</b>	15,2 $\pm$ 4,0	30,7 $\pm$ 18,1	31,3 $\pm$ 7,8
2009	47,6 $\pm$ 13,4	44,2 $\pm$ 26,6	19,1 $\pm$ 1,9	17,1 $\pm$ 7,9	34,6 $\pm$ 22,6	51,5 $\pm$ 15,1
2010	41,6 $\pm$ 17,8	43,6 $\pm$ 24,8	20,5 $\pm$ 3,9	18,8 $\pm$ 8,2	24,0 $\pm$ 18,5	<b>55,0 <math>\pm</math> 4,0*</b>
2011	29,1 $\pm$ 19,8	33,6 $\pm$ 20,0	23,2 $\pm$ 4,2	18,7 $\pm$ 6,8	33,6 $\pm$ 21,9	33,8 $\pm$ 14,1
	38,7 $\pm$ 6,9	37,7 $\pm$ 5,2	<b>22,5 <math>\pm</math> 6,1*</b>	16,7 $\pm$ 4,1	39,6 $\pm$ 12,3	<b>46,4 <math>\pm</math> 18,1*</b>

AT: Área média do total de vasos; ALI: Área média dos vasos/lenho inicial; AIL: Área média dos vasos/1ª linha do lenho inicial; ALT: Área média dos vasos/lenho tardio; ATr: Área média dos vasos/transição lenho inicial-tardio; Freq: Frequência dos vasos; Larg: Largura dos anéis do crescimento; \*Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ ); \*\*Dif. sign. Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>1</sup>Valores em  $10^3 \mu\text{m}^2$ ; <sup>2</sup>Valor unitário

O crescimento das árvores é controlado pelo equilíbrio hídrico que, por sua vez, é influenciado pela absorção e transpiração de água, que são processos fisiológicos condicionados pelo teor de umidade do solo e pelas condições atmosféricas (ANGELOCCI et al., 2004). A ocupação da copa das árvores de teca pelas lianas induz maior taxa de transpiração das

árvores maior pressão hidráulica sobre os elementos de vaso, refletindo no aumento do seu diâmetro. O efeito negativo da ocupação da copa das árvores de teca pelas lianas, pode ser considerado como direto (redução da copa, massa adicional, etc.) e indiretos (aumento do diâmetro dos vasos, não na frequência – razão dos anéis de crescimento das árvores sem lianas serem mais largos, Item 5.3.1). Além disso, as árvores de teca com lianas apresentam correlação negativa entre o crescimento radial do tronco e a temperatura dos meses mais quentes, pela maior taxa de evapotranspiração no período (Item 5.4.2) e, em consequência, pela formação de vasos de maior diâmetro no seu lenho.

### **5.6.2 Correlação das variáveis climáticas e os vasos no lenho das árvores**

Na análise dos componentes principais (PCA) das variáveis dos elementos de vasos e da largura dos anéis de crescimento anuais do lenho de 8 árvores de teca referente ao período comum de 1978-2011 (sem diferenciar as árvores com e sem lianas), observa-se que os 2 componentes principais multivariados representam 74% da variabilidade total (PC1=39,7; PC2=34,3%) (Figura 45). O 1º componente indica que as variáveis mais importantes são a área média dos vasos/lenho inicial (ALI) e a área média dos vasos/1ª linha do lenho inicial (A1L), enquanto para o 2º componente é composto pela frequência dos vasos e a largura dos anéis de crescimento anuais (Tabela 10).

O PCA evidenciou a existência de 3 grupos de variáveis mais correlacionadas, sendo (i) AT-ATr, demonstra que a área média dos vasos de 1 anel de crescimento pode ser representada pela área média dos vasos localizados entre os lenhos inicial e tardio, (ii) ALI-A1L, evidencia que a área média dos vasos do lenho inicial está correlacionada positivamente com os vasos da 1ª linha do lenho inicial (vasos envolvidos pelas células do parênquima axial) e (iii) frequência-largura, confirma a relação do número de vasos/largura dos anéis de crescimento anuais (Figura 45).

Tabela 10 - Contribuição das variáveis no PCA (autovectores) das variáveis dos vasos/largura dos anéis de crescimento do lenho de *Tectona grandis* (período:1978-2011)

Variáveis	e 1	e 2
AT	0,346	-0,486
ALI	0,554	-0,020
ALT	-0,135	0,086
A1L	0,556	0,050
Atr	0,280	-0,455
FR	0,223	0,558
LAR	0,343	0,485

AT: Área média do total de vasos; ALI: Área média dos vasos/lenho inicial; A1L: Área média dos vasos/1ª linha do lenho inicial; ALT: Área média dos vasos/lenho tardio; ATr: Área média dos vasos/transição lenho inicial-tardio; Freq: Frequência dos vasos; Larg: Largura dos anéis do crescimento

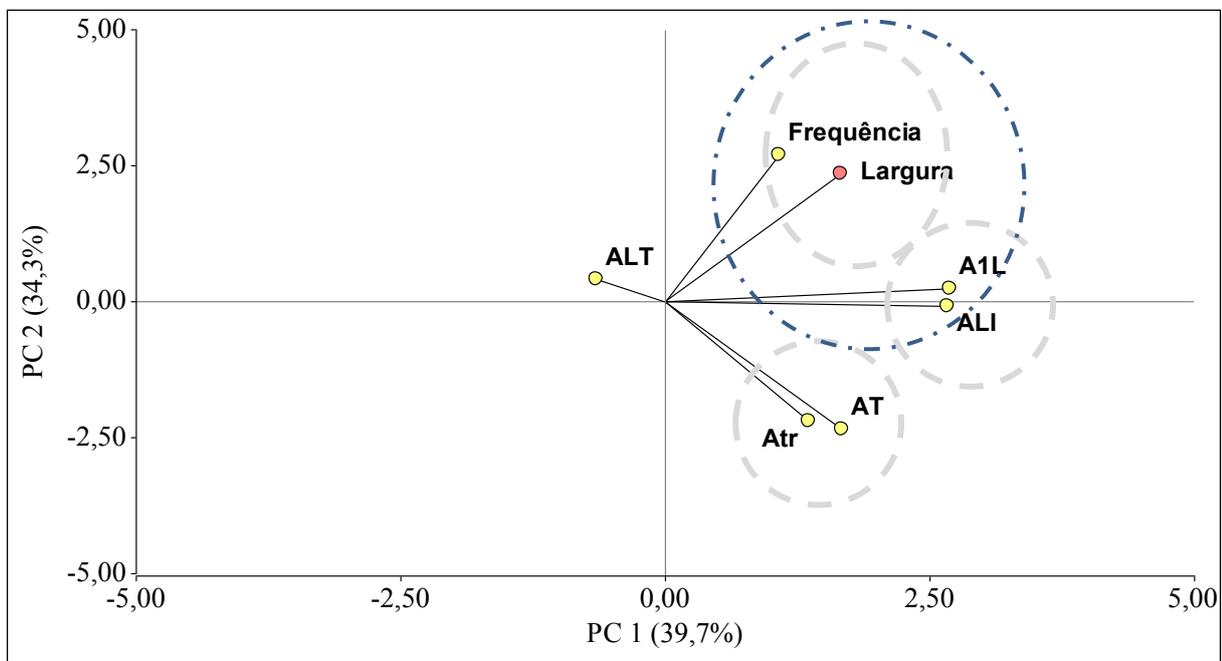


Figura 45 - Representação das variáveis no PCA dos vasos/largura dos anéis de crescimento do lenho de *Tectona grandis* (elipses representam: maior relação das variáveis)

O resultado da correlação das variáveis (Tabela 11) indica que a largura dos anéis de crescimento anuais correlaciona-se positiva e significativamente com a área média dos vasos/lenho inicial (ALI,  $r=0,420$ ,  $p=0,013$ ), área média vasos/1ª linha do crescimento (A1L,  $r=0,491$ ,  $p=0,003$ ) e a frequência/vasos (Freq,  $r=0,293$ ,  $p<0,001$ ). Observa-se, além disso, uma correlação positiva significativa entre a média da área total/vasos (AT), área média vasos/lenho inicial (ALI,  $r=0,521$ ,  $p=0,002$ ) e área média vasos/transição lenho inicial-tardio (ATr,  $r=0,868$ ,  $p<0,001$ ) e entre ALI e A1L ( $r=0,921$ ,  $p<0,001$ ). Neste contexto, Giantomasi et al. (2008) conseguiram altas correlações altas entre a largura dos anéis de crescimento e a frequência dos vasos ( $r=0,76$ ) e a média da área total/vasos ( $r=0,80$ ) no período de 65 anos.

Como as variáveis ALI, A1L e a frequência de vasos apresentaram correlações estatisticamente significativas com a largura dos anéis de crescimento (embora ALI e A1L, com menor coeficiente de correlação) foram correlacionadas com os valores de precipitação e temperatura coletados no Posto Meteorológico da ESALQ, no período comum (1978-2011).

As séries das variáveis ALI, A1L, frequência dos vasos e largura dos anéis de crescimento anuais foram padronizadas com o software ARSTAN, resultando em aumento da correlação entre as variáveis (Tabela 12, comparada com a Tabela 11) onde a relação entre as variáveis apresentou correlação significativa positiva (sem a padronização não houve significância estatística entre a frequência dos vasos e ALI e A1L). Destaca-se que a correlação entre a largura do anel de crescimento anual e ALI aumentou em 10%, aproximadamente, em termos do coeficiente de correlação.

Foram construídas cronologias da área média vasos/lenho inicial (ALI), área média vasos 1ª linha/lenho inicial (A1L) e frequência dos vasos (Figura 46). As médias de ALI e de A1L foram de 35,3 e de 37,1  $\times 10^3 \mu\text{m}^2$ , respectivamente; frequência dos vasos e largura dos anéis de crescimento anuais foi de 49,5 vasos/anel de crescimento e 5,4 mm, respectivamente. Nessas 2 últimas variáveis nota-se um alto desvio padrão devido às oscilações da largura dos anéis de crescimento, maiores no início do crescimento do tronco das árvores (Tabela 13).

Observa-se que a única cronologia com inter-correlação significativa é a da largura do anel de crescimento anual indicando que, portanto, esse parâmetro foi o ideal para a construção das cronologias das árvores de *Tectona grandis*. Destaca-se, no entanto, que a frequência dos vasos está no limite para se constituir em cronologia significativa (Tabela 13) devido, provavelmente, a maior variabilidade do tamanho dos vasos em relação à largura dos anéis de crescimento anuais (FONTI; GARCÍA-GONZÁLEZ, 2004; FONTI et al., 2007), que tem uma característica de semi-porosidade.

Verifica-se (Tabela 13) que todas as variáveis (exceto ALI) têm sensibilidade média acima de 0,30 (GRISSINO-MAYER, 2001), indicando que as árvores de *Tectona grandis* respondem às variações das condições ambientais referentes aos parâmetros ALI, A1L e a frequência de vasos, variações que são evidentes no lenho de somente algumas árvores. A sensibilidade média maior para a largura dos anéis de crescimento foi relatada em outros estudos (PUMIJUMNONG; PARK, 1999; FONTI; GARCÍA-GONZÁLEZ, 2004; TARDIF; CONCIATORI, 2006).

Muitos autores indicam que as características anatômicas do lenho (área e diâmetro de dos vasos, parênquima, fibras, etc) podem ser aplicadas na relação com a fisiologia das árvores e com os parâmetros ambientais (WIMMER, 2002; ECKSTEIN, 2004; FONTI et al., 2010). Neste caso, o valor da área dos vasos no processo de formação do lenho das árvores é resultado da complexa interação dos fatores fisiológicos internos das plantas, regulados pelo ambiente (FONTI et al., 2007). Por esta razão, a análise dendroclimatológica das variáveis que se correlacionaram positivamente com a largura dos anéis de crescimento anuais (ALI, A1L, frequência dos vasos) e as variáveis climáticas (Figura 47) representadas pela temperatura e precipitação no período mais significativo da análise climatológica com os anéis de crescimento (temperatura: setembro, outubro, novembro; precipitação: dezembro, janeiro, fevereiro, do ano corrente de crescimento das árvores) (Item 5.5, Figura 38).

Verificou-se, ainda, que todas as variáveis analisadas apresentam correlação positiva significativa com a temperatura média de setembro, outubro e novembro do ano corrente, destacando que ALI é a variável de menor correlação e sua significância está no limite (A1L e frequências dos vasos  $p < 0,05$ , enquanto ALI  $p = 0,05$ ). Com respeito às chuvas, todas as variáveis apresentaram correlação positiva significativa com a precipitação acumulada de dezembro, janeiro e fevereiro do ano corrente das árvores. A variável mostrou melhor correlação com os parâmetros climáticos foi a frequência dos vasos (precipitação:  $p = 0,003$ , temperatura:  $p < 0,001$ ) (Figura 47).

Tabela 11 - Matriz de correlação das variáveis dos elementos de vasos e a largura dos anéis de crescimento no lenho das árvores de *Tectona grandis* (período: 1978-2011)

<b>Larg</b>					
-0,174	<b>AT</b>				
<b>0,420</b>	<b>0,521</b>	<b>ALI</b>			
<b>0,491</b>	0,395	<b>0,921</b>	<b>A1L</b>		
0,078	-0,058	-0,184	-0,258	<b>ALT</b>	
-0,111	<b>0,868</b>	0,277	0,251	-0,061	<b>ATr</b>
<b>0,932</b>	-0,369	0,211	0,319	0,064	-0,289 <b>Freq</b>

Em negrito as correlações significativas ( $p < 0,05$ ).

Tabela 12 - Matriz de correlação da ALI, A1L, freq. e largura dos anéis de crescimento do lenho de *Tectona grandis* padronizadas com ARSTAN (período: 1978-2011)

<b>Larg</b>			
0,51	<b>ALI</b>		
0,52	0,89	<b>A1L</b>	
0,79	0,45	0,53	<b>Freq</b>

Todas as correlações são significativas ( $p < 0,05$ ).

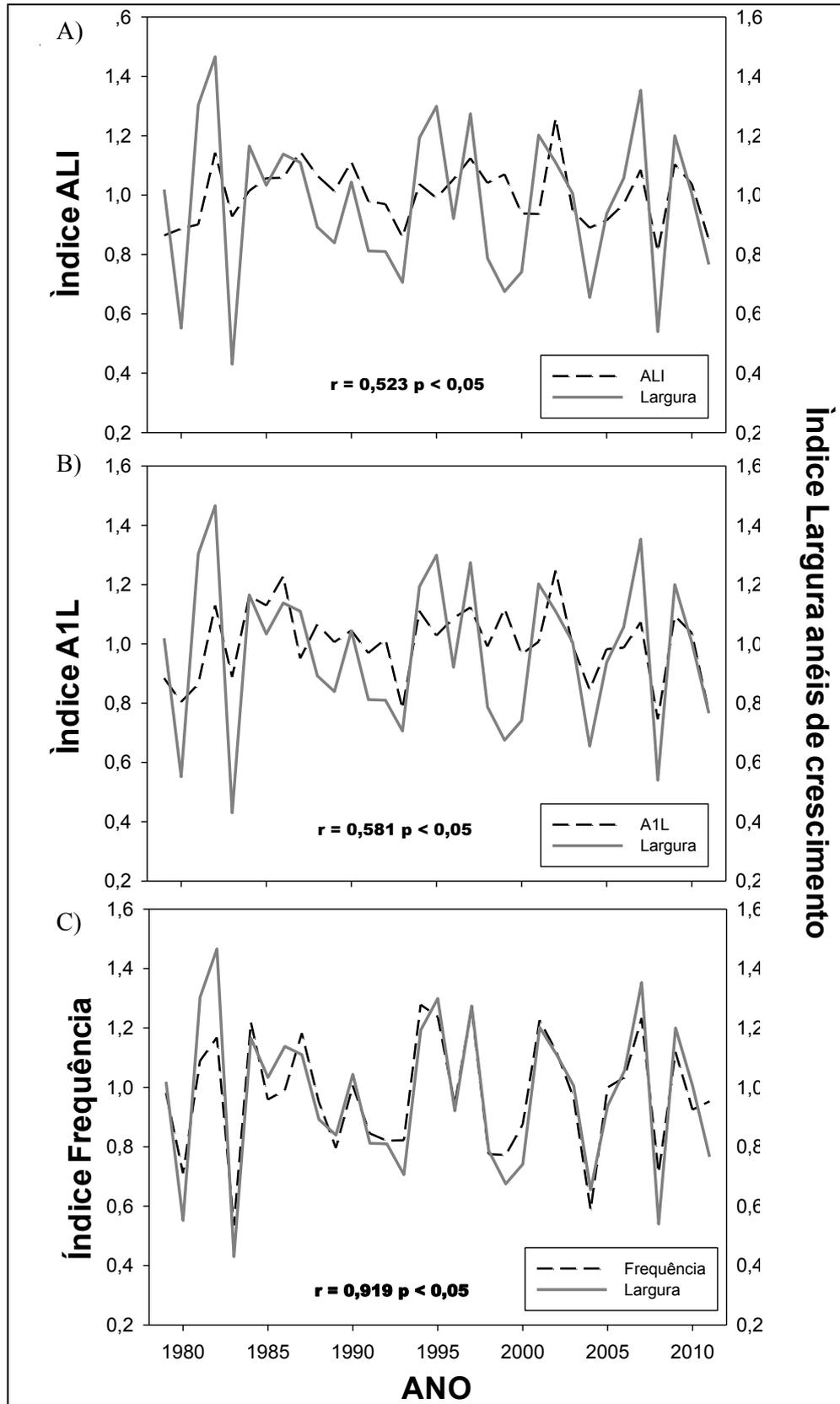


Figura 46 - A) Cronologia da área média dos vasos do lenho inicial (ALI) e largura dos anéis de crescimento. B) Cronologia da área média dos vasos da primeira linha do lenho inicial (A1L) e largura dos anéis de crescimento. C) Cronologia da frequência de vasos e largura dos anéis de crescimento. Todas as cronologias são para o período 1978 e 2011

Tabela 13 - Estatística descritiva das ALI, A1L, Frequência de vasos e largura dos anéis de crescimento de *Tectona grandis*

Variável	$\bar{x} \pm \sigma$	Inter-correlação**	Sensitividade
ALI	35,3 ± 8,7 (x10 <sup>3</sup> μm)	0,289	0,229
A1L	37,1 ± 10,8 (x10 <sup>3</sup> μm)	0,213	0,301
Frequência	49,5 ± 33,3*	0,498	0,357
Largura	5,4 ± 3,7 (mm)	<b>0,571</b>	0,413

\*Valor unitário. \*\*Correlação crítica entregada pelo software COFECHA  $r = 0,515$ . Em negrito inter-correlação significativa

As árvores de *Tectona grandis* demarcam o anel de crescimento anual por faixa de parênquima marginal e redução gradual do diâmetro dos vasos (do lenho inicial ao final; formando anel semiporoso) possibilitando aplicar a análise dos vasos na avaliação da influência do clima (PUMIJUMNONG; PARK, 1999; BHATTACHARYYA et al., 2007). Comprovou-se que a área média e a frequência dos vasos podem ser aplicadas nas análises dendroclimatológicas corroborando o resultado de inúmeros autores (GARCÍA-GONZÁLEZ; ECKSTEIN, 2003; GARCÍA-GONZÁLEZ; FONTI, 2006; TARDIF; CONCIATORI, 2007; GIANTOMASI et al., 2008; LOCOSELLI et al., 2013). No entanto, no presente estudo a área média dos vasos total/ anel de crescimento não foi proeminente mas, sim, a área média dos vasos/lenho inicial similar ao relatado em outras pesquisas (PUMIJUMNONG; PARK, 1999; FONTI; GARCÍA-GONZÁLEZ, 2004, 2008).

A área média dos vasos/lenho inicial (ALI e A1L) e a frequência dos vasos apresentaram correlação positiva com o período de maior quantidade de chuva, demonstrando a importância da água na condução hidráulica do lenho das árvores de *Tectona grandis*, semelhante ao relatado, para a espécie, por Pumijumnong e Park (1999). As árvores de teca teriam maior disponibilidade de água geralmente acima de sua capacidade de absorção, resultando em altos níveis de hidratação e de maior pressão de turgor (MELLOROWICZ et al., 2001). Quanto à temperatura, observou-se que ALI, A1L e a frequência dos vasos mostraram correlação positiva na primavera, embora alguns autores assinalaram que a influencia negativa da temperatura na formação e na dimensão dos vasos no lenho das árvores de *Tectona grandis* (PUMIJUMNONG; PARK, 1999) e de outras espécies de folhosa com anéis de crescimento porosos (GIANTOMASI et al., 2008; LOCOSELLI et al., 2013). No entanto, o resultado do presente estudo foi semelhante ao de Fonti et al. (2007) com árvores de *Castanea sativa* e de Fonti e García-González (2008) com árvores de *Quercus petraea* e de *Q. pubescens*. Neste contexto, as árvores de *Tectona grandis* começariam a reativar sua atividade cambial na estação da primavera induzindo a formação dos vasos do lenho inicial.

Fonti et al. (2007) afirmaram que, antes do início da primavera, a temperatura tem influência negativa sobre a dimensão dos vasos pela quiescência e reserva do armazenamento das árvores; no entanto, iniciada a atividade cambial no começo da primavera a temperatura desempenha importante papel importante na formação dos primeiros vasos no lenho das árvores. As auxinas, ácido indolacético (AIA) e outros hormônios controlam a divisão e diferenciação celular no lenho das árvores (MELLEROWICZ et al., 2001; SCARPELLA; MEIJER, 2004) com destaque aos elementos vasculares de transporte ascendente de água + sais minerais (ALONI; ZIMMERMANN, 1983).

A análise climatológica da largura dos anéis de crescimento anuais nos meses considerados, com DJF para precipitação e MAM para temperatura, demonstrou que existe uma correlação de  $r=0,53$  ( $p=0,002$ ) para a precipitação e de  $r=0,37$  ( $p=0,03$ ) para a temperatura (Figura 38). Para a precipitação a correlação com a largura dos anéis de crescimento anuais é maior do que as 3 correlações das variáveis dos vasos (Figura 47). Porém, a correlação entre a temperatura, a área média dos vasos/1ª linha lenho inicial e a frequência dos vasos (Figura 47B, C) tem um coeficiente de correlação maior e mais significativo que o valor do coeficiente de correlação na largura dos anéis de crescimento.

Neste contexto, pode-se deduzir que as altas temperaturas na primavera nesta região do estado do São Paulo influenciam mais significativamente as características anatômicas dos vasos (AIL e frequência dos vasos) do que a largura dos anéis de crescimento anuais das árvores de *Tectona grandis*. Portanto, pode ser de interesse na reconstrução da anomalia da temperatura em pesquisas dendroclimatológicas na região. Ferreira (2012) sinala que a anomalia da temperatura (ou precipitação) indica a proporção de variação, para mais ou para menos, do parâmetro em questão, em relação à média do parâmetro.

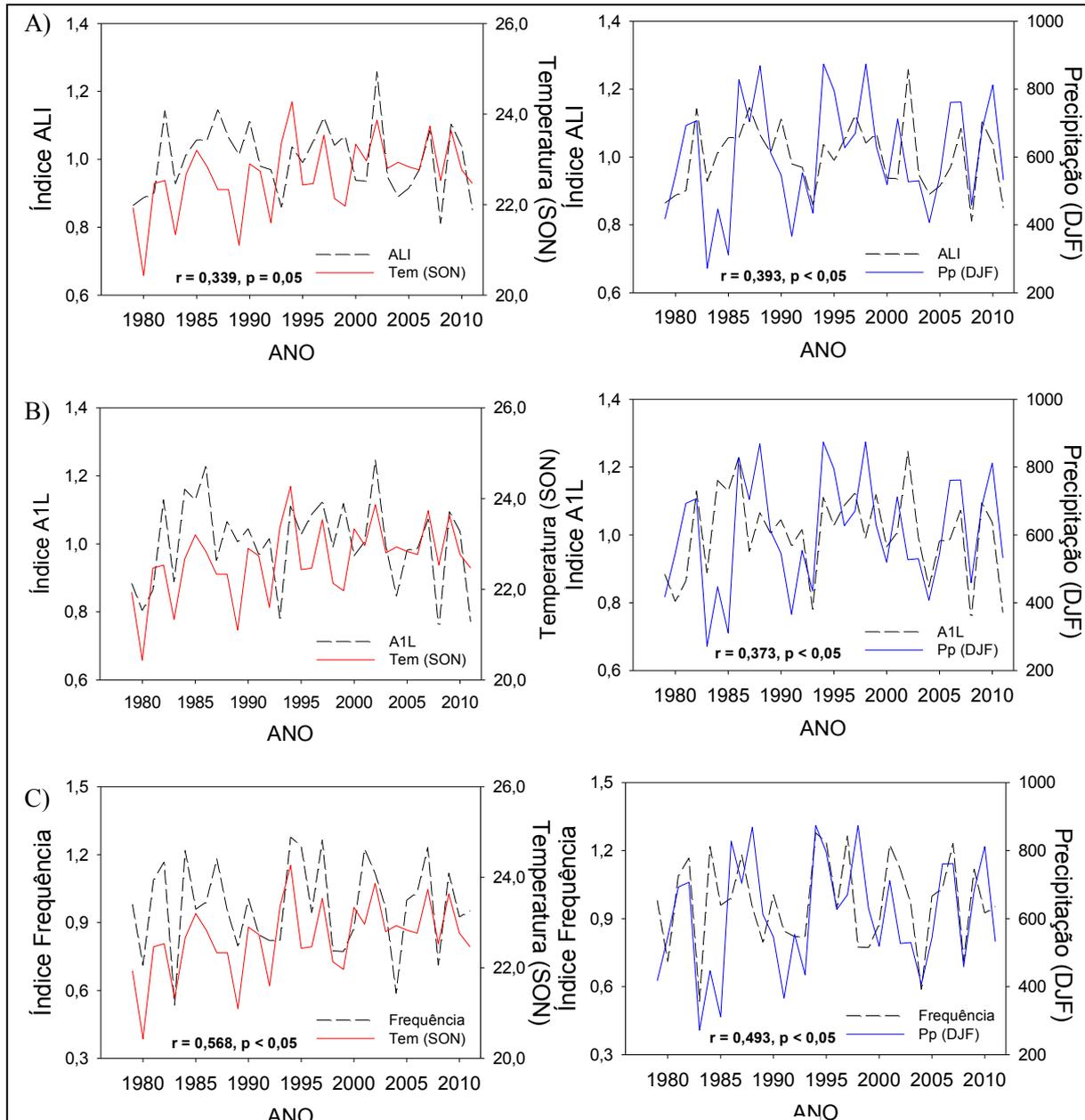


Figura 47 - Cronologia das variáveis dos vasos x precipitação acumulada de dezembro-fevereiro e temperatura média de setembro-novembro, período de 1978-2011: (A) ALI; (B) A1L; (C) frequência dos vasos.

## 5.7 Análise dos anéis de crescimento falsos do lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

### 5.7.1 Efeito das lianas na formação dos anéis de crescimento falsos

O crescimento e desenvolvimento das lianas ocupando na copa de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* pode afetar negativamente a sua atividade cambial e o crescimento em diâmetro do tronco, conforme afirmação de Stevens (1987) que considera as lianas como parasitas estruturais da árvore hospedeira. Neste contexto, o conhecimento do efeito das lianas

na formação dos anéis de crescimento falsos no lenho das árvores de estudo – induzindo as flutuações de densidade intra-anuais no lenho; ou IAFDs: *Intra-annual density fluctuations* – é muito importante. Desta forma, foram contados 573 anéis de crescimento falsos em 18 amostras do lenho de 8 árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (extração das amostras do lenho: método não destrutivo) no período de 1971-2011. Verificou-se que o maior número de anéis de crescimento falsos foi formado no lenho das árvores no 15º ano, com 38 IAFDs; no 1º, 2º e 4º ano não foi observada a formação de anéis de crescimento falsos, sendo que a média de anéis de crescimento falsos foi de 13,9 IAFDs/ano, com desvio padrão de 8,3 IAFDs/ano. Do total de anéis analisados 23 formaram falsos anéis de crescimento significativamente (Figura 48).

O valor médio da frequência estabilizada de anéis de crescimento falsos ( $f$ ) indicou que a frequência de IAFDs varia nas classes de idade e que a ocupação das lianas na copa das árvores provocando diferença significativa na formação dos anéis de crescimento falsos (Figura 49; Apêndice D).

As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sem lianas apresentaram um maior e significativo número de anéis de crescimento falsos (22,3%) que as árvores com lianas. Nas classes de idade das árvores houve uma tendência de aumento do número de IAFDs desde o início até a classe 15-20 anos (maior  $f$ ), nas classes seguintes verificou-se uma tendência de diminuição ou de estabilização da frequência de IAFDs até a classe de idade final das árvores. Na classe de idade inicial (1-5 anos) das árvores houve uma menor formação de anéis de crescimento falsos do que nas demais 7 classes de idade das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Figura 49).

Em todas as classes de idade das árvores, a presença das lianas induz menor formação de anéis de crescimento falsos no lenho das árvores, em relação às árvores sem lianas, sendo significativas nas últimas duas classes de idades (Figura 49B). Este comportamento parece vinculado à influência da ocupação das lianas na copa das árvores, reduzindo a competição por luz e afetando processos fisiológicos importantes como o fluxo de seiva elaborada e mineral, taxa de fotossíntese, respiração, constituindo uma camada vegetal de cobertura da copa das árvores, etc. e, desta forma, diminuindo a taxa de divisão celular na camada cambial e a sensibilidade das árvores às variações características da sazonalidade climática; sendo que as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com lianas apresentaram menor correlação entre si e com o clima (ver Item 5.3.2). A literatura menciona, ainda, que as lianas mantêm

temperatura mais constante e alta umidade relativa, constituindo-se condições microclimáticas ideais para a germinação das sementes, além da capacidade de alterar as características morfológicas de suas folhas, aproveitando de maneira mais eficiente a radiação disponível (ENGEL et al., 1998) e afetando a evapotranspiração (SCHNITZER; BONGERS, 2002).

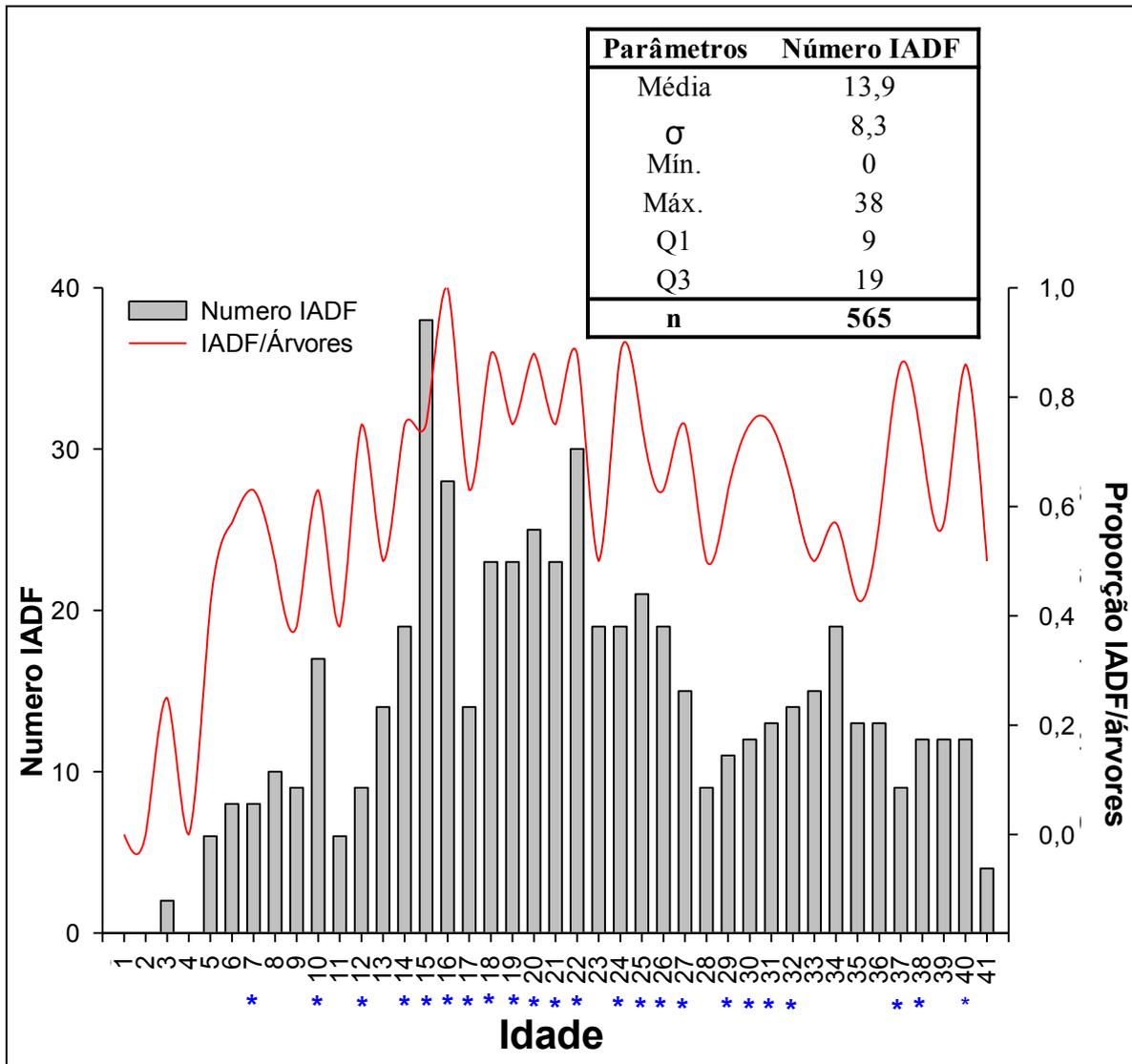


Figura 47 - Distribuição de frequência do IADF por idade das árvores: i) total de IADF, ii) proporção de IADF/árvore. \* Representa os anos significativos com formação de IADFs (valor limite 0,62) A tabela representa os parâmetros estatísticos.

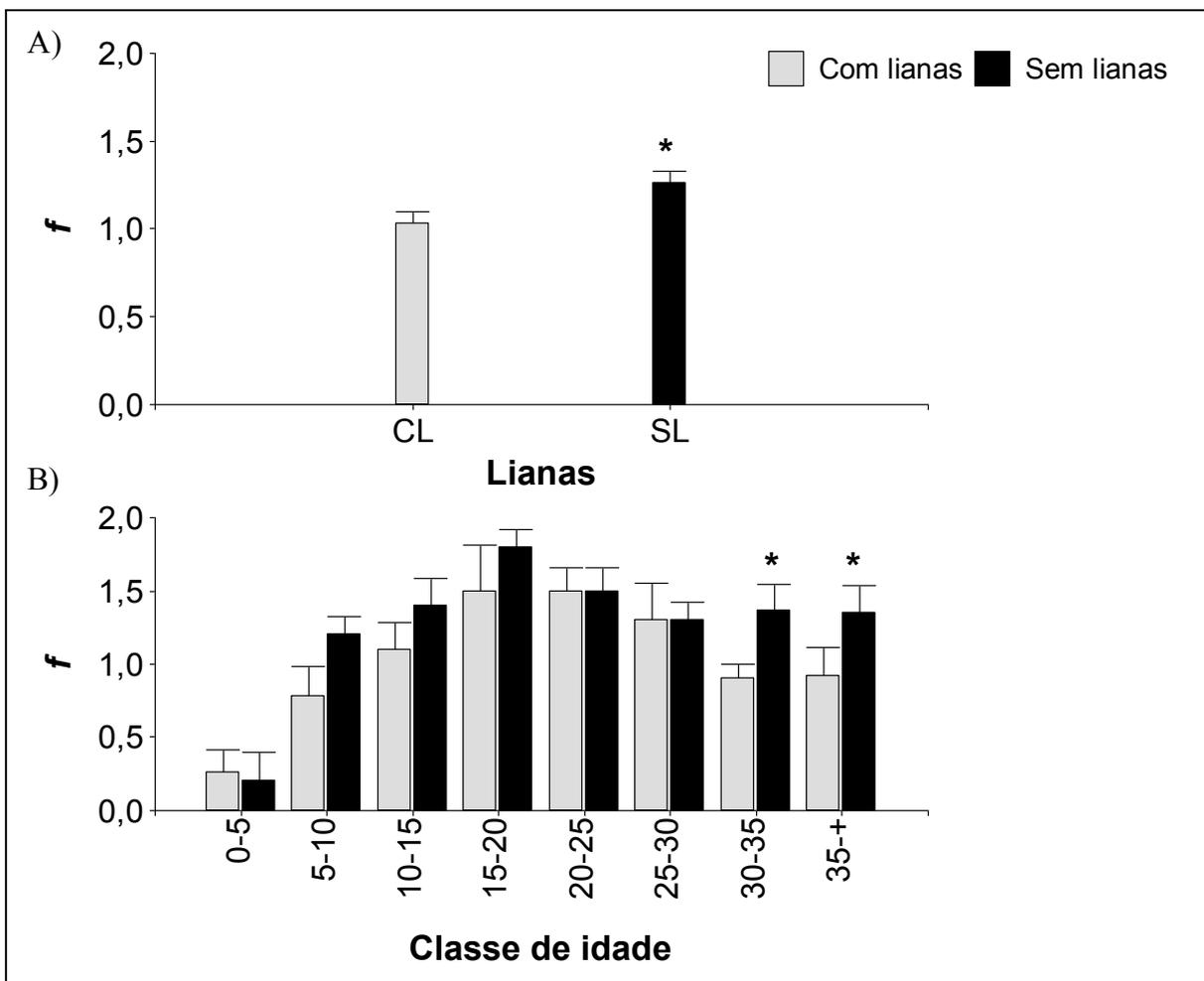


Figura 48 - Valor médio da frequência estabilizada de anéis de crescimento falsos ( $f$ ) no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ( $\pm$ desvio padrão) diferenciando-se pela presença/ausência de lianas: A) média das árvores; B) classe de idade. \* Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ )

### 5.7.2 Relação do clima e a formação de anéis de crescimento falsos

O valor médio da frequência estabilizada dos anéis de crescimento falsos ( $f$ ) formados no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* possibilitou a construção de uma cronologia de anéis de crescimento falsos (sem considerar a presença das lianas nas copas das árvores) (Figura 50), analisando a influência da precipitação e da temperatura mensal na formação de IAFDs (Figura 51). Pode-se observar que a frequência de IAFDs teve uma maior sensibilidade climática que a largura dos anéis de crescimento nesta espécie.

A formação de IADFs nos 23 anos significantes mostra uma maior correlação com a precipitação acumulada que a temperatura, especialmente no período de maior chuva no ano corrente do crescimento (DFJ:  $r=0,46$  e MAM:  $r=0,42$ , ambos os períodos com  $p<0,05$ ). Esse resultado está influenciado principalmente pelas altas precipitações de fevereiro ( $r=0,54$ ,  $p<0,01$ ) e abril ( $r=0,43$ ,  $p<0,05$ ). Além disso, as chuvas no mês mais seco (julho) antes que comece o período de crescimento das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, tem uma influência positiva significativa na formação de anéis falsos ( $r=0,43$ ,  $p<0,05$ ).

No caso da temperatura, o mês de abril do ano corrente do crescimento do tronco das árvores é o mês mais significativo ( $r=0,48$ ,  $p<0,05$ ), portanto, qualquer aumento da temperatura nesse mês incrementará a possibilidade da formação de IADFs nos anéis de crescimento do lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Os resultados do presente trabalho confirmam que a formação dos anéis de crescimento falsos no lenho das árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é condicionada pelas variáveis climáticas – a precipitação e a temperatura -, corroborando outros estudos que encontraram correlação entre a frequência de IADFs e as variações do clima (RIGLING et al., 2001; MASIOKAS; VILLALBA, 2004; CAMPELO et al., 2006; COPENHEAVER et al., 2006, 2010; BATTIPAGLI et al., 2010; EDMONDSON, 2010; DE LUIS et al., 2011, entre outros). Portanto, os estudos dendrocronológicos que analisem a dinâmica da frequência de IADFs no lenho das árvores de coníferas propiciam novas perspectivas de avaliação da influência dos parâmetros climáticos na ecofisiologia e biologia do lenho das árvores.

Da mesma forma, o estudo dos anéis de crescimento falsos tem implicação na dendroclimatologia constituindo-se em bioindicadores para a reconstrução climática-histórica de longo prazo (COPENHEAVER et al., 2006). Com base nessa premissa, Wimmer et al. (2000) reconstruíram a precipitação no início da temporada de crescimento de árvores de *Pinus nigra* na Áustria e Masiokas e Villalba (2004) reconstruíram a temperatura de verão na Patagônia através da análise das faixas inter-anuais formadas no lenho de *Nothofagus pumilio*.

Ainda, a análise da frequência dos anéis de crescimento falsos formados no lenho das árvores de espécies de pinus é fundamental para a dendrocronologia pela complementariedade em relação às metodologias que utilizam como parâmetro a largura dos anéis de crescimento, ao definir o número e diferenciar a formação dos IADFs nos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento anuais (CAMPELO et al., 2006; DE LUIS et al., 2011). Neste contexto, as árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* formam significativo número de anéis de

crescimento falsos no processo de formação do seu lenho, portanto a análise dendroclimatológica aplicando somente a largura do anel de crescimento propicia resultados parciais.

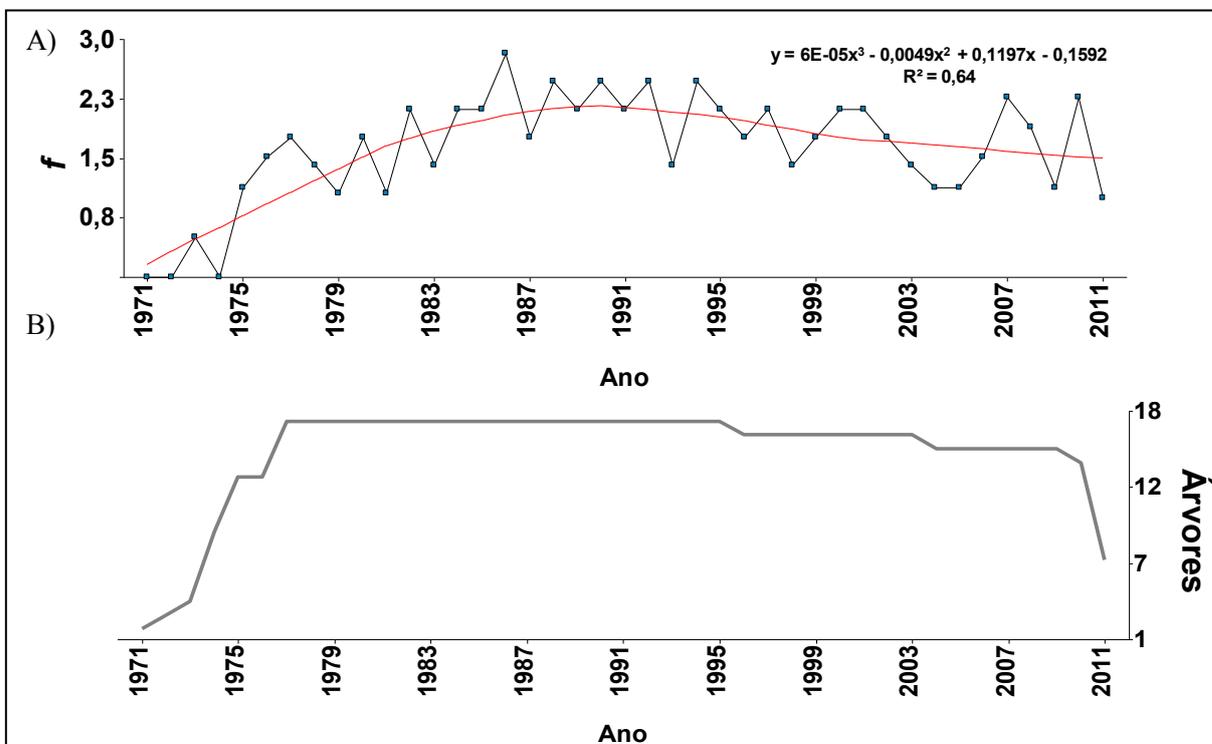


Figura 49 - Cronologia ajustada dos anéis de crescimento falsos do lenho das árvores de *Pinus caribaea* var *hondurensis*: todas as árvores (A); com lianas (B); sem lianas (C). Linha vermelha: tendência estimada a partir das regressões polinomiais

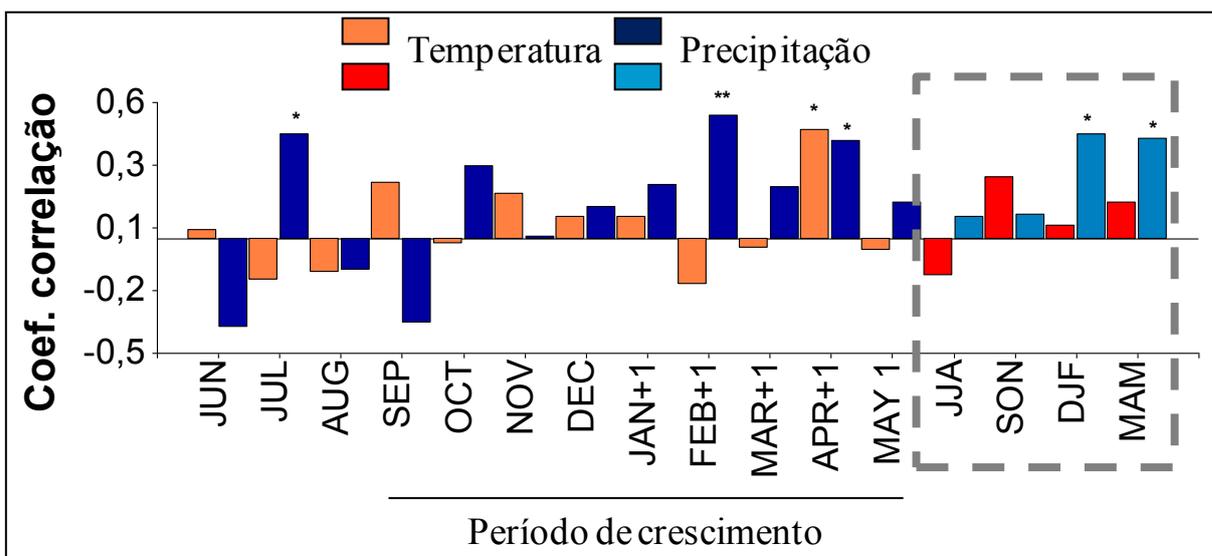


Figura 50 - Correlação da precipitação e da temperatura com a frequência estabilizada dos anéis de crescimento falsos ( $f$ ) do lenho das árvores de *Pinus caribaea* var *hondurensis*. Área cinza corresponde aos trimestres do ano desde inverno (JJA) até outono (MAM). Significância estatística: \*  $p < 0,05$  e \*\*  $p < 0,01$ .



## 6 CONCLUSÕES

A anatomia do lenho propicia a caracterização, a identificação e a demarcação dos anéis de crescimento anuais no lenho das árvores. As séries de anéis de crescimento mostraram correlação significativa em relação à sincronização dos anéis de crescimento e a cronologia máster nas árvores das 2 espécies, permitindo estimar as suas idades.

A densitometria de raios X possibilitou a construção do perfil radial da densidade aparente dos anéis de crescimento das árvores das 2 espécies, possibilitando a construção de padrões de assimilação de carbono a cada ano – pelos anéis de crescimento anuais - no lenho das árvores e avaliação do efeito das lianas, bem como de variáveis climáticas (precipitação, temperatura, estresse hídrico, etc.), além de estimar o tempo médio de permanência do carbono na vegetação .

O desenvolvimento das lianas na copa das árvores afeta, além do comprometimento da sucessão secundária e da degradação dos fragmentos florestais, a anatomia dos anéis de crescimento observando-se (i) diminuição do crescimento radial no período de 1976-2011 em *P. caribaea* e de 2000-2011 em *T. grandis*; (ii) diminuição do incremento de biomassa (massa de C) a partir do 10º ano nas árvores de *P. caribaea* e 25º ano nas de *T. grandis* com lianas; (iii) aumento da área de vasos em *T. grandis* e (iv) diminuição do número de anéis de crescimento falsos em *P. caribaea*.

A influência do clima na largura dos anéis de crescimento é mais evidente nas árvores de *T. grandis* do que em *P. caribaea*, em nível local e em grande escala, observando-se (i) correlação positiva no período de maior precipitação (dezembro-maio), temperatura de primavera e com a Oscilação Antártica (AAO) de outono do ano corrente; (ii) correlação negativa com o SPI (prévio) e o evento do El Niño (TNI) em outono (corrente). Além disso, a largura dos anéis de crescimento anuais das árvores de *T. grandis* e de *P. caribaea* mostrou correlação significativa com os valores de ISNA mensal de SON-MAM e JJA, respectivamente, no período de 1978-2011. Confirma-se, portanto, que as árvores das espécies podem ser utilizadas na reconstrução do ISNA para demarcar, principalmente, os anos de baixa disponibilidade de água no solo, sendo este um novo e importante índice de aridez a ser utilizado na dendroclimatologia.

Em geral, as variáveis anatômicas do lenho (vasos e IADFs) são mais influenciadas pelos fatores ambientais intra-sazonais do que a largura dos anéis de crescimento nas árvores

das 2 espécies, demonstrando que essas variáveis contém importantes sinais ecofisiológicos para a aplicação nas análises de climatologia integrada, além da dendrocronologia clássica da largura dos anéis de crescimento anuais e ser potenciais para aplicação em reconstruções climáticas em regiões tropicais.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, M.; PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia. **Nature Geosc**, London, v. 6, p. 339-346, 2013.
- ALONI, R.; ZIMMERMANN, M.H. The control of vessel size and density along the plant axis – a new hypothesis. **Differentiation**, Saint Paul, v. 24, p. 203-208, 1983.
- ALVARADO, R.J.; TOMAZELLO FILHO, M.; POLLITO, P.A.; LOBÃO, M. S. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, p. 171-179, 2010.
- AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira**. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* através de microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 11/12, n. 6, p. 17-23, 1998.
- ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R.; OLIVEIRA, R.F.; RIGHI, E.Z. Transpiration, leaf diffusive conductance, and atmospheric water demand relationship in irrigated acid lime orchard. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 16, n. 1, p. 53-64, 2004.
- ANHOLETTO JUNIOR, C. **Dendroecologia e composição isotópica ( $\delta^{13}C$ ) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil**. 2013. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- ARAVENA, J.C.; LUCKMAN, B.H. Spatio-temporal rainfall patterns in southern South America. **International Journal of Climatology**, Malden, v. 29, n. 14, p. 2106-2120, 2009.
- BAILLERES, H.; DURAND, P.Y. Non destructive techniques for wood quality assessment of plantation-grown teak. **Bois et Forêts des Tropiques**, Montpellier, v. 283, p. 17-27, 2000.
- BARBOSA, A. **Tree-ring studies of meteorology, climate, and forest ecology in the central United States**. 2010. 115p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Lavras, Lavras, 2010.
- BARNETT, J.R. Reactivation of the cambium in *Aesculus hippocastanum* L.: a transmission electron microscope study. **Annals of Botany**, Oxford, v. 70, p. 169-177, 1992.
- BARRETT, W.H.G.; GOLFARI, L. Descripción de las nuevas variedades del “Pino del caribe”. **Caribbean Forester**, Rio Piedras, n. 23, p. 59-71, 1962.

BATTIPAGLIA, G.; DE MICCO, V.; BRAND, W.A.; LINKE, P.; ARONNE, G.; SAURER, M.; CHERUBINI, P. Variations of vessel diameter and  $\delta^{13}$  in false rings of *Arbutus unedo* L. reflect different environmental conditions. **New Phytologist**, Lancaster, v. 188, p. 1099-1112, 2010.

BAHUER, J. **Especies con potencial para la reforestación en Honduras: resúmenes**. Tegucigalpa: Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal, 1982. 42 p.

BELLOTE, A.F.; 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. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 53, p. 137-154, 2006.

BHAT, K.M.; PRIYA, P.B. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the Western Ghat Region in India. **IAWA Journal**, Ubrechtv, v. 25, n. 3, p. 273-282, 2004.

BHATTACHARYYA, A.; ECKSTEIN, D.; SHAH, S.K.; CHAUDHARY, V. Analyses of climatic changes around Perambikulam, South India, based on early wood mean vessel area of teak. **Current Science**, Bangalore, v. 8, p. 1159-1164, 2007.

BLASING, T.J.; SOLOMON, A.M.; DUNVICK, D.N. Response function revisited. **Tree-Ring Bulletin**, Tucson, v. 44, p. 1-15, 1984.

BONINSEGNA, J.A.; ARGOLLO, J.; ARAVENA, J.C.; BARICHIVICH, J.; CHRISTIE, D.; FERRERO, M.E.; LARA, A.; LE QUESNE, C.; LUCKMAN, B.H.; MASIOKAS, M.; MORALES, M.; OLIVEIRA, J.M.; ROIG, F.; SRUR, A.; VILLALBA, R. Dendroclimatological reconstructions in South America: a review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 281, p. 210-228, 2009.

BORGAONKAR, H.P. Dendroclimatology and climate change: Indian perspective. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, Bangalore, v. 8, n. 2, p. 52-61, 2011.

BORGONKAR, H.P.; SIKDER, A.B.; RAM, S.; PANT, G.B. El Niño and related monsoon drought signals in 523a-year-long ring width records of teak (*Tectona grandis* L.F.) trees from south India. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, Amsterdam, v. 285, p. 74-84, 2010.

BOTOSSO, P.C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento**. Colombo: Embrapa, 2011. 55 p.

BOTOSSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In. MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARELLA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC, 2001. p. 145-171.

BOTOSSO, P.; TOMAZELLO FILHO, M.; MARIA, V.; FERREIRA, L. Les lianes et l'accroissement de *C. tomentosum*. **Bois et Forêts des Tropiques**, Montpellier, v. 284, p. 71-75, 2005.

BROWN, P.M. **Introduction to dendrochronology lecture 1: basic terminology and concepts**. Tucson: Rocky Mountain Tree-ring Research, 2003. 21 p.

BRUNSTEIN, F.C. Climatic significance of the bristlecone pine latewood frost-ring record at Almagre Mountain, Colorado, US. **Arctic Antarctic and Alpine Research**, Boulder, v. 28, p. 65–76, 1996.

BUCKLEY, B.M.; PALAKIT, K.; DUANGSATHAPORN, K.; SANGUANTHAM, P.; PRASOMSIN, P. Decadal scale droughts over northwestern Thailand over the past 448 years: links to the tropical Pacific and Indian Ocean sectors. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 29, n. 1, p. 63-71, 2007.

BUCKLEY, B.M.; BARBETTI, M.; WATANASAK, M.; D'ARRIGO, R.D.; BOONCHIRDCHOO, S.; SARUTANON, S. Dendrochronological investigations in Thailand. **Iawa Journal**, Ubrechtv, v. 16, n. 4, p. 393-409, 1995.

CAMPELO, F.; NABAIS, C.; FREITAS, H.; GUTIERREZ, E. Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinea* from a dry Mediterranean area in Portugal. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 64, p. 229-238. 2006.

CAMPELO, F.; GUTIERREZ, E.; RIBAS, M.; NABAIS, C.; FREITAS, H. Relationships between climate and double rings in *Quercus ilex* from northeast Spain. **Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 37, p. 1915-1923, 2007.

CAMPELO, F.; VIERA, J.; NABAIS, C. Tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* responses to climate: does size matter?. **Trees**, Santa Mônica, v.28, p.763-772, 2013.

CARDOSO, N.S. **Caracterização anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de Teca (*Tectona grandis* L.f) – Verbenaceae**. 1991. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

CARDOSO, S.; SOUSA, V.; QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Variabilidade anatômica da teca (*Tectona grandis*) de Timor-Leste. In: CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL: A FLORESTA NUM MUNDO GLOBALIZADO, 6., 2009, Ponta Delgada. **Anais...** Ponta Delgada: SCPF, 2009. p. 536-543.

CASTRO, V.R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 2011. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CATESSON, A.M.; ROLAND, J.C. Sequential changes associated with cell wall formation and fusion in the vascular cambium. **Iawa Journal**, Ubrechtv, v. 2, p. 151-162, 1981.

CATHARINO, E.L.M. **Estudos fisionômico-florísticos e fitossociológico em matas residuais secundárias do município de Piracicaba, SP**. 1989. 181 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Faculdade de Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

CENTRO DE PESQUISA METEOROLOGICA E CLIMATICAS APLICADA A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 01 mar. 2012.

CERNUSAK, L.A.; WINTER, K.; ARANDA, J.; TURNER, B. Conifers, angiosperm trees, and lianas: growth, whole-plant water and nitrogen use efficiency, and stable isotope composition ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) of seedlings grown in a tropical environment. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 148, n. 1, p. 642-659.

CHAGAS, M.P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grivillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. E *Terminalia catappa* L. nos município de Piracicaba e Paulinia, SP.** 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CHAGAS, M.P.; VENEGAS-GONZALEZ, A.; RADAELI NETO, A.P.; SA, P.A.; TOMAZELLO FILHO, M. Relationship between climate and tree-rings of *Tectona grandis* trees in natural and urban environment at Piracicaba, State of Sao Paulo, Brazil. In: IAWA PAN-AMERICAN MEETING ANNALS, 2012, Recife. **Proceedings...** Recife: IAWA, 2012. v. 1, p. 63.

CHAMBERS, J.Q.; HIGUCHI N.; TRIBUZY, E.S.; TRUMBORE, S.E. Carbon sink for a century. **Nature**, London, v. 410, p. 429-429, 2001.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.A.; CHAMBERS, J.Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, P.; NELSON, B.W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, Berlin, v. 145, p. 87-99, 2005.

CHAVES, E.; FONSECA, W. **Teca (*Tectona grandis*): especie de árbol de uso múltiple en América Turrialba: Central.** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1991. 47 p. (Informe Técnico, 179).

CHERUBINI, P.; PIUSSI, P.; SCHWEINGRUBER, F.H. Spatiotemporal growth dynamics and disturbances in a subalpine spruce forest in the Alps: a dendroecological reconstruction. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 26, p. 991-1001, 1996.

COELHO, C.A.S.; UVO, C.B.; AMBRIZZI, T. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 71, p. 185-197, 2002.

COOK, E.R.; HOLMES, R.L. **Users manual for program ARSTAN.** Palisades: Lamont-Doherty Earth Observatory, 1984. 28 p.

COOK, E.R.; ANCHUKAITIS, K.J.; BUCKLEY, B.M.; D'ARRIGO, R.D.; JACOBY, G.C.; WRIGHT, W.E. Asian Monsoon failure and megadrought during the last millennium. **Science**, New York, v. 328, p. 486-489, 2010.

COPENHEAVER, C.A.; POKORSKI, E.A.; CURRIE, J.E.; ABRAMS, M.D. Causation of false ring formation in *Pinus banksiana*: a comparison of age, canopy class, climate, and growth rate. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 236, n. 2/3, p. 348-355, 2006.

COPENHEAVER, C.A.; GÄRTNER, H.; SCHÄFER, I.; VACCARI, F.P.; CHERUBINI, P. Drought-triggered false ring formation in a Mediterranean shrub. **Botany**, Ottawa, v. 88, p. 545-555, 2010.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEM, S.; O'NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, London, v. 387, p. 253-260, 1997.

D'ARRIGO, R.; JACOBY, G.C.; KRUSIC, P.J. Progress in dendroclimatic studies in Indonesia. **Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences**, Taipei, v. 5, n. 3, p. 349-363, 1994.

D'ARRIGO, R.; BARBETTI, M.; WATTANASAK, M.; BUCKLEY, B.; KRUSIC, P.; BOONCHIRDCHOO, S. Progress in dendroclimatic studies of mountain pine in northern Thailand. **Iawa Journal**, Ubrechtv, v. 18, n. 4, p. 433-444, 1997.

D'ARRIGO, R.; ALLAN, R.; WILSON, R.; PALMER, J.; SAKULICH, J.; SMERDON, J.E.; BIJAKSANA, S.; NGKOIMANI, L. Pacific and Indian Ocean climate signals in a tree-ring record of Java monsoon drought. **International Journal of Climatology**, Malden, v. 28, n. 14, p. 1889-1901, 2008.

D'ARRIGO, R.; ABRAM, N.; UMMENHOFER, C.; PALMER, J.; MUDELSEE, M. Reconstructed stream flow for Citarum River, Java, Indonesia: linkages to tropical climate dynamics. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 26, n. 3/4, p. 451-462, 2011a.

D'ARRIGO, R.; PALMER, J.; UMMENHOFER, C.; KYAW, N.N.; KRUSIC, P. Three centuries of Myanmar monsoon climate variability inferred from teak tree rings. **Geophysical Research Letters**, Malden, v. 38, n. 24, 2011b.

DE GROOT, R.; WILSON M.; BOUMANS, E. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, Hanover, n. 41, p. 393-408. 2002.

DE LUIS, M.; NOVAK, K.; RAVENTÓS, J.; GRICAR, J.; PRISLAN, P.; CUFAR, K. Climate factors promoting intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) from semiarid sites. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 29, p. 163-169, 2011.

DE WALT, S.J.; ICKES, K.; NILUS, R.; HARMS, K.E.; BURSLEM, D.F.R.P. Liana habitat associations and community structure in a Bornean lowland tropical forest. **Plant Ecology**, Oxford, v. 186, p. 203-216, 2006.

DECOUX, V.; VARCIN, E.; LEBAN, J.M. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 61, p. 251-262, 2004.

DEEPAK, M.S.; SINHA, S.K.; RAO, R.V. Tree-ring analysis of teak (*Tectona grandis* L. f.) from Western Ghats of India as a tool to determine drought years. **Emirate Journal of Food and Agriculture**, Abu Dhabi, v. 22, n. 5, p. 326-339, 2010.

DIXON, R.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.; SOLOMON, A.; TREXLER, M.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, New York, v. 263, p. 185-190. 1994.

DONALDSON, L.A. Wood anatomy of five exotic hardwoods grown Samoa. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 14, n. 3, p. 18-30, 1984.

DUCATTI, M.; CARAMEZ, R.B.; VIDAL, E. Restauração ecológica através do plantio de núcleos monoespecíficos na Mata da Pedreira, ESALQ/USP, Piracicaba - SP. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 17., 2010, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: USP, 2010. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=4969&numeroEdicao=17>>. Acesso em: 12 fev. 2012.

ECKSTEIN, D. Change in past environments: secrets of the tree hydrosystem. **New Phytologist**, Lancaster, v. 163, p. 1-4, 2004.

EDMONDSON, J.R. The meteorological significance of false rings in eastern redcedar (*Juniperus virginiana* L.) from the Southern Great Plains, USA. **Tree-Ring Research**, Tucson, v. 66, p. 19-34, 2010.

EGUILUZ, P.T. Clima y distribución del genero *Pinus* en México. **Revista Mexicana de las Ciencias Forestales**, México, v. 7, n. 38, p. 30-44, 1982.

ENGEL, V.L.; FONSECA, R.C.B.; OLIVEIRA, R.E. Ecologia de lianas e o manejo de fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 43-64, 1998.

FERREIRA, A.T.B. **Caraterização da estrutura macroscópica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf.** 2009. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FERREIRA, A.T.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, p. 287-298, 2009.

FERREIRA, G.B. **Análise dendroclimatológica do cedro (*Cedrela fissilis* L.-Meliaceae) para reconstrução do cenário ambiental recente da cidade de São Paulo, SP.** 2012. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

FONSECA, R.C.B.; RODRIGUES, R.R. Análise estrutural e aspectos do mosaico sucessional de uma floresta semidecídua em Botucatu, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 27-43, 2000.

FONTI, P.; GARCÍA-GONZÁLEZ, I. Suitability of chestnut earlywood vessel chronologies for ecological studies. **New Phytologist**, Lancaster, v. 163, p. 77-86, 2004.

\_\_\_\_\_. Earlywood vessel size of oak as potential proxy for spring precipitation in mesic sites. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 35, p. 2249-2257, 2008.

FONTI, P.; SOLOMONOFF, N.; GARCÍA-GONZÁLEZ, I. Earlywood vessels of *Castanea sativa* record temperature before their formation. **New Phytologist**, Lancaster, v. 173, p. 562-570, 2007.

FONTI, P.; VON ARX, G.; GARCÍA-GONZÁLEZ, I.; EILMANN, B.; SASS-KLAASSEN, U.; GARTNER, H.; ECKSTEIN, D. Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. **New Phytologist**, Lancaster, v. 185, p. 42–53, 2010.

FRANCIS, J.K. *Pinus caribaea* morelet. **Caribbean pine**. New Orleans: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1991. 10 p.

FRERE, M.; POPOV, G. **Early agrometeorological crop yield assessment**. Rome: FAO, 1986. 144 p. (FAO Plant Production and Protection. Paper, 73).

FRITTS, H.C. **Tree rings and climate**. New York: Academic Press, 1976. 567 p.

GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H.F.; BEZERRA, C.L.F. Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecídua no Município de Guarulhos, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995.

GARCÍA-GONZÁLEZ, I.; ECKSTEIN, D. Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. **Tree Physiology**, Oxford, v.23, p.497-504, 2003.

GARCÍA-GONZÁLEZ, I.; FONTI, P. Selecting earlywood vessels to maximize their environmental signal. **Tree Physiology**, Oxford, v.26, p.1289-1296, 2006.

\_\_\_\_\_. Ensuring a representative sample of earlywood vessels for dendroecological studies: an example from two ring-porous species. **Trees**, Santa Mônica, v.22, p.237-244, 2008.

GARREAUD, R.; VUILLE, M.; COMPAGNUCCI, R.; MARENGO, J. Present-day South American climate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 281, p. 180-195, 2009.

GAYOSO, J.; GUERRA, J. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. **Bosque**, Valdivia, n. 26, p. 33-38, 2005.

GENTRY, A.H. The distribution and evolution of climbing plants. In. PUTZ, F.E.; MOONEY, H.A. **The biology of vines**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. p. 3–49.

GERWING, J.; SCHNITZER, S.; BURNHAM, R.; BONGERS, F.; CHAVE, J.; DE WALT, S.; EWANGO, C.; KENFACK, D.; MARTINEZ-RAMOS, M.; PARREN, M.; PARTHASARATHY, N.; PERES-SALICRUP, D.; PUTZ, F.; THOMAS, D. A Standard Protocol for Liana Censuses. **Biotropica**, Washington, v. 38, n. 2, p. 256-261, 2006.

GERWING, J.J.; FARIAS, D.L. Integrating liana abundance and forest stature into an estimate of total aboveground biomass for an eastern Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.16, p.327-335, 2000.

GIANOMASI, M.A.; ROIG, F.; VILLAGRA, P.E.; SRUR, A.M. Annual variation and influence of climate on the ring width and wood hydrosystem of *Prosopis flexuosa* DC trees using image analysis. **Trees**, Santa Mônica, v.23, p.117-126, 2009.

GRACE, J.; MALHI, Y.; HIGUCHI, N.; MEIR, P. Productivity of tropical rain forest. In: ROY, J.; SAUGIER, B.; MOONEY, H.A. (Ed.). **Terrestrial global productivity**. San Diego: Academic Press, 2001. p. 401-426.

GRAY, D.H.; LEISER, A.T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. New York: Van Nostrand-Reinhold, 1982. 271 p.

GREEN, S.J.C.E. **The Caribbean Pine (*Pinus caribaea* var. *bahamensis*): monitoring and ecology, in the Turks and Caicos Islands**. 2011. 74 p. Theis (M.Sc.) - Thesis Imperial College, London, 2011. Disponível em: ><http://www.iccs.org.uk/wp-content/thesis/consci/2011/Green.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2012.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, Washington, v. 11, p. 2863-2880, 1998.

GRISSINO-MAYER, H.D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree-Ring Research**, Tucson, v. 57, n. 2, p. 205-221, 2001.

HADAD, M.; AMOROSO, M.; ROIG, F. Frost ring distribution in *Araucaria araucana* trees from the xeric forests of Patagonia, Argentina. **Bosque**, Valdivia, v. 33, n. 3, p. 309-312, 2012.

HOFFER, M.; TARDIF, J.C. False rings in jack pine and black spruce trees from eastern Manitoba as indicators of dry summers. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 39, n. 9, p. 1722-1736, 2009.

HOLMES, R.L. ADAMS, R. K.; FRITTS, H.C. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin**. Tucson: University of Arizona, 1986. p. 41-49.

HUBER, A.; IROUMÉ, A.; BATHURST, J. Effect of *Pinus radiata* plantation on water balance in Chile. **Hydrological Processes**, Bristol, v. 22, p. 142-148, 2008.

INGWELL, L.L.; WRIGHT, S.J.; BECKLUND, K.K.; HUDBELL, S.P.; SCHNITZER, S.A. The impact of lianas on 10 years of tree growth and mortality on Barro Colorado Island, Panama. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 98, p. 879-887, 2010.

JYSKE, T.; MAKINEN, H.; SARANPAA, P. Wood density within Norway spruce stems. **Silva Fennica**, Vantaa, v. 42, p. 439-455, 2008.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Washington, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.

KOKUTSE, A.; BAILLÈRES, H.; STOKES, A.; KOKOU, K. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.f.). **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 189, n. 1/3, p. 37-48, 2004.

KOZLOV, V.; KISTERNAYA, M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in Northern Russia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 209, p. 103-111, 2004.

LAMARCHE, V.C.; HIRSCHBOECK, K.K. Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions. **Nature**, London, v. 307, p. 121-126, 1984.

LARA, A.; LITTLE, C.; URRUTIA, R.; MCPHEE, J.; ÁLVAREZ-GARRETÓN, C.; OYARZÚN, C.; SOTO, D.; DONOSO, P.; NAHUELHUAL, L.; PINO, M.; ARISMENDI, I. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 258, n. 4, p. 415-424, 2009.

LAURANCE, W.F.; PEREZ-SALICRUP, D.; DELAMONICA, P.; FEARNSIDE, P.M.; D'ANGELO, S.; JEROZOLINSKI, A.; POHL, L.; LOVEJOY, T.E. Rain forest fragmentation and the structure of Amazonian liana communities. **Ecology**, Durham, v. 82, p. 105-116, 2001.

LIANG, C.; FILION, L.; COURNOYER, L. Wood structure of biotically and climatically induced light rings in eastern larch (*Larix laricina*). **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 27, p. 1538-1547, 1997.

LIMA, I.L.; FLORSHEIM, S.M.B.; LONGUI, E.L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn, F. **Cerne**, Lavras, v. 15, p. 244-250, 2009.

LIMA, I.L.; PIMENTEL, M.M.; GARCIA, J.N. Propriedades mecânicas e densidade aparente da madeira de *Tectona grandis* Linn. F. (teca) em função do espaçamento e da posição radial na tora. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 19, p. 221-232, 2011.

LIMA, W.P. Floresta natural protege e estabiliza os recursos hídricos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 4, p. 30-33, 2005.

LINDORF, H. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. **Iawa Journal**, Utrecht, v. 15, p. 361-376, 1994.

LISI, C.S. **Estudo dendrocronológico e da biomassa do carbono em anéis de crescimento do tronco de árvores da mata atlântica**: relatório técnico. Rio de Janeiro: IBAMA, 2009. 26 p.

LOCOSSELLI, G.; BUCKERIDGE, M.; MOREIRA, M.; CECCANTINI, G. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. **Trees**, Santa Mônica, v. 27, p. 25-36, 2013.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M.; TORRES, M.A.V.; BACHER, L.B. **Árvores exóticas no Brasil**: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2003. 368 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.

MÄKINEN, H.; SARANPÄÄ, P.; LINDER, S. Wood-density variation of Norway spruce in relation to nutrient optimization and fiber dimensions. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 32, n. 2, p. 185-194, 2002.

MARCHAND, N.; FILION, L. False rings in the white pine (*Pinus strobus*) of the Outaouais Hills, Quebec (Canada), as indicators of water stress. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 42, n. 1, p. 12-22, 2012.

MARLAND, G.; SCHLAMADINGER, B. Forests for carbon sequestration or fossil fuel substitution? A sensitivity analysis. **Biomass Bioenergy**, Aberdeen, v. 13, n. 6, p. 389-397, 1997.

MARSHALL, G.; CONNOLLEY, W. Effect of changing Southern Hemisphere winter sea surface temperatures on Southern Annular Mode strength. **Geophysical Research Letters**, Malden, v. 33, L 17717, 2006

MASIOKAS, M.; VILLALBA, R. Climatic significance of intra-annual bands in the wood of *Nothofagus pumilio* in southern Patagonia. **Trees**, Santa Mônica, v. 18, p. 696-704, 2004.

MATRICARDI, W.A.T. **Efeito dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.F) cultivada em Grande Cárceres-Mato Grosso**. 1989. 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1989.

MCCARROLL, D.; LOADER, N.J. Stable isotopes in tree rings. **Quaternary Science Reviews**, Washington, v. 23, p. 771-801, 2004.

MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationships of drought frequency and duration to time scales. In: AMS CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY. 8., 1993, Anaheim. **Proceesings...** Anaheim: CCC, 1993. p. 233-236.

MEDEIROS, J.G.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KRUG, F.J.; VIVES, A.E. Tree-ring characterization of *Araucaria columnaris* Hook and its applicability as a lead indicator in environmental monitoring. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 26, p. 165-171, 2008.

MELANDRI, J.; DEZZEO, N.; ESPINOZA, N. Periodicidad de los anillos de crecimiento en *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* proveniente de una plantación delestado Mérida, Venezuela. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 51, n. 1, p. 57-66, 2007.

MILLER, A. **Fire history of Caribbean Pine (*Pinus caribaea* var. *bahamensis* (Griseb.) W.H. Barrett & Golfari) Forests on Abaco Island, the Bahamas**. 2007. 92 p. Thesis (M.Sc.) - University of Tennessee, 2007. Disponível em: <<http://web.utk.edu/~grissino/downloads/Alison%20Miller%20Masters%20Paper.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

MORELLATO, L.P.C. **Estudo da fenologia de árvores, arbustos e lianas de uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil**. 1991. 176 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

MOTHE, F.; SCIAMA, D.; LEBAN, J.M.; NEPVEU, G. Localisation de la transition bois initial-bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. **Annales des Sciences Forestières**, Champenoux, v. 4, n. 55, p. 437-449, 1998.

MOYA, R.; BERROCAL, A.; SERRANO, J.R.; TOMAZELLO FILHO, M. Radial variation of anatomical features, wood density and decay resistance in teak (*Tectona grandis*) from two qualities of growing sites and two climatic regions of Costa Rica. **Forest system**, Madrid, v. 18, n. 2, p. 119-131, 2009.

MUNDO, I.; ROIG, F.; VILLALBA, R.; KITZBERGER, T.; BARRERA, M. *Araucaria araucana* tree-ring chronologies in Argentina: spatial growth variations and climate influences. **Trees**, Santa Mônica, v. 26, p. 443-458, 2012.

MYERS, R.; WADE, D.; BERGH, C. **Fire management assessment of the Caribbean Pine (*Pinus caribea*) forest ecosystems on Andros and Abaco Islands, Bahamas**. Arlington: The Nature Conservancy, 2004. 21 p. (GFI Publication, 2004-1).

NEPSTAD, D.C.; TOHVER, I.M.; RAY, D.; MOUTINHO, P.; CARDINOT, G. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. **Ecology**, Durham, v. 88, p. 2259-2269, 2007.

NEUKOM, R.; LUTERBACHER, J.; KUTTEL, VILLALBA, R.; M.; FRANK, D.; JONES, P.D.; GROSJEAN, M.; WANNER, H.; ARAVENA, J.C.; BLACK, D.E.; CHRISTIE, D.A.; D'ARRIGO, R.; LARA, A.; MORALES, M.; SOLIZ-GAMBOA, C.; SRUR, A.; URRUTIA, R.; VON GUNTEN, L. Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 37, n. 1/3, p. 35-51, 2011.

NOCK, C.A.; GEIHOFFER, D.; GRABNER, M.; BAKER, P.J.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; HIETZ, P. Wood density and its radial variation in six canopy tree species differing in shade-tolerance in western Thailand. **Annals of Botany**, Oxford, v. 104, p. 297-306, 2009.

NUTTO, L.; WATZLAICK, L.F.; GRAMMEL, R.; FENNER, P.T. O Mercado internacional de CO<sub>2</sub>: o impacto das florestas naturais e das plantações. In: SAQUETA, C.R.; WATZLAICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. p. 89-108.

O'BRIEN, J.J.; HIERS, J.K.; CALLAHAM JR M.A.; MITCHELL, R.J.; JACK, S.B. Interactions among overstorey structure, seedling life history traits, and fire in frequently burned neotropical pine forests. **Ambio**, Stockholm, v. 37, p. 542-547, 2008.

OLAJIDEL, O.; NDAEYO, N.U.; EKONGL, A.B. Dendroclimatology of a *Pinus Caribaea* plantation in the tropical rainforest area of Southeastern Nigeria. **Journal of Agriculture, Biotechnology & Ecology**, Beijing, v. 3, n. 3, p. 92-97, 2010.

OLIVEIRA, B.R.R. **Dendrocronologia de árvores de teca na região de Cárceres, Mato Grosso**. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

OLIVEIRA, E.; CARNEIRO TOMAZELLO, M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação da densidade intra e inter anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, através de microdensitometria de raios X. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIMEP/CNPQ, 5., 1997. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 173-174.

- OSBORN, T.J.; BRIFFA, K.R.; JONES, P.D. Adjusting variance for sample size in tree-ring chronologies and other regional mean time series. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 15, p. 89-99, 1997.
- PALMER, W.C. **Meteorological Drought**. Washington: Weather Bureau, 1965. 58 p. (Research Paper, 45).
- PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **Unasylva**, Rome, v. 51, n. 201, p. 3-13, 2000.
- PÉREZ CORDERO, L.D.; KANNINEN, M. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. **Silva Fennica**, Vantaa, v. 37, n. 1, p. 45-54, 2003.
- PERI, P.; GARGAGLIONE, V.; MATÍNEZ, G.; LENCINAS, M. Carbon accumulation along a stand development sequence of *Nothofagus antartica* forest across a gradient in site quality in Southern Patagonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, n. 2, p. 229-237, 2010.
- PHILLIPS, N.; OREN, R.; ZIMMERMANN, R. Temporal patterns of water flux in trees and lianas in a Panamanian moist forest. **Trees**, Santa Mônica, v. 14, p. 116-123, 1999.
- PHILLIPS, O.L.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; MONTEAGUDO, A.; BAKER, T.R.; NÚÑEZ VARGAS, P. Large lianas as hyperdynamic elements of the tropical forest canopy. **Ecology**, Durham, v. 86, p. 1250-1258, 2005.
- PHILLIPS, O.L.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; ARROYO, L.; BAKER, T.R.; KILLEEN, T.; LEWIS, S.L.; YADVINDER, M.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D.; NÚÑEZ VARGAS, P.; ALEXIADES, M.; CÉRON, C.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; JARDIM, A.; PALACIOS, W.; SALDIAS, M.; VINCETI, B. Increasing dominance of large lianas in Amazonian Forests. **Nature**, London, v. 418, p. 770-774, 2002.
- PLUMPTRE, R.A. *Pinus caribaea*: wood properties. **Tropical Forestry Papers**, Oxford, v. 2, n. 17, p. 1-148, 1984.
- POLGE, H. Study of wood density variations by densitometric analysis of X-ray negatives of samples taken with a Presslet Auger. In: SYMPOSIUM OF I.U.F.R.O., 1965, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: IUFRO, 1965. Section 41, 19 p.
- PRIYA, K.M.; BHAT, K.M. False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.f.) and the influence of environmental factors. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, n. 3, p. 215-222, 1998.
- PUMIJUMNONG, N. Dendrochronology in Southeast Asia. **Trees**, Santa Mônica, v. 27, n. 2, p. 348-358, 2013.
- PUMIJUMNONG, N.; PARK, W. Vessel chronologies from teak in northern Thailand and their climatic signal. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 20, n. 3, p. 285-294, 1999.
- PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN, D.; PARK W. Teak tree-ring chronologies in Myanmar: a first attempt. **Palaeobotanist**, Lucknow, v. 50, p. 35-40, 2001.

- PUMIJUMNONG, N.; WANYAPHET, T. Seasonal cambial activity and tree-ring formation of *Pinus merkussii* and *Pinus kesiya* (Pinaceae) in Thailand in dependence on climate. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 226, p. 279-289, 2006.
- PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN, D. Reconstruction of pre-monsoon weather conditions in northwest Thailand from the tree-ring widths of *Pinus merkusii* and *Pinus kesiya*. **Trees**, Santa Mônica, v. 25, n. 1, p. 125-132, 2010.
- PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN, D.; SASS, U. Tree-ring research on *Tectona grandis* in Northern Thailand. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 16, n. 4, p. 385-392, 1995.
- PUTZ, F.E. Liana stem diameter growth and mortality rates on Barro Colorado Island, Panama. **Biotropica**, Washington, v. 22, p. 103-105, 1990.
- QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS. **Tree ring analyzer users guide**: model QTRS-01X. Knoxville, 1999. 72 p.
- RADAELI NETO, A.P. ; SOAVE JUNIOR, M. ; CHAGAS, M. P. ; TOMAZELLO FILHO, M. ; SILVA FILHO, D. F. . Dendrocronologia de árvores urbanas de teca (*Tectona grandis* linn f., Verbenaceae): determinação da idade e taxa de crescimento radial do tronco. In: 15º Congresso Brasileiro/1º Congresso Ibero-americano de Arborização Urbana, 2011, Recife/PE. **Anais...Recife: 15 CBAU & 1 CIAU**, 2011.
- RAM, S. On the recent strengthening of the relationship between Palmer drought severity index and teak (*Tectona grandis* L.F.) tree-ring width chronology from Maharashtra, India: a case study **Quaternary Science Reviews**, Washington, v. 248, p. 92-97, 2012.
- RAM, S.; BORGAONKAR, H.P.; SIKDER, A.B. Tree-ring analysis of teak (*Tectona grandis* L.F.) in central India and its relationship with rainfall and moisture index. **Journal of Earth System Science**, Dona Paula, v. 117, n. 5, p. 637-645, 2008.
- RIGLING, A.; WALDNER, P.O.; FORSTER, T.; BRAKER, O.U.; POUTTU, A. Ecological interpretation of tree-ring width and intraannual density fluctuations in *Pinus sylvestris* on dry sites in the central Alps and Siberia. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 31, n. 1, p. 18-31, 2001.
- RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. Versão em português. 2000. Disponível em: <<http://delta-intkey.com/wood/es/www/vertegra.htm>>. Acesso em: 10 de setembro de 2013.
- RODRIGUES, R.R. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. **Revista Circular Técnica do IPEF**, Piracicaba, v. 189, p. 1-42, 1999.
- ROIG, F. Redes dendrocronológicas: expansão e fortalecimento do conhecimento acerca da autoecologia das árvores e reconstrução paleoambiental. In: 63 CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA: DENSROECOLOGIA, 63., 2012, Joinville. **Anais... Joinville: CNBOT**, 2012. p. 4-5.
- ROPELEWSKI, C.H.; HALPERT, S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern oscillation. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 115, p. 1606-1626, 1987.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 14-19, 1998.

ROZAS, V.; GARCIA-GONZÁLEZ, I.; ZAS, R. Climatic control of intra-annual wood density fluctuations of *Pinus pinaster* in NW Spain. **Trees**, Santa Mônica, v. 25, p. 443-453, 2001.

SÁ P.A.; VENEGAS A.G.; GEROTO P.G.; TOMAZELLO FO, M. Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* de plantação na mata da Pedreira, Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 20. 2012, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: USP, 2012. Disponível em: <<https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=1538&numeroEdicao=20>>. Acesso em: 07 jun. 2012.

SANSIGOLO, C.A. Análise comparativa do desempenho dos Índices de Seca de Palmer (PDSI) e da Precipitação Normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917 – 2001). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 19, n. 1, p. 51-56, 2004.

SANSIGOLO, C.A. Análise da frequência e tendência de eventos secos e chuvosos extremos em Piracicaba, SP, usando o SPI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012, Gramado. **Anais...** Gramado: CBMET, 2012. p. 120.

SASS, J.E. **Botanical microtechnique**. 2<sup>nd</sup> ed. Ames: State College Press, 1951. 228 p.

SCARPELLA, E.; MEIJER, A.H. Pattern formation in the vascular system of monocot and dicot plant species. **New Phytologist**, Lancaster, v. 164, p. 209-242, 2004.

SCHINKER, M.G.; HANSEN, N.; SPIECKER, H. High-Frequency densitometry: a new method for the rapid evaluation of wood density variations. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 24, n. 3, p. 231-239, 2003.

SCHNITZER, S.A. A mechanistic explanation for global patterns of liana abundance and distribution. **The American Naturalist**, Chicago, v. 166, p. 262-276, 2005.

SCHNITZER, S.A.; BONGERS, F. The ecology of lianas and their role in forests. **Trends in Ecology & Evolution**, London, v. 17, p. 223-230, 2002.

\_\_\_\_\_. Increasing liana abundance and biomass in tropical forests: emerging patterns and putative mechanisms. **Ecology Letters**, Malden, v. 14, p. 397-406, 2011.

SCHNITZER, S.A.; CARSON, W. Lianas suppress tree regeneration and diversity in treefall gaps. **Ecology Letters**, Malden, v. 13, p. 849-857, 2010

SCHNITZER, S.A.; DEWALT, S.J.; CHAVE, J. Censusing and measuring lianas: a quantitative comparison of the common methods. **Biotropica**, Washington, v. 38, n. 5, p. 581-591, 2006.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Tree rings: basics and applications of dendrochronology**. Dordrecht: Reidel, 1988. 276 p.

\_\_\_\_\_. **Tree rings and environment: dendroecology**. Berna: Paul Haupt Publ., 1996. 609 p.

SETTE JUNIOR, C.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.; CHAGAS, M.P.; LACLAU, J.P. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill, aos 24 meses de idade. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, p. 35-546, 2009.

SHAH, S.K.; BHATTACHARYYA, A.; CHAUDHARY, V. Reconstruction of June–September precipitation based on tree-ring data of teak (*Tectona grandis* L.F.) from Hoshangabad, Madhya Pradesh, India. **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 25, p. 57-64, 2007

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **O sucesso dos Pinus no sul do Brasil, ano 2011**. Disponível em: < [http://www.sbs.org.br/detalhes\\_dia.php?ok=3&id=2446](http://www.sbs.org.br/detalhes_dia.php?ok=3&id=2446)>. Acesso em: 03 jun. 2012.

SOUZA, V.; TOMAZELLO FILHO, M.; ARIZAPANA, M.A.; SILVA, J.C.; SILVA FILHO, D.M.; POLIZEL, J.L. Avaliação do perfil radial do lenho de árvores de teca (*Tectona grandis*), através da tomografia de impulso. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 144-152, 2011.

SPAROVEK, G. **Amostragem e análise de dados edafo-bio-climáticos de um remanescente florestal no município de Pindorama (SP)**. Piracicaba. 1993. 131 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

SPEER, J.H.; ORVIS, K.H.; GRISSINO-MAYER, H.D.; KENNEDY, L.M.; HORN, S.P. Assessing the dendrochronological potential of *Pinus occidentalis* Swartz in the Cordillera Central of the Dominican Republic. **The Holocene**, Swansea, v. 14, p. 563-569, 2004.

SETZER, J. **Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo**. São Paulo: Escolas Profissionais Salesianas, 1946. 239 p.

TARDIF, J.C.; CONCIATORI, F. Influence of climate on tree rings and vessel features in red oak and white oak growing near their northern distribution limit, southwestern Quebec, Canada. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 36, p. 2317-2330, 2006.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. Annular Modes in the Extratropical Circulation Part I. Month-to-Month Variability. **Journal of Climate**, Washington, v. 13, p. 1000-1016, 2000.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARRELLA, W. (Org). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC; COMPED; INEP, 2001. p. 117-143.

TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M.P.; ROQUE, R.M. **Manual de aplicação de densitometria de raios-X em amostras de madeira**. Piracicaba: CRAD; CERD, 2005. 32 p.

TOMAZELLO FILHO, M.; ROIG, F.; ZEVALLOS, P. Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. **Ecología en Bolivia**, La Paz, v. 44, n. 2, p. 73-82, 2009.

- TOMAZELLO FILHO, M.; DOBNER Jr., M.; ARIZAPANA, M.; CHAGAS, M. Dendrocronologia e densitometria de raios x: metodologias complementares para a análise dos anéis de crescimento de árvores de plantações e de florestas nativas. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA: DENDROECOLOGIA, 63., 2012, Joinville. **Anais...** Joinville: CNBOT, 2012. p. 14-33.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.; OLIVEIRA, T.S.; BALLARIN, A.; BENJAMIN, C. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-150, 2008.
- TRENBERTH, K.E. Signal versus Noise in the Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 112, p. 326-332, 1984.
- TRENBERTH, K.E.; STEPANIAK, D.P. Indices of El Niño evolution. **Journal of Climate**, Washington, v. 14, p. 1697-1701, 2001.
- TRENBERTH, K.E.; CARON, J.M. The southern oscillation revisited: sea level pressures, surface temperatures, and precipitation. **Journal of Climate**, Washington, v. 13, p. 4358-4365, 2000.
- UDOAKPAN, U. An evaluation of wood properties of *Pinus Caribaeae* (MORELET) in Oluwa Forest Reserve, Ondo State, Nigeria. **Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management**, Bahir Dar, v. 6, n. 2, p. 159-169, 2013.
- VASQUEZ CORREA, A.M. **Variação das características anatômicas e da densidade básica da madeira em árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em função do espaçamento de plantio**. 1995. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- VIANA, V.M. Biologia e manejo de fragmentos de florestas naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos de Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS; SBEF, 1990. p. 113-118.
- VIDAL, E.; JOHNS, J.; GERWING, J.J.; BARRETO, P.; UHL, C. Vine management for reduced impact logging in eastern Amazonia. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v. 98, p. 105-114, 1997.
- WANNASRI, S.; PUMIJUMNONG, N.; SHOOCONGDEJ, R. Teak log coffin head styles in Northern Thailand: time sequencing with dendrochronology. **Science Asia**, Bangkok, v. 33, p. 47-56, 2007.
- WEAVER, L. ***Tectona grandis* L. f. Teak**. New Orleans: USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1993. 18 p.
- WEHR, N.J.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através da microdensitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 58, p. 161-170, 2000.
- WIGLEY T.M.L.; BRIFFA, K.R.; JONES, P.D. On the average value of correlated time series with application in dendroclimatology and hydrometeorology. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Washington, v. 23, p. 201-221, 1984.

WIMMER, R. Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change, **Dendrochronologia**, Amsterdam, v. 20, p. 21-36, 2002.

WIMMER, R.; STRUMIA, G.; HOLAWA, F. Use of false rings in Austrian pine to reconstruct early growing season precipitation. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 30, p. 1691-1697, 2000.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees, a review. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 16, n. 1/4, 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. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 87, p. 391-403, 1999.

YOUNG, P.J.; MEGONIGAL, J.P.; SHARITZ, R.R.; DAY, F.P. False ring formation in baldcypress (*Taxodium distichum*) saplings under two flooding regimes. **Wetlands**, Madison, v. 13, p. 293-298, 1993.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. 620 p

ZIMMERMANN, M.H. **Xylem structure and the ascent of sap**. Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer-Verlag, 1983. 143 p.

ZUMAETA, L.E.C.; TOMAZELLO FILHO, M.; VIANA, L.C.; CASTILLO, D.; ALZA, F.Y.; TORRES, G. Uso de la densitometría de rayos X y de la espectroscopia en el infrarrojo cercano para predecir las propiedades tecnológicas de la madera en especies forestales. **Xilema**, Lima, v. 1, p. 81-86, 2009.



**ANEXO**



## ANEXO A – Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA)

O Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) é a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial (ETR/ETP), que varia de zero a um e representa a fração entre a quantidade de água consumida pela planta e a quantidade que seria demandada para se garantir a máxima produtividade (Macedo *et al.*, 2001).

Foi calculado o ISNA mensal utilizando 33 anos de dados (1978-2001) do posto metrológico da ESALQ (estação convencional) situado em 22°42'30'' latitude sul e 47°38'00'' longitude oeste.

Foram utilizados os seguintes dados de entradas: temperatura (°C), precipitação (mm), vento (m/s), radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), umidade relativa (%), insolação (h/d) e dias julianos.

**Evapotranspiração Potencial (EVP):** foram calculados os valores diários de EVP, de acordo as parametrizações propostas pelo boletim FAO-56, a equação original de Penman-Monteith assume a seguinte fórmula para a evapotranspiração potencial ou de referência (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_o = \frac{0,408 s (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} U_2 (DPV)}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Sendo:

**ET<sub>o</sub>** = Evapotranspiração potencial ou de referência (mm d<sup>-1</sup>);

**R<sub>n</sub>** = Saldo de Radiação líquida (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);

**G** = Densidade de fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);

**T<sub>med</sub>** = Temperatura média diária do ar (°C);

**U<sub>2</sub>** = Velocidade do vento média diária (m s<sup>-1</sup>);

**DPV** = Déficit de pressão de saturação do vapor média diária (kPa);

**s** = Declividade da curva de pressão de vapor no ponto T<sub>med</sub> (kPa °C<sup>-1</sup>);

**γ** = Coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>);

O déficit de pressão de saturação do vapor média diária (DPV), está expressado por a diferença entre a pressão parcial de vapor (e<sub>s</sub>) e a pressão atual de vapor (e<sub>a</sub>), onde:

$$es = \frac{e^0(Tmax) + e^0(Tmin)}{2}$$

$$ea = \frac{e^0(Tmax \text{ URmin}/100) + e^0(Tmin \text{ URmax}/100)}{2}$$

$$e^0(T) = 0,6108 \left( \frac{17,27 T}{T + 237,3} \right)$$

O saldo de Radiação (Rn) é definido como:

$$Rn = Rns - Rnl$$

em que Rns é o saldo de radiação de ondas curtas e Rnl o saldo de radiação de ondas longas.

O saldo de radiação de ondas curtas (Rns) é baseado na radiação solar global (Rs) e um albedo padrão = 0,23:

$$Rns = (1 - \alpha) Rs$$

quando não se teve registro de Rs, foi estimado a partir de:

$$Rs = Ra \left( a + b \frac{n}{N} \right)$$

O saldo de radiação solar de ondas longas é baseado na pressão parcial de vapor (ea) e a radiação solar global (Rs), radiação solar do céu claro (Rso), radiação extraterrestre (Ra), dias julianos (J), temperatura máxima e mínima, latitude (-0,3962 rad), insolação e dois coeficientes locais da fração da radiação extraterrestre (a = 0,26 e b = 0,51).

$$Rnl = 4,903 \times 10^{-9} \left( \frac{(Tmax + 273,16)^4 (Tmin + 273,16)^4}{2} \right) (0,34 - 0,14 \sqrt{ea}) \left( 1,35 \frac{Rs}{Rso} - 0,35 \right)$$

$$Rso = Ra (a + b)$$

$$Ra = 37,586 dr - (Ws \text{ sen} \theta \text{ sen} \delta + \text{cos} \theta \text{ cos} \delta \text{ sen} Ws)$$

$$dr = 1 + 0,33 \text{cos} \left( \frac{2\pi J}{365} \right)$$

$$\delta = 0,4093 \text{sen} \left( \frac{2\pi J}{365} - 1,405 \right)$$

$$Ws = \text{cos}^{-1}(-\text{tan} \theta \text{ tan} \delta)$$

$$N = 24 \frac{Ws}{\pi}$$

A declividade da curva da pressão de vapor ( $s$ ) em função da temperatura média é definida como:

$$s = \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp \left( \frac{17,27 T_{med}}{T_{med} + 237,4} \right) \right]}{(T_{med} + 237,4)^2}$$

O coeficiente ou constante psicrométrico ( $\gamma$ ) foi calculado de acordo a seguinte fórmula:

$$\gamma = \frac{C_p P}{\xi \lambda}$$

em que:  $\lambda$  é o calor latente de evaporação da água = 2,45 MJ kg<sup>-1</sup> a 20°C;  $C_p$  é o calor específico e pressão constante = 1,013 x 10<sup>-3</sup> (MJ kg<sup>-1</sup> °C);  $\xi$  = 0,622, que a relação entre peso molecular do vapor da água e do ar seco; e  $P$  é a pressão atmosférica (kPa), cuja equação é dada por ( $z$  = altitude do local, m):

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26}$$

No caso do fluxo de calor ( $G$ ), Allen et al. (1998) recomenda que para períodos diários  $G$  pode ser desprezível, o que foi adotado neste trabalho.

**Evapotranspiração real (EVR):** foi estimada a EVR mensal a partir do método do balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), qual considera a variação do armazenamento de água do solo. Os cálculos foram em função das planilhas no ambiente Excel (balanço hídrico normal) desenvolvidas por Rolim *et al.* (1998).

A EVR pode apresentar os seguintes casos:

$$\text{Si } P \geq \text{ETP, entonces, ETR} = \text{ETP}$$

$$\text{Si } P < \text{ETP, entonces, ETR} = P + |\Delta \text{ Alm}|$$

sendo,  $P$  = precipitação mensal (mm);  $EVP$  = evapotranspiração potencial mensal acumulada (mm) calculada neste trabalho com o método de Penman-Monteith e  $\Delta \text{ Alm}$  = variação de armazenamento de água no solo (mm). Foi utilizada uma capacidade de água disponível (CAD) igual a 100.



## **APÊNDICES**



APÊNDICE A1 – Teste de normalidade Shapiro-Wilks do Incremento Corrente Anual em mm (ICA) nas árvores de *Tectona grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Espécie	Média	D.E.	W	p*
<i>T. grandis</i>	5,03	2,62	0,91	0,0032
<i>P. caribaea</i>	6,60	4,70	0,90	<0,001

\* Se  $p < 0,05$  não existe distribuição normal dos valores

APÊNDICE A2 – Teste não paramétrico Kruskal-Wallis do Incremento Corrente Anual em mm (ICA) nas árvores de *Tectona grandis* segundo a classe de idade

Idade	Lianas	Média	D.E.	H	p*
1-5	CL	3,55	4,90E-03	0,43	0,7
	SL	4	3,3		
5-10	CL	4,61	2,28	0,05	>0,9999
	SL	4,79	1,31		
10-15	CL	7,7	4,47	0,08	0,8857
	SL	6,47	2,34		
15-20	CL	6,97	3,71	1,33	0,3429
	SL	4,76	1,24		
20-25	CL	5,6	3,55	0	>0,9999
	SL	4,83	1,51		
25-30	CL	4,04	1,59	0,75	0,4857
	SL	5,11	2,39		
30-+	CL	3,17	1,74	0,08	0,8857
	SL	4,02	3,06		
Média	CL	5,17	3,07	3,00E-03	0,9562
	SL	4,89	2,14		

\*Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ ).

APÊNDICE A3 - Teste não paramétrico Kruskal-Wallis do Incremento Corrente Anual em mm (ICA) nas árvores de *Pinus caribae* var. *hondurensis* segundo a classe de idade

<b>Idade</b>	<b>Lianas</b>	<b>Média</b>	<b>D.E.</b>	<b>H</b>	<b>p*</b>
1-5	CL	10,13	3,35	7,77	0,0053
	SL	14,76	5,32		
5-10	CL	12,16	4,45	1,42	0,233
	SL	13,72	3,47		
10-15	CL	7,27	4,23	0,17	0,6758
	SL	6,9	3,77		
15-20	CL	7,85	4,13	0,19	0,6598
	SL	8,26	3,87		
20-25	CL	6,21	2,76	3,4	0,0651
	SL	5,22	1,99		
25-30	CL	4,62	2,03	1,53	0,2162
	SL	4,06	1,29		
30-35	CL	2,77	1,45	1,18	0,2779
	SL	2,98	1,15		
35-+	CL	1,99	1,35	17,78	<0,0001
	SL	3,01	0,85		
Média	CL	6,35	4,5	1,35	0,2444
	SL	6,81	4,85		

\*Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ ).

APÊNDICE B1 – Teste de normalidade Shapiro-Wilks da densidade aparente do lenho ( $\text{g/cm}^3$ ) nas árvores de *Tectona grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em função da madeira

Espécie	Madeira	Média	D.E.	W	p*
<i>T. grandis</i>	Juvenil	0,68	0,11	1	<0,0001
	Transição	0,6	0,07	0,99	<0,0001
	Adulta	0,61	0,09	0,99	<0,0001
<i>P. caribaea</i>	Juvenil	0,64	0,19	0,95	<0,0001
	Transição	0,58	0,12	0,98	<0,0001
	Adulta	0,57	0,17	0,98	<0,0001

\* Se  $p < 0,05$  não existe distribuição normal dos valores

APÊNDICE B2 – Teste não paramétrico Kruskal-Wallis da densidade aparente do lenho ( $\text{g/cm}^3$ ) nas árvores de *Tectona grandis*, segundo a madeira

Madeira	Lianas	Média	D.E.	H	p*
Juvenil	CL	0,6	0,07	40,19	<0,0001
	SL	0,59	0,07		
Transição	CL	0,61	0,09	46,85	<0,0001
	SL	0,62	0,08		
Adulta	CL	0,66	0,12	247,1	<0,0001
	SL	0,71	0,09		
Média	CL	0,62	0,1	113,69	<0,0001
	SL	0,64	0,09		

\*Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ )

Apêndice B3 – Teste não paramétrico Kruskal-Wallis da densidade aparente do lenho ( $\text{g/cm}^3$ ) nas árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, segundo a madeira.

Madeira	Lianas	Média	D.E.	H	p*
Juvenil	CL	0,62	0,12	872,04	<0,0001
	SL	0,54	0,12		
Transição	CL	0,58	0,15	8,74	0,0031
	SL	0,56	0,18		
Adulta	CL	0,65	0,18	18,96	<0,0001
	SL	0,63	0,2		
Média	CL	0,61	0,16	345,04	<0,0001
	SL	0,58	0,17		

\*Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ ).

APÊNDICE C1 - Teste de normalidade Shapiro-Wilks das variáveis de vasos analisadas nas árvores de *Tectona grandis*, no período 2000-2011

Variáveis	Média	D.E.	W	p*
A1L	0,68	11,11	0,99	0,822
ATr	0,6	6	0,93	<0,0001
Freq	0,61	22,35	0,91	<0,0001
AT	0,64	5,51	0,98	0,1717
ALI	0,58	9,02	0,98	0,1542
ALT	0,57	3,31	0,83	<0,0001

\* Se  $p < 0,05$  não existe distribuição normal dos valores

APÊNDICE C2 - Teste não paramétrico Kruskal-Wallis das variáveis ATr-ALT-Frequência, no período 2000-2011

Madeira	Lianas	Média	D.E.	H	p*
ATr	CL	22,57	6,11	39,37	<0,0001
	SL	16,67	4,14		
ALT	CL	7,62	3,84	11,7	0,0006
	SL	5,91	2,38		
Freq	CL	39,14	25,44	10,09	0,0015
	SL	46,55	18,05		

\*Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ ).

APÊNDICE C3 -ANOVA para AT-ALI-A1L de cada anel de crescimento em função da classe de idade e a presença das lianas nas árvores de *Tectona grandis*

Variável	F.V.	GL	SQ	QM	F	Sig
AT	Ano	11	433,1	39,4	1,49	0,140
	Lianas	1	982,1	982,1	37,26	<0,001
	Ano*Lianas	7	59,1	5,37	0,2	0,997
	Erro	92	2425,2	26,3		
	Total	115	3913,7			
ALI	Ano	11	2562,5	232,9	2,89	0,002
	Lianas	1	378,7	378,7	4,70	0,032
	Ano*Lianas	7	251,2	22,8	0,28	0,987
	Erro	92	7409,9	80,5		
	Total	115	10657,2			
A1L	Ano	11	3420,5	311,7	2,34	0,013
	Lianas	1	29,1	29,0	0,22	0,641
	Ano*Lianas	7	571,6	51,9	0,39	0,956
	Erro	92	12245,0	133,1		
	Total	115	16312,6			

GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrados médios; F: valor de F calculado; Sig: nível crítica de significância ( $p < 0,05$ ).

APÊNDICE C4 - Resultados Test de Tukey para “Lianas” da ANOVA da Tabela 3

Varvável	Lianas	Médias	E.E	
AT	Sem	19,50	0,68	A
	Com	25,00	0,7	B
ALI	Sem	35,10	1,19	A
	Com	39,00	1,18	B
A1L	Sem	38,70	1,34	A
	Com	37,70	1,32	A

Diferentes letras indicam significância segundo o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

APÊNDICE D1 - Teste de normalidade Shapiro-Wilks da frequência estabilizada de anéis falsos (*f*) nas árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Variável	Média	D.E.	W	p*
f	1,15	0,57	0,89	<0,0001

\* Se  $p < 0,05$  não existe distribuição normal dos valores

APÊNDICE D2 - Teste não paramétrico Kruskal-Wallis d da frequência estabilizada de anéis falsos (*f*) nas árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* segundo a classe de idade

Idade	Lianas	Média	D.E.	H	p*
1-5	CL	0,26	0,35	0,1	>0,9999
	SL	0,2	0,45		
5-10	CL	0,78	0,46	1,84	0,1984
	SL	1,2	0,27		
10-15	CL	1,1	0,42	0,88	0,4841
	SL	1,4	0,42		
15-20	CL	1,5	0,71	0,17	0,6825
	SL	1,8	0,27		
20-25	CL	1,5	0,35	0	>0,9999
	SL	1,5	0,35		
25-30	CL	1,3	0,57	0,01	>0,9999
	SL	1,3	0,27		
30-35	CL	0,9	0,22	4,81	0,0397
	SL	1,36	0,4		
35-+	CL	0,82	0,49	3,1	0,0409
	SL	1,35	0,47		
Média	CL	1,03	0,58	4,69	0,0269
	SL	1,27	0,55		

\*Dif. sign. Kruskas-Wallis ( $p < 0,05$ ).