

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

Escola de Agronomia

ALINE FALEIRO DIONIZIO

**DENDROCRONOLOGIA E DENDROCLIMATOLOGIA EM
ÁRVORES DE *Tectona grandis* L.f. PLANTADAS NO ESTADO DE
GOIÁS**

Goiânia

2014

ALINE FALEIRO DIONIZIO

**DENDROCRONOLOGIA E DENDROCLIMATOLOGIA EM
ÁRVORES DE *Tectona grandis* L.f. PLANTADAS NO ESTADO DE
GOIÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Goiás, como requisito imprescindível à obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos R. Sette Júnior

Goiânia

2014

ALINE FALEIRO DIONIZIO

**DENDROCRONOLOGIA E DENDROCLIMATOLOGIA EM
ÁRVORES DE *Tectona grandis* L.f. PLANTADAS NO ESTADO DE
GOIÁS**

Trabalho de conclusão de Curso (TCC) DEFENDIDO em 01 de Julho de 2014 e
aprovado pela Banca Examinadora Constituída pelos membros:

Prof. Dr. Carlos Roberto Sette Júnior
Orientador - UFG/EA – Setor de Engenharia Florestal

Prof^a. Dra. Sybelle Barreira
UFG/EA – Setor de Engenharia florestal

Prof^a MSc. Patrícia Pereira Pires
UFG/EA – Setor de Engenharia Florestal

*À minha mãe, por acreditar em mim,
sempre me apoiar na realização dos meus sonhos
e não me deixar desistir nunca.
À minha avó, pelo apoio, carinho e amor incondicional.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, em primeiro lugar, que me permitiu alcançar esta realização.

Ao Professor e orientador, Dr. Carlos Roberto Sette Júnior, pela confiança, por sua dedicada orientação, pelos ensinamentos e oportunidades.

Aos meus pais, Lucivane e Eduardo, pelo apoio e incentivo em todos os momentos de minha vida. Sem o apoio de vocês a realização deste trabalho seria muito mais difícil.

Ao meu segundo pai, Marcley, por sempre me estender a mão quando precisei e suas palavras de incentivo. Agradeço a Deus por colocar você no meu caminho.

À minha família, por acreditarem em mim, me apoiarem nas minhas decisões e me ajudarem a não desistir. Vocês são meus exemplos e minhas inspirações.

Ao Macksuel, técnico e participante da banca examinadora, pelo auxílio na realização deste trabalho.

À Professora Patrícia Pires pelo incentivo e participação na banca avaliadora.

Aos Nítidos, minha segunda família, companheiros de todas as horas, tanto para incentivar, apoiar, compreender, divertir, como para brigar e dar puxões de orelha.

As amigas de faculdade, Mayara, Ana Clara, Raíssa, Gislene, Esicleide, Isis, pela amizade e companheirismo nesta jornada.

À Universidade Federal de Goiás, ao departamento de Engenharia florestal e ao Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia, pela oportunidade e apoio para meu desenvolvimento acadêmico;

À primeira turma de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 <i>Tectona grandis</i> L. f.....	10
2.2 Dendrocronologia	11
2.3 Dendrocronologia das árvores de <i>Tectona grandis</i>	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo geral	14
3.2 Objetivo específico	14
4. HIPÓTESES	15
5. MATERIAIS E MÉTODOS	15
5.1 Caracterização da área de estudo	15
5.2 Seleção das árvores e coleta das amostras do tronco	15
5.3 Análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores	16
5.3.1 Anatomia macro e microscópica do lenho	16
5.3.2 Dendrocronologia e Dendroclimatologia	17
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
6.1 Análise e caracterização dos anéis de crescimento.....	20
6.2 Dendrocronologia: idade e taxa de crescimento em diâmetro do tronco.....	22
6.3 Dendroclimatologia: variáveis climáticas x crescimento em diâmetro do tronco	26
7. CONCLUSÕES	27
8. RECOMENDAÇÕES	28
9. REFERÊNCIAS	28

DENDROCRONOLOGIA E DENDROCLIMATOLOGIA EM ÁRVORES DE *Tectona grandis* L.f. PLANTADAS NO ESTADO DE GOIÁS

RESUMO

As árvores de *Tectona grandis* são utilizadas em estudos dendrocronológicos e dendroclimatólogicos pela nítida formação de anéis de crescimento anuais no lenho. Estudos de anéis de crescimento no lenho de árvores tropicais são cada vez mais frequentes e sua importância está relacionada com o conhecimento dos fatores ambientais que influenciam as taxas de crescimento, a produção de madeira e sua qualidade. O presente trabalho teve como objetivo principal caracterizar os anéis de crescimento formados na madeira e a taxa de crescimento em diâmetro do tronco de *T. grandis* e sua relação com as variáveis climáticas. Árvores de Teca foram selecionadas e cortados discos de lenho na altura da base do tronco para a datação, o cálculo do incremento médio e corrente anual e sua relação com as variáveis climáticas através de procedimentos dendrocronológicos. Foi observada a presença de anéis de crescimento distintos caracterizados principalmente por parênquima marginal associado aos vasos de maior diâmetro. As árvores apresentaram incremento médio em diâmetro do tronco de 1,86 cm por ano, sendo fortemente influenciado pelo déficit de pressão de vapor no ambiente. Os bons resultados obtidos para a espécie confirmam o seu potencial para o desenvolvimento de estudos dendrocronológicos.

Palavras-chave: Anéis de crescimento; dendrocronologia; *Tectona grandis* L.f.

DENDROCHRONOLOGY E DENDROCLIMATOLOGY IN TREES OF *Tectona grandis* L.f. PLANTED IN THE STATE OF GOIÁS

ABSTRACT

The *Tectona grandis* trees are used in dendrochronological studies by sharper formation of annual growth rings. Studies of growth rings in tropical trees are becoming more usual and its importance is related to the knowledge of the environmental factors that influence growth rates, timber production and its quality. The present study aimed to characterize the growth rings formed in the wood and the rate of growth in diameter of the trunk of *Tectona grandis* and its relationship with climate variables. Teak trees were selected and cut discs of wood at the height of the base of the trunk to the dating, the calculation of the mean annual increment and current and its relation to climate variables using dendrochronological procedures. Was noted the presence of distinct growth rings characterized mainly by marginal parenchyma associated with larger diameter vessels. Through dendrochronological procedures were calculated the annual increment average and current average and its relation to climate variables. The average increment in *T. grandis* trunk diameter trees was $1.86 \text{ cm year}^{-1}$, and it is strongly influenced by vapor pressure deficit from the environment. The good results obtained for the species confirm their potential for the development of dendrochronological studies.

Keywords: Growth-rings; dendrochronology; *Tectona grandis* L. F.

1. INTRODUÇÃO

As plantações florestais de *Tectona grandis* L.f. no Brasil estão em forte expansão (6,5% de crescimento ao ano), perfazendo um total de 67 mil hectares e estão localizadas principalmente entre as regiões Norte (32,6%) e Centro-Oeste (67,4%) (ABRAF, 2013). A madeira de Teca é conhecida mundialmente pelo seu efeito decorativo e resistência, sendo muito apreciada e utilizada em construções navais, na construção civil, na fabricação de assoalhos e decks, sendo também destinada ao setor mobiliário, laminados decorativos e adornos em geral (ABRAF, 2010).

As árvores e plantações florestais de Teca são pouco estudadas do ponto de vista da formação dos anéis de crescimento e a sua relação com as variáveis climáticas. Em função da ampliação dos plantios comerciais no Brasil nos últimos anos e do potencial da espécie para estudos dendrocronológicos torna-se fundamental a avaliação dos anéis de crescimento e a determinação da sua taxa de crescimento e relação com as variáveis climáticas.

Neste sentido, a dendrocronologia, que é a ciência que estuda os anéis de crescimento de árvores, o tempo de formação e sua relação com as condições ambientais anteriores de um sítio é uma ferramenta fundamental na análise da formação dos anéis de crescimento na madeira em árvores de clima tropical. Para Mattos (2011), a dendrocronologia surge como uma ferramenta com potencial de resposta rápida para um grande número de espécies, para aquelas regiões com sazonalidade climática definida. Além das aplicações imediatas com a estimativa de idade e incremento médio, os estudos dos anéis de crescimento abrem campo para desenvolvimento de trabalhos em diversas áreas de pesquisa, como a dendroclimatologia.

Inúmeras espécies florestais de coníferas e folhosas de clima temperado são tradicionalmente utilizadas e potencialmente importantes para estudos dendrocronológicos pela sazonalidade da atividade cambial, comportamento fenológico distinto e anéis de crescimento anuais perfeitamente demarcados no lenho das árvores (Tomazello Filho et al. 2001). Contudo, em climas tropicais e subtropicais, embora existam algumas informações sobre o assunto, há comparativamente um menor avanço nesse campo da pesquisa, em particular no Brasil. Destacam-se os trabalhos realizados por (Ram et al., 2008; Borgaonkar et al., 2010; Souza et al., 2011; Oliveira, 2011; Castro, 2011 e González, 2013) que avaliaram a formação dos anéis de crescimento no lenho de árvores de Teca.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar os anéis de crescimento formados na madeira, determinar a idade e a taxa de crescimento em diâmetro do tronco de *Tectona grandis* e sua relação com as variáveis climáticas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Tectona grandis* L. f.

Inicialmente os plantios de Teca limitavam-se aos países da Ásia Tropical, principalmente Índia, Myanmar e Tailândia, posteriormente, a Teca começou a ser plantada em novas zonas tropicais, particularmente na África Ocidental, América Central e América do Sul, sobretudo no Brasil e Costa Rica, onde os plantios são caracterizados pela elevada densidade de indivíduos e com rotações mais curtas que as praticadas no sudeste asiático (Figueiredo et al., 2005). Apesar de registros de sua introdução no Brasil em 1925 (Sampaio, 1930), a silvicultura da Teca em escala comercial é recente no país. Os primeiros testes com a espécie foram instalados no final dos anos 1960 (Figueiredo, 2001; Delgado et al., 2008).

Segundo Figueiredo et al., (2005) a Teca tem folhas simples, decíduas, largas e ovaladas, espessas, verde-opacas, opostas, tomentosas, ou seja, revestida de pêlos na face abaxial. É de grande porte, rápido crescimento e a sua madeira é considerada nobre, de excelente qualidade. Seu tronco é reto e revestido por uma casca espessa, resistente ao fogo, ao vento e a danos mecânicos. De acordo com a ABRAF (2010), a madeira de Teca é conhecida mundialmente pelo seu efeito decorativo e resistência, por isso é muito apreciada e utilizada em construções navais, na construção civil, na fabricação de assoalhos e decks, sendo também destinada ao setor mobiliário, laminados decorativos e adornos em geral.

O crescimento da Teca varia de acordo com as condições edáficas e climáticas locais, principalmente a precipitação, a umidade relativa e a temperatura (Sinha et al., 2011). No entanto, apresenta melhor desenvolvimento em locais com precipitação anual de 1.250 mm a 3.750 mm, associada a um período de três a cinco meses de seca, e temperatura mínima de 13 °C a 17 °C e máxima de 39 °C a 43 °C (Pandey & Brown, 2000). Segundo estudos de Lamprech (1990) e Lorenzi et al. (2003) é esse ritmo de crescimento sazonal distinto que confere à madeira da Teca suas melhores propriedades.

A madeira possui um alburno estreito e claro, bem distinto do cerne, cuja cor é marrom viva e brilhante. Apresenta massa específica aparente média de 650 kg/m³, com boa resistência a tração e flexão. A madeira apresenta alta estabilidade dimensional, resistindo às variações de temperatura e umidade no ambiente, não apresentando empenamentos e contrações durante a secagem (Lima et al., 2009).

Diversas técnicas de implantação e manejo silvicultural têm sido adotadas nos plantios de *Tectona grandis*, resultando em grande produtividade de madeira, numa rotação relativamente curta, quando comparada com os países de origem (Chagas, 2013). De acordo com Angelli & Stape (2003), normalmente em um ciclo de corte de 25 anos com 4 desbastes, produção média de 250 a 350 m³/ha e produtividade média de 10 a 15 m³/ha/ano, cerca de 50 a 60% da produção total é colhido no corte final, sendo a madeira de primeiro desbaste considerada não comercial, mas pode ser aplicada no meio rural. Todavia, todos os custos de implantação e manutenção são amortizados nos segundo e terceiro desbastes, assim o quarto desbaste e o corte final concentram o resultado econômico do reflorestamento com Teca.

A produtividade destes plantios florestais apresenta números extremamente variáveis (Figueiredo, 2005). Com base em experiências internacionais e observações locais, sugerem-se como prováveis causas as diferenças de sítio (Kaufman, 1968; Drumond, 1974; Matricardi, 1989; Barroso et al., 2005), diferentes condições de manejo florestal (Srimathi & Emmanuel, 1986), diferenças entre procedências (Keiding et al., 1986; Kjaer et al., 1995), baixa qualidade de sementes ou de mudas (Kjaer & Foster, 1996), dentre outros fatores.

2.2 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, o câmbio vascular origina células de parede mais espessa e lume reduzido (Fritz, 1976; Worbes, 1995).

Para Mattos (2011), a dendrocronologia surge como uma ferramenta com potencial de resposta rápida para um grande número de espécies, para aquelas regiões com sazonalidade climática definida. Além das aplicações imediatas com a estimativa de idade e incremento médio, os estudos dos anéis de crescimento abrem campo para desenvolvimento de trabalhos em diversas áreas de pesquisa, como dendroclimatologia, dendroecologia, etc.

Segundo Mattos (1999), os anéis de crescimento podem variar em largura e podem ocorrer variações em uma mesma árvore, entre árvores e entre espécies. Algumas espécies podem ser de crescimento rápido, enquanto outras apresentam crescimento mais lento, sob as

mesmas condições. Em árvores muito velhas, os anéis mais externos tornam-se bem mais estreitos. Em geral, tanto a largura como o padrão de variação de anéis sucessivos são muito influenciados pelas condições de crescimento, sendo importante a disponibilidade de espaço acima e abaixo do solo. Em alguns casos, a largura dos anéis pode ser altamente correlacionada com os dados meteorológicos, principalmente os de precipitação (Tsoumis, 1969).

Durante muito tempo, era quase consenso entre os pesquisadores que somente as espécies crescendo em regiões de clima temperado formariam anéis de crescimento anuais. As árvores de regiões tropicais e subtropicais não apresentariam sazonalidade da atividade cambial, pelas condições climáticas serem consideradas praticamente constantes durante o ano, portanto não formariam anéis de crescimento (Tomazzello Filho et al., 2001). Porém pesquisas têm demonstrado que muitas espécies de árvores tropicais apresentam crescimento intermitente (Callado et al., 2001; Ferreira-Fedele et al., 2004; Mattos et al., 2007; Lisi et al., 2008). As árvores têm mostrado respostas diversas às variáveis ambientais, como temperatura, pluviosidade e umidade relativa do ar, na dinâmica dos seus processos fisiológicos, podendo refletir na atividade cambial e na formação dos anéis de crescimento (Tomazzello Filho et al., 2001).

Formação de anéis de crescimento anuais pela sazonalidade da precipitação pluviométrica foram relatados para *Pterocarpus angolensis*, no Zimbábue (Stahle et al., 1999), *Juniperus procera* em floresta de altitude na Etiópia (Couralet et al., 2005; Wils et al., 2009), para diferentes espécies do Pantanal Mato-Grossense, como *Tabebuia heptaphylla* (Mattos et al., 2004), *Tabebuia impetiginosa* e *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Mattos & Seitz, 2008) e *Diptychandra aurantica* (Mattos et al., 2009); *Prosopis pallida*, no Chile (Lopez et al., 2006); *Aphananthe monoica*, *Pleuranthodendron lindenii* e *Psychotria costivenia*, no México (Yanez-Espinosa et al., 2006), entre outros. Já Hughes (2002), Falcon-Lang (2005), Senkbeil et al. (2007), realizaram estudos que correlacionam os anéis de crescimento anual com as condições meteorológicas.

A dendrocronologia de espécies tropicais e sub-tropicais também tem se mostrado útil em estudos relacionando o crescimento dessas espécies com as mudanças climáticas registradas nas últimas décadas. Battipaglia et al. (2009) estudaram o crescimento de duas espécies normalmente usadas para plantios florestais na Itália, *Abies alba* Mill. e *Picea abies* L. Karst, e seu comportamento em relação às mudanças de clima do passado. Assim como, Schongart et al. (2006) estudaram a relação do crescimento com o clima de 6 espécies tropicais do oeste da África e seu potencial dendrocronológico.

No Brasil, as publicações de Alwim (1964) e Alwim e Alwim (1978) sobre a periodicidade de crescimento das árvores e clima foram os primeiros registros bibliográficos tropicais. Atualmente, importantes estudos foram publicados (Bauch & Dunisch, 2000; Coradin, 2000; Marcati, 2000; Dunisch et al., 2002a; b; 2003; Tanaka, 2005; Fonseca Júnior, 2007; Amano, 2007) relativos à dendrocronologia, idade, taxa de crescimento e reconstrução dos eventos climáticos.

2.3 Dendrocronologia das árvores de *Tectona grandis*

A Teca é um modelo interessante para estudar a formação de anéis em árvore nos trópicos porque normalmente sua madeira forma um anel semiporoso estruturados em distintos anéis anuais, bem como anéis falsos (Priya & Bhat, 1998; Bhattacharyya et al., 2007). Os Anéis de crescimento anuais da Teca podem fornecer informações sobre a produtividade, estrutura etária dos povoamentos florestais e permitir pesquisas dendrocronológicas (Pumijumng et al., 1995; Jacoby & D' Arrigo, 1990; Somaru et al., 2008).

Muitos estudos publicados na literatura especializada demonstram o potencial das árvores de *Tectona grandis* para pesquisas sobre formação de anéis de crescimento e dendrocronologia, destacam-se os trabalhos realizados por (Ram et al., 2008; 2012; Borgaonkar et al., 2010; Deepak et al., 2010; D' Arrigo et al., 2011; González, 2013; Pumijumng, 2013).

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; Pumijumng, 2013). Segundo Pumijumng (2013), Os primeiros estudos de dendrocronologia em árvores de *Tectona grandis* foram realizados por Berlage em 1931, que confeccionou uma série cronológica de anéis de crescimento (400 anos) de árvores de populações naturais em Java, Indonésia.

Na Índia, Borgaonkar et al. (2010) apresentaram índices cronológicos para árvores de Teca de até 523 anos de idade encontradas no Índico Sul. Em seus estudos associaram as variações na largura do anel da Teca com as deficientes chuvas indianas de monção de verão (secas) e do SOI (Índice de Oscilação Sul). 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 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).

Na Tailândia, Pumijumong 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 pre-moção, ocorrente de abril-junho.

Em Myanmar, D' Arrigo et al. (2011) 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 viva – da floresta da região de Kyaukme. Segundo Pumijumong (2013) por Myanmar ainda conter abundantes povoamentos de Teca natural incorporados à arquitetura do país, este recurso poderia ser usado para elucidar a dendrocronologia da região.

A potencialidade da espécie em estudos dendrocronológicos no Brasil foi mostrada no estudo de Tomazello Filho & Cardoso (1999), realizado com árvores de Teca com 31 anos provenientes de Araraquara, no Estado de São Paulo. Recentemente, González (2013) realizou estudos de dendrocronologia para árvores de Teca de plantação da Mata da Pedreira, Piracicaba, SP encontrando bons resultados a respeito da influência climática nas árvores.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é caracterizar os anéis de crescimento formados na madeira e a taxa de crescimento em diâmetro do tronco de *Tectona grandis* e sua relação com as variáveis climáticas.

3.2 Objetivo específico

- (i) Caracterização da estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento.
- (ii) Determinar a idade e taxa de crescimento do tronco em diâmetro das árvores pelos anéis de crescimento anuais.
- (iii) Avaliar a influência das variáveis climáticas no incremento em diâmetro das árvores.

4. HIPÓTESES

As hipóteses testadas foram:

- (i) A espécie *Tectona grandis* plantada no estado de Goiás apresenta formação de anéis de crescimento anuais.
- (ii) Os anéis de crescimento e as taxas de crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Tectona grandis* são influenciados pela sazonalidade climática.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

As amostras de lenho utilizadas neste estudo foram obtidas de árvores de *Tectona grandis* de plantação florestal, localizada na região Sul do Estado de Goiás. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (quente e semi-úmido), com estação seca bem definida (Figura 1). Itumbiara apresenta precipitação média anual de 1365 mm, temperatura média inferior e superior de 19°C e 30°C, respectivamente.

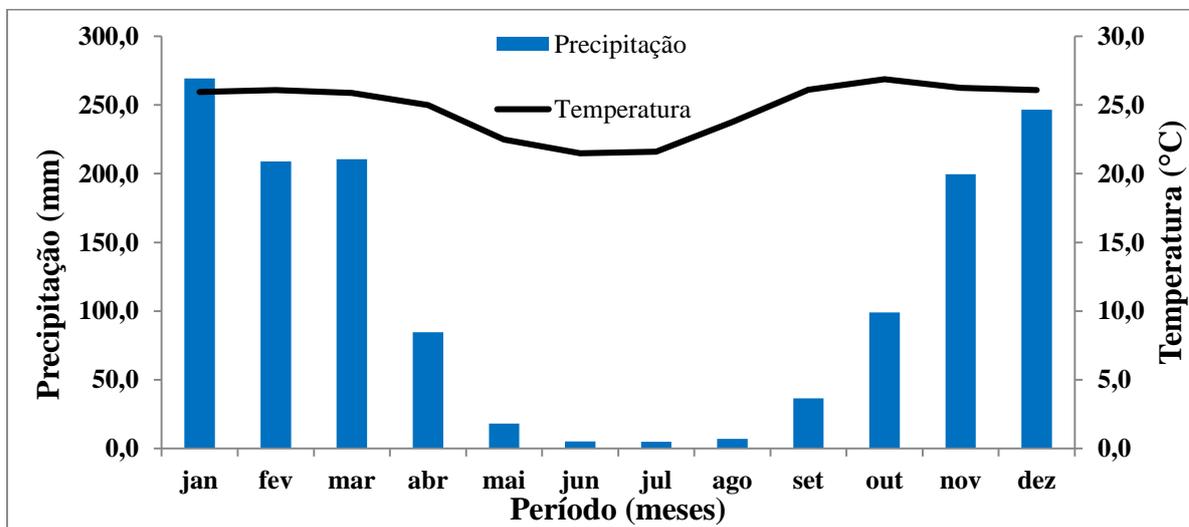


Figura 1 - Precipitação acumulada e temperatura média por mês no período de 2002 a 2013 na área do estudo. Fonte: INMET (2013).

5.2 Seleção das árvores e coleta das amostras do tronco

Foram selecionadas e cortadas cinco árvores de Teca, representativas da classe de área basal média do povoamento. Dos indivíduos selecionados, foram retirados discos de madeira

(Figura 2), de forma destrutiva, na posição basal e levadas para o Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia, do Setor de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás (UFG) para análise.



Figura 2 - Discos de madeira de *T. grandis* com 12 anos de idade.

5.3 Análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores

5.3.1 Anatomia macro e microscópica do lenho

Das amostras do lenho das árvores foram cortados corpos-de-prova (1x1x1,5 cm) orientados no plano transversal, imersos em água + glicerina, proporção 1/1, e levados ao aquecimento para o amolecimento. Em seguida, os corpos de prova foram fixados no micrótomo de deslize e obtidos cortes histológicos transversais finos (15-20 μ m de espessura), transferidos para vidros de relógio, clarificados (hipoclorito de sódio, 20%), lavados (ácido acético, 1%), desidratados (série alcoólica, 20-100%), lavados (acetato de N -Butila), corados (safranina) e montados em lâminas de vidro (bálsamo do Canadá) (Johansen 1940; Sass 1951). As seções do lenho nas lâminas histológicas permanentes foram examinadas em microscópio de luz LEICA, acoplado a uma câmera digital e coletadas as imagens, seguindo-se a descrição anatômica microscópica.

Das amostras do lenho das árvores foram preparados corpos-de-prova, fixados em micrótomo de deslize e realizado o corte (polimento) das seções transversais em navalha de aço. As seções transversais foram examinadas em microscópio estereoscópio LEICA, acoplado a uma câmera digital e coletadas as imagens macroscópicas.

A descrição da estrutura anatômica macro e microscópica dos anéis de crescimento do lenho das árvores foi realizada segundo as “Normas e Procedimentos aplicados na Anatomia da Madeira” do IBAMA (1992) e da “List of Microscopic Features for Hardwood Identification” da IAWA (IAWA, 2004). Esta descrição teve como objetivo principal a

caracterização dos anéis de crescimento, através da identificação de padrões no formato das células que compõem o lenho inicial e final para a detecção da periodicidade da sua formação e consequente determinação da sua anualidade.

5.3.2 Dendrocronologia e Dendroclimatologia

Após a caracterização anatômica macro e microscópica do lenho as amostras passaram pelos procedimentos descritos a seguir:

i) Preparo das amostras e taxa de crescimento do tronco

As amostras em aq disco extraídas de cada árvore foram polidas utilizando-se lixadeira orbital (Figura 3A e B) para evidenciar os anéis de crescimento. Após o polimento, estas amostras foram escaneadas e geradas imagens digitais (resolução: 1200 dpi) para posterior análise em software específico *Image Pro Plus* visando demarcar o limite dos anéis de crescimento (Figura 4).

Os dados de largura dos anéis de crescimento gerados foram exportados para o Microsoft Office Excel para a obtenção dos gráficos de variação anual da largura dos anéis de crescimento e da taxa de incremento das árvores e para o cálculo das taxas de incremento médio anual (IMA), conforme equação 1 e incremento acumulado (IA) do tronco, determinado pela soma dos valores de largura dos anéis de crescimento consecutivos de cada série, considerando o primeiro ano de cada.

$$IMA = \frac{Raio(i)}{n} \quad (1)$$

Onde: IMA: incremento médio anual; Raio: comprimento do raio (mm) no ano i; n: número de anéis de crescimento no raio; i: ano.

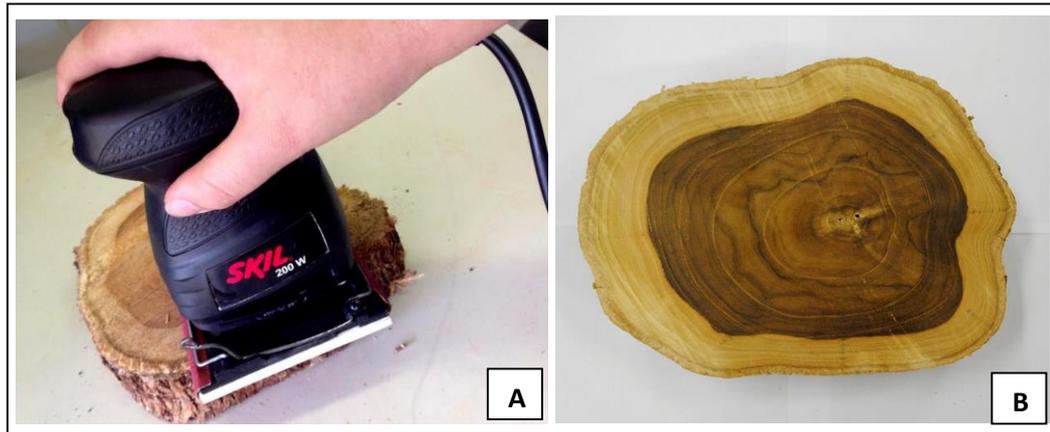


Figura 3 – Preparo das amostras para análise dos anéis de crescimento: polimento (A), amostra após o polimento (B).

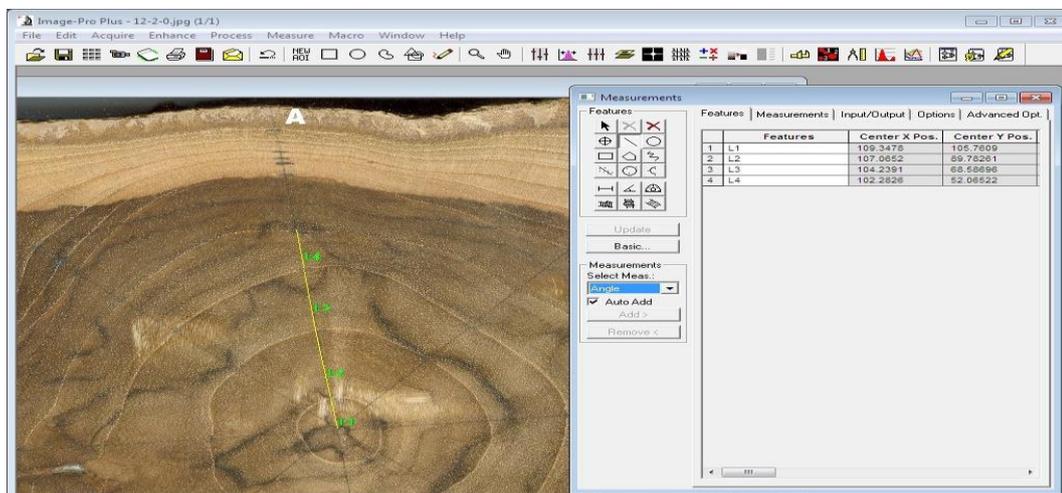


Figura 4 – Seção transversal do lenho de árvore de *Tectona grandis*, com os limites dos anéis de crescimento demarcados e aplicação do software *Image Pro Plus*.

ii) Sincronização dos anéis de crescimento das árvores

Obtida a largura dos anéis de crescimento das amostras do lenho das árvores construíram-se as séries de largura e procedeu-se a sua sincronização. O controle de qualidade e a verificação da sincronização foram feitos aplicando-se o programa COFECHA (Holmes et al. 1986). O programa COFECHA correlaciona coeficientes pela sobreposição dos segmentos de cada série cronológica de anéis de crescimento, com a média construída com todas as demais cronologias (série “master”). Este procedimento verifica, estatisticamente, a datação realizada, identificando as amostras ou segmentos de amostras do lenho das árvores que apresentem problemas de demarcação ou de mensuração dos anéis de crescimento, indicando a possível existência de anéis de crescimento falsos ou ausentes.

iii) Obtenção das séries cronológicas dos anéis de crescimento

Com as séries de anéis de crescimento individuais das árvores de *T. grandis* utilizou-se o software ARSTAN para o desenvolvimento das cronologias. Para evitar que a cronologia final dos anéis de crescimento apresentasse problemas envolvendo tendências relacionadas a sinais não climáticos e outras flutuações singulares no crescimento, Cook (1989) recomenda que cada série de anéis de crescimento seja padronizada através do ajuste das mensurações originais dos anéis de crescimento com uma função exponencial negativa. Através desse processo torna-se possível a maximização do sinal comum de crescimento e a preservação das oscilações de baixa frequência nas séries de crescimento, permitindo um melhor ajuste, com um maior número de séries.

Segundo Holmes (1994), a aplicação da retirada de tendência garante a correção das deficiências de cada ajuste, ou seja, da aplicação de uma função exponencial negativa, garantindo um bom ajuste final para árvores adultas e jovens, respectivamente, que compõem as séries. Como resultados, foram obtidas as cronologias para as séries de cada indivíduo, calculadas em função da média.

Resumidamente, a padronização tem dois objetivos (i) remover as tendências não climáticas, relacionadas com a idade das árvores e (ii) permitir que os valores padronizados de árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, sejam calculados juntos em uma função média. Este processo de padronização tem, também, a vantagem de corrigir 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 (Medeiros et al. 2008).

iv) Resposta climática no crescimento das árvores

As funções de resposta são amplamente utilizadas para descrever a relação existente entre o clima e o crescimento das árvores. Para tanto, as cronologias (índices) de anéis de crescimento das cinco árvores de Teca geradas pelo programa ARSTAN foram comparadas com os valores anuais de temperaturas máxima, mínima e média, precipitação, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor através da aplicação do software JMP.

O resultado é uma função de resposta para cada cronologia, que expressa a relação independente entre o crescimento das árvores e o clima. Para a obtenção da resposta climática no crescimento em diâmetro do tronco das árvores da espécie estudada, foram utilizados os dados meteorológicos dos últimos 12 anos coletados na Estação Meteorológica da Estação

Meteorológica de Itumbiara. O déficit de pressão de vapor (DPV) foi determinado pelo método de Penman-Monteith FAO (Sentelhas et al. 2010) com a pressão de saturação de vapor (e_s) calculada pela temperatura média (TM) e a pressão parcial de vapor (e_a) pela umidade relativa do ar (UR):

$$e_s = 0,611 e^{17,27TM/TM+237} \quad (2)$$

$$e_a = (UR/100) * e_s \quad (3)$$

$$DPV = (e_s - e_a) \quad (4)$$

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise e caracterização dos anéis de crescimento

A partir da análise da seção transversal das amostras de lenho das árvores de Teca foi possível identificar e caracterizar os anéis de crescimento. A Teca apresenta o limite dos anéis de crescimento distintos individualizados por parênquima marginal associado aos vasos de maior diâmetro (Figura 5). Os vasos estão dispostos em anéis semi-porosos, ou seja, poros de diâmetro maior no lenho inicial, início do período de crescimento vegetativo, e diminuição gradativa no lenho tardio, formados no final do período vegetativo.

Esta estrutura anatômica dos anéis de crescimento das árvores de Teca é citada na literatura (Govaere et al. 2003; Castro 2011; Oliveira 2011; Botosso 2011; González 2013), que identificam a conformação dos anéis de crescimento através dos anéis semi-porosos e a presença de faixas de parênquima axial com uma coloração mais clara em relação as fibras.

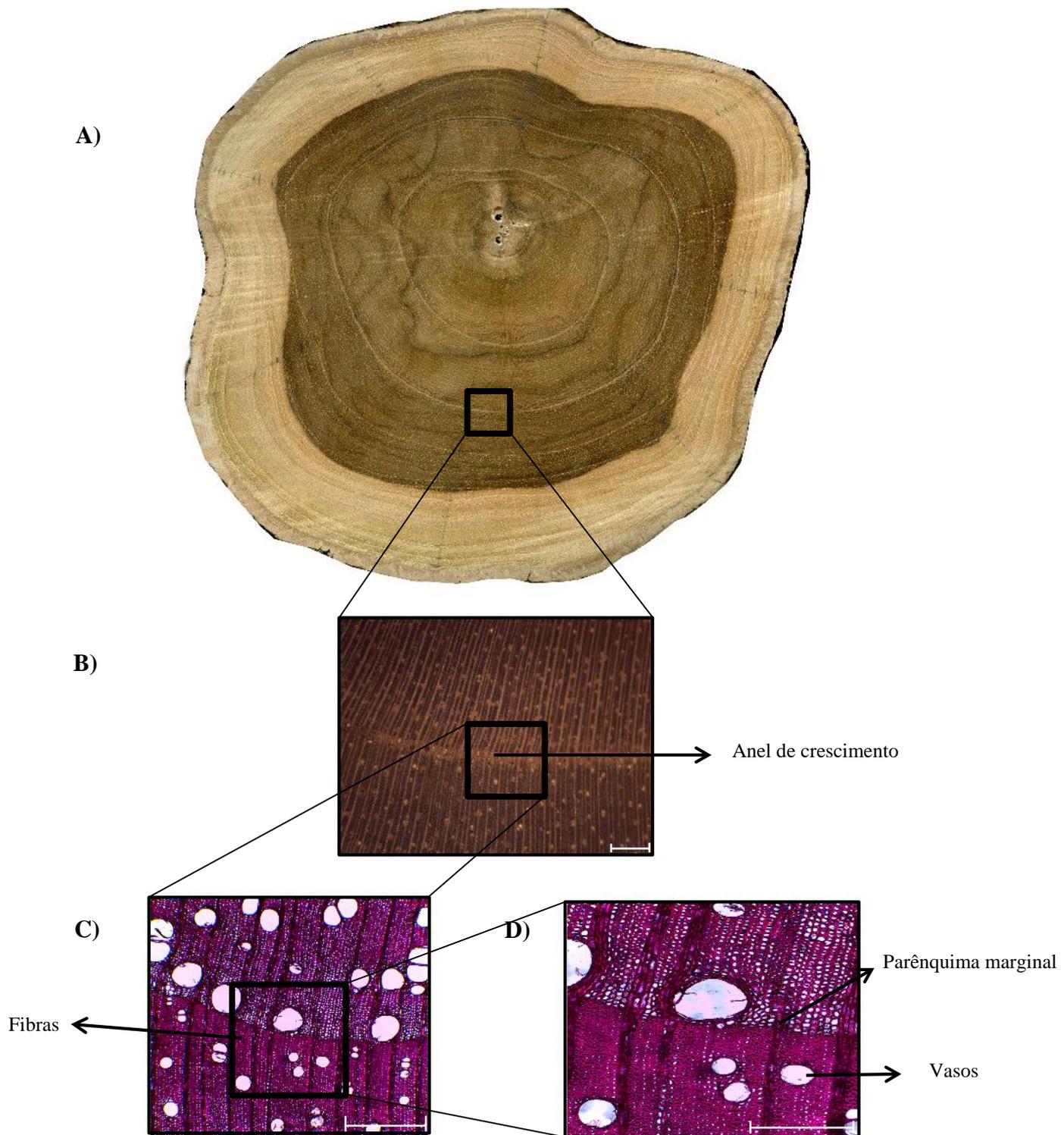


Figura 5 – Características anatômicas do lenho das árvores de *Tectona grandis*. Disco (A); estrutura macroscópica, ampliação 10x, barra 1mm (B); estrutura microscópica, ampliação 40x, barra 1mm (C); estrutura microscópica, ampliação 400x, barra 0,5mm (D); evidenciando o anel de crescimento, fibras de parede celular mais espessa próximo ao parênquima, vasos e parênquima marginal.

6.2 Dendrocronologia: idade e taxa de crescimento em diâmetro do tronco

A análise da estrutura anatômica da madeira de *T. grandis* indica que os anéis de crescimento são mais largos na região interna do lenho, próxima da medula, pelas características da madeira juvenil, formada nos primeiros anos de crescimento do tronco das árvores. Nesta região, a largura dos anéis de crescimento é, muitas vezes, superior a 20 mm. Na madeira formada a partir do sexto ano, observa-se uma redução gradativa da sua largura até a casca, relacionada ao aumento da idade das plantas e a formação da madeira de transição/adulta.

A avaliação da estrutura anatômica macroscópica através da largura dos anéis de crescimento, além de outras propriedades, pode auxiliar na determinação da porcentagem da presença da madeira juvenil e adulta no lenho de espécies nativas. A distinção dos dois tipos de madeira presentes no tronco das árvores é importante sob o aspecto tecnológico, pois as diferenças de comportamento entre elas refletem nas suas propriedades físico-mecânicas e, consecutivamente, no seu uso doméstico ou industrial (Sette Jr et al. 2010).

Obtida a largura dos anéis de crescimento dos discos de madeira das árvores de *T. grandis* construíram-se as séries de largura e procedeu-se a sua sincronização e o controle de qualidade aplicando-se o programa COFECHA, conforme descrito no item 5.3.2. Após o controle de qualidade da datação foram construídas as cronologias utilizando o programa ARSTAN, através da padronização das séries individuais de largura dos anéis de crescimento. Dessa forma, removeram-se as tendências não climáticas, relacionadas com a idade das árvores, procedendo-se o cálculo dos valores padronizados de árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, em uma função média (Figura 7).

O modelo clássico (exponencial negativo) demonstra que as árvores apresentaram maior taxa de crescimento em diâmetro do tronco nos primeiros anos e, ao atingirem a idade adulta, ocorreu uma redução exponencial da largura dos anéis de crescimento, até valores relativamente constantes. A curva de tendência do crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *T. grandis* foi comumente observada, sendo caracterizada por altas taxas de incremento no período inicial e estabilização com o avanço da idade (Figura 7 A) em resposta, por exemplo, ao aumento da competição dos fatores de crescimento (luz, água, nutrientes, etc.).

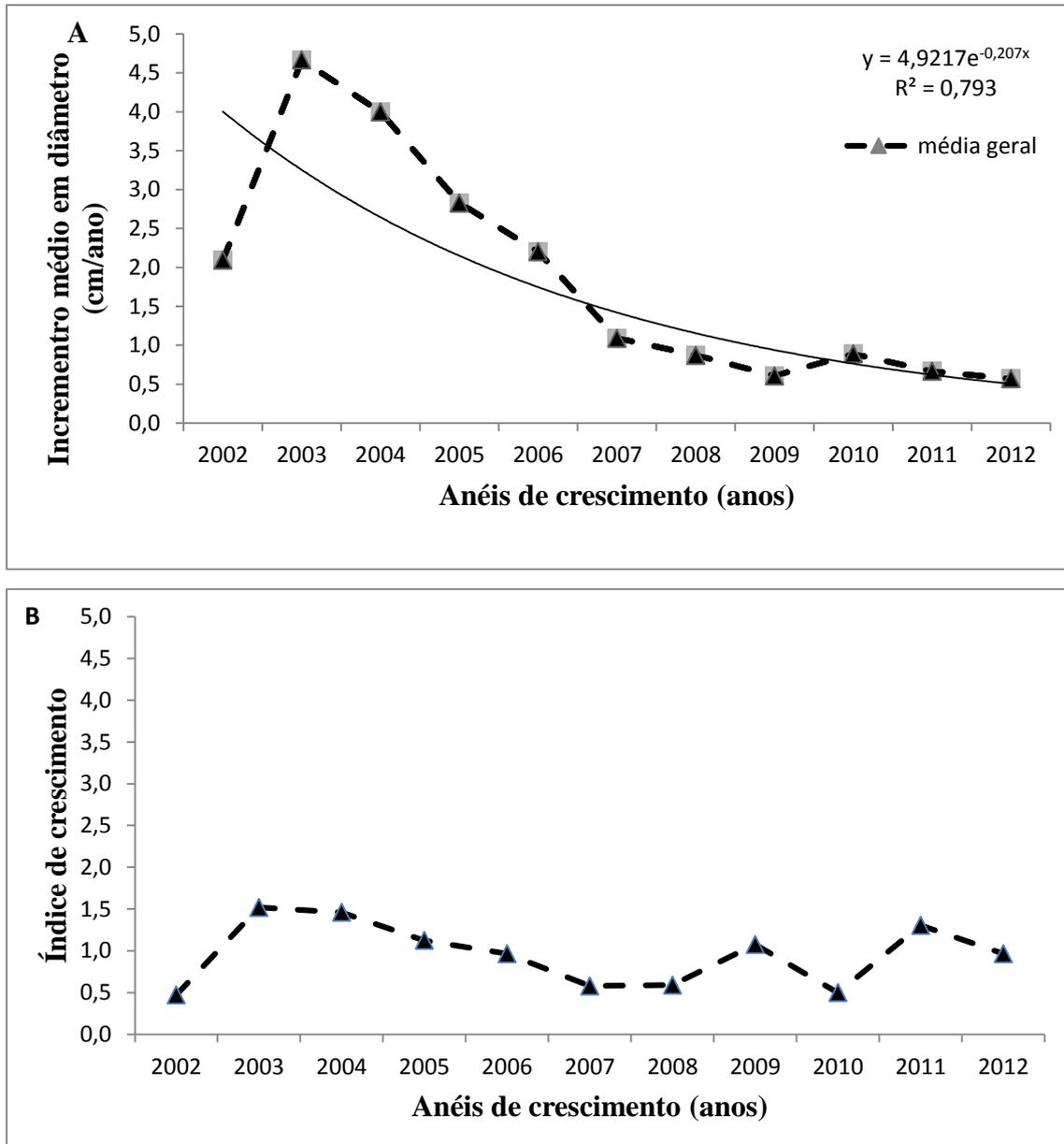


Figura 7 – Curva de tendência do crescimento médio em diâmetro no tronco de árvores de *Tectona grandis* ao longo dos anos; séries cronológicas sem padronização (A) e padronizadas (B).

A qualidade da datação realizada, expressa pelos resultados das correlações e das idades obtidas para as árvores de *T. grandis*, mostrou uma boa sincronização, evidenciando a existência de um sinal comum que permite um bom ajuste entre as séries individuais dos anéis de crescimento. A sincronização conjunta da série de anéis de crescimento do lenho das árvores, obtida através da datação cruzada apresentou correlações significativas (0,74 a 0,99), indicando que as árvores respondem de maneira semelhante (sincronizada) aos fatores ambientais durante o seu desenvolvimento. Radaeli Neto et al. (2011) analisou 12 árvores de Teca plantadas em

área urbana 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 sincronização de crescimento ($r=0,60$).

Apesar das árvores estudadas serem provenientes de plantação florestal, a datação das amostras de lenho indicou a idade de 12 anos, confirmada pela data da sua implantação. A avaliação do crescimento em diâmetro das árvores, através dos parâmetros de incremento médio anual (IMA) e de incremento acumulado (IA) (Figura 8) indica que, de modo geral, as árvores apresentam similaridades no ritmo de crescimento.

O incremento médio anual (IMA) em diâmetro do tronco das árvores (Figura 8 A) foi, de maneira geral, maior nos primeiros anéis de crescimento (2,1-4,7 cm), período de menor competição entre as árvores pelos fatores que induzem o crescimento, formando a madeira denominada juvenil. Com o avanço da idade das árvores e consequente aumento da demanda por nutrientes, água, e outros recursos, o IMA diminui consistentemente tendendo a estabilização a partir do sexto ao décimo ano (1,1-0,7 cm), indicando a formação da madeira denominada adulta. Conforme mencionado, a madeira adulta é a que apresenta as melhores propriedades tecnológicas e permite um uso industrial.

O incremento médio anual, considerando as cinco árvores de Teca analisadas foi de 1,9 cm. Oliveira (2011) e Pelissari et al. (2013) em seus estudos encontraram valores de incremento médio anual em diâmetro de 1,8 cm e 2,2, respectivamente, para a Teca, corroborando com os resultados encontrados.

A mensuração do incremento acumulado do tronco, através da análise dos anéis de crescimento (Figura 8 B), indica as diferenças no ritmo de crescimento das cinco árvores de Teca ao longo dos anos. A partir do sexto ano nota-se uma pequena variação no ritmo de crescimento das árvores evidenciando o maior potencial das árvores 1 e 4 na assimilação dos fatores de crescimento, sejam água e nutrientes do solo ou da luz solar.

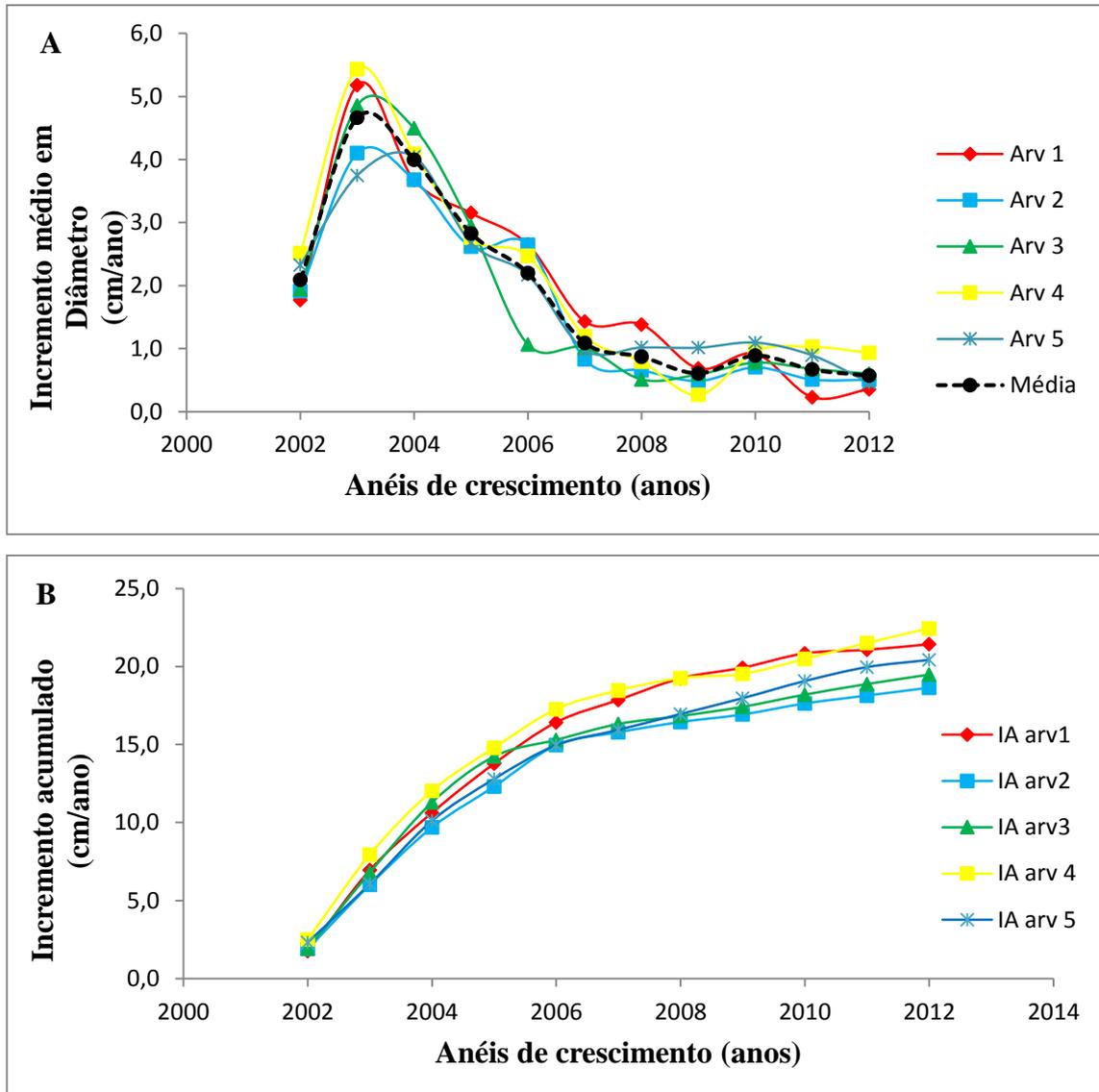


Figura 8 – Incremento médio (A) e acumulado (B) em diâmetro de árvores de *T. grandis*.

A potencialidade da espécie em estudos dendrocronológicos no Brasil foi denotada no estudo de Tomazello Filho & Cardoso (1999), realizado com árvores de Teca com 31 anos provenientes de Araraquara, no Estado de São Paulo. Nos países asiáticos de onde a espécie é originária, como Indonésia, Tailândia, Java e Índia, há diversas citações na literatura sobre a utilização da espécie em reconstruções climáticas com alta resolução (Pant & Borgaonkar 1983; Murphy & Whetton 1989; Jacoby & D'Arrigo 1990; Bhattacharayya et al. 1992; D'Arrigo et al. 1994; Pumijumng et al. 1995).

6.3 Dendroclimatologia: variáveis climáticas x crescimento em diâmetro do tronco

A relação entre o incremento médio em diâmetro do tronco das árvores de *T. grandis* e as variáveis climáticas – e sua ordem de importância – foi estudada através da análise de regressão múltipla e da correlação de Pearson, considerando-se como repetições o índice de crescimento médio de cada anel de crescimento calculado pelo software Arstan (Figura 7B). Os modelos ecofisiológicos devem ser desenvolvidos para explicar a variação do crescimento das árvores em função das condições climáticas (Sette Jr et al. 2013), não se constituindo, no entanto, no objetivo do presente trabalho.

Na análise de regressão foram retiradas as variáveis não significativas, precipitação, temperaturas máxima, média e mínima e umidade relativa, de menor interesse na determinação da variação do incremento em diâmetro do tronco. Desta forma, a variável analisada para explicar o incremento em diâmetro do tronco, em regressão Stepwise (5% probabilidade) foi selecionado o DPV (déficit de pressão de vapor) para compor o modelo de regressão (eq. 4). Essa variável explica 50% da variação total do incremento em diâmetro do tronco (Tabela 2).

$$\text{Incremento} = 3,9231 - 2,8245 (\text{DPV}) \quad (4)$$

A variável selecionada para compor o modelo de regressão, o DPV (déficit de pressão de vapor), é inversamente proporcional ao crescimento em diâmetro do tronco, com coeficiente de correlação de Pearson de -0,70 indicando que, quanto menor o DPV, maior será o crescimento em diâmetro do tronco das árvores de Teca ou o inverso, confirma a alta sensibilidade do crescimento em relação à variação da disponibilidade de umidade no ambiente. As relações entre a formação dos anéis de crescimento e a qualidade da madeira e as variáveis climáticas têm sido amplamente estudadas, sendo Baas (1973) e Carlquist (1975) os pioneiros nesta abordagem da anatomia da madeira. Trabalhos posteriores, desenvolvidos em exemplares arbóreos tanto de regiões temperadas quanto tropicais, constataram que as variações ambientais se refletem na estrutura do lenho (Sette Jr et al. 2010).

Os resultados da regressão múltipla indicam que as variações do incremento do tronco em diâmetro das árvores de *T. grandis* estão relacionadas com o déficit de pressão de vapor. O déficit de pressão de vapor por sua vez possui forte correlação negativa com a umidade (-0,96) e a precipitação (-0,80) e boa correlação positiva com a temperatura média do ar (0,54).

Tabela 2 – Análise de regressão múltipla entre o incremento no tronco de árvores *Tectona grandis* e as variáveis climáticas.

Passos	Precipitação	Temperatura máxima	Temperatura Média	Temperatura mínima	UR ¹	DPV ²	R ²
1	1,0 ³	15,9	22,9	19,5	16,4	24,6	0,59
2	1,5	22,4	39,7	27,2	ns	9,8	0,58
3	ns ⁴	22,4	40,6	28,0	ns	8,9	0,58
4	ns	ns	29,5	32,4	ns	38,1	0,53
5	ns	ns	ns	15,3	ns	84,7	0,51
6	ns	ns	ns	ns	ns	100	0,50

1 Umidade Relativa do Ar; 2 Déficit de Pressão de Vapor; 3 Os valores colocados abaixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (betas) e representam a proporção com que cada variável contribui para a determinação da variável dependente, explicada pela regressão; 4 O símbolo “ns” indica que a variável independente se mostrou não significativa para o nível de probabilidade de $p < 0,05$.

Segundo Costa & Marengo (2007) e Monteiro (2013), baixos níveis de umidade associados ao aumento de temperatura na folha podem afetar o déficit de pressão de vapor, ao qual o estômato da planta é sensível. Para Taiz & Zeiger (2004), quanto maior o DPV, maior a tendência da planta perder água. No ar com umidade relativa alta, o gradiente de difusão que move a perda de água é aproximadamente 50 vezes maior que o gradiente que promove a absorção de CO². Portanto, o DPV é uma variável que impulsiona a transpiração e altos valores ao longo do dia causam o fechamento estomático e reduzem o crescimento (Almeida 2003).

A análise dos anéis de crescimento das árvores possibilita a identificação e a reconstrução das alterações ambientais naturais, da dinâmica de populações florestais e da variação dos recursos hídricos e edáficos, além de possibilitar a avaliação dos efeitos dos ventos, de ataques de insetos e microorganismos, da presença de metais pesados no ambiente e da ação antrópica (Botosso & Mattos 2002), se constituindo, portanto, em excelente ferramenta de análise do histórico de uma determinada região.

7. CONCLUSÕES

A anatomia do lenho propiciou a caracterização, a identificação e a demarcação dos anéis de crescimento anuais no lenho das árvores de Teca.

A taxa de crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *T. grandis* é fortemente influenciada pela sazonalidade climática, principalmente pelo déficit de pressão de vapor no ambiente, sendo o único significativo.

A avaliação dos anéis de crescimento anuais formados no lenho das árvores de *T. grandis* se mostrou eficiente na determinação da idade e da taxa de crescimento em diâmetro do tronco.

8. RECOMENDAÇÕES

São apresentadas sugestões para futuras pesquisas em dendrocronologia fundamentadas nas metodologias aplicadas e nos resultados obtidos:

(i) Apesar dos dados encontrados serem bons indicativos de crescimento da espécie *T. grandis*, requer-se que seja utilizada maior quantidade de amostragens e que novas espécies sejam estudadas para determinar o seu potencial dendrocronológico.

(ii) a avaliação da atividade cambial e da fenologia das árvores das espécies, visando uma maior compreensão da periodicidade da formação dos anéis de crescimento e das relações entre o crescimento das árvores, dos fatores climáticos, da senescência e queda de folhas das árvores.

(iii) a utilização de outras metodologias para a detecção da periodicidade da atividade cambial e, conseqüentemente, da formação dos anéis de crescimento na madeira como a densitometria de raios x, aplicação de dendrômetros permanentes instalados no tronco das árvores, marcações cambiais, e outros.

(iv) os modelos ecofisiológicos devem ser desenvolvidos para explicar melhor a variação do crescimento das árvores em função das condições climáticas.

9. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. **Application of a process-based model for predicting and explaining growth in Eucalyptus plantations**. 2003. 232p. Thesis (Doctor of Philosophy) – The Australian National University, Canberra, 2003.

ALVIM, P. T. & ALVIM, R. Relation of climate to growth periodicity in tropical trees. P. 445-468. En: Tomlinson, P.B. & M.H. Zimmermann (eds.) *Tropical Trees as Living Systems*. Cambridge University Press, Cambridge. 1978.

ALVIM, P. T. Tree growth periodicity in tropical climates. Pp. 479-495. En: Zimmermann, M.H. (ed.) *The Formation of Wood in Forest Trees*. Academic Press, Nueva York. 1964.

AMANO, E. **Pau-Brasil, madeira e casca: formação, desenvolvimento e estrutura**. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 107 p. 2007.

ANGELLI, A.; STAPE, J.L. *Tectona grandis* (Teca). Identificação de Espécies Florestais: IPEF. Piracicaba, SP. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS-ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. Brasília, DF. 140p, 2010. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatistica_s.asp>. Acesso em: 13 out. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012**. Brasília-DF: 2013. 142 p. Disponível em:<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf>. Acesso em: 06 out. 2013.

BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; PEREIRA, R. C.; MENDONÇA, A. V. R.; SILVA, L. C. Diagnóstico de deficiência de macronutrientes em mudas de Teca. **Revista Árvore**. v.29, n.5, p.671-679, 2005.

BAAS, P. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. **Blumea**, Leiden, v. 21, p. 193-258, 1973.

BATTIPAGLIA, G.; SAURER, M.; CHERUBINI, P; SIEGWOLF, R. T. W.; COTRUFO, F. Tree rings indicate different drought resistance of a native (*Abies alba* Mill.) and a nonnative (*Picea abies* (L.) Karst.) species co-occurring at a dry site in Southern Italy. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 820–828, 2009.

BAUCH, J. & DUNISCH, O. Comparasion of growth dynamics and wood characteristics of plantation growth and primary forest *Carapa guianensis* in Central Amazonia. **IAWA Journal** 21: 321-333. 2000.

BHATTACHARYYA, A.; YADAV, R. R.; BORGAONKAR, H. P. ; PANT, G. B. Growth-ring analysis of Indian tropical trees. **Curr. Sci.**, n. 62, p. 736–741. 1992.

BHATTACHARYYA, A.; ECKSTEIN, D.; SHAH, SK.; CHAUDHARY, V. Analyses of climatic changes around Perambikulam, South India, based on earlywood mean vessel area of teak. **Current Science** 93: 1159–1164. 2007.

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.

BORGAONKAR, H.P.; SIKDER, A.B.; RAM, S.; PANT, G.B. El Niño and related monsoon drought signals in 523-year-long ring width records of teak (*Tectona grandis* L.F.) trees from south India. **Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol** 285:74–84. 2010.

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

BOTOSSO, P.C.; MATOS, P.P. Conhecer a Idade das Árvores: Importância e Aplicação. **Colombo** : Embrapa Florestas, 2002. 25 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 75).

CALLADO, C. H.; SILVA NETO, S. J.; SCARANO, F. R.; BARROS, C. F.; COSTA, C. G. Anatomical features of growth rings in flood-prone trees of the Atlantic rain forest in Rio de Janeiro, Brazil. **IAWA Journal**, Leiden, v. 22, n. 1, p. 29-42, 2001.

CARLQUIST, S. Ecological strategies in xylem evolution. **University of California Press**, Berkeley. 1975.

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. 102p. Dissertação (Mestrado em ciências florestais)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CHAGAS, S. F. **Propriedades da madeira de *Tectona grandis* (L. f.), visando a sua utilização para peças preservadas.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.2013. 88f.

COOK, E.R. A conceptual linear aggregate model for tree rings. **In**: COOK, E.R.; KARIUSTUS, A. (Ed.). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. p. 102-103.

CORADIN, V. T. **Formação de anéis de crescimento e sazonalidade da atividade cambial de dez espécies lenhosas do cerrado.** Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade de Brasília, Brasília-DF. 125 p. 2000.

COSTA, G.da; MARENGO, R. A. Fotosíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Revista Acta Amazônica**, Manaus, v.37, n.2, p.:229-234, 2007.

COURALET, C.; SASS-KLAASSEN; U., STERCK; F., BEKELE, T.; ZUIDEMA, P. A. Combining dendrochronology and matrix modeling in demographic studies: an evaluation for *Juniperus procera* in Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 216, p. 317-339, 2005.

D'ARRIGO, R.; PALMER, J.; UMMENHOFER, C.C.; KYAW, N.N.; KRUSIC, P. Three centuries of Myanmar monsoon climate variability inferred from teak tree rings. **Geophys Res Lett** 38:L24705. doi:10.1029/2011GL049927. 2011.

D'ARRIGO, R.; G. C. Jacoby & P. J. Krusic. Progress in Dendroclimatic Studies in Indonesia. **Journal of TAO** (Terrestrial, Atmospheric and Oceanographic) Sciences 5: 349-363. 1994.

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.

DELGADO, L. G. M.; GOMES, J. E.; ARAUJO, H. B. Análise do sistema de produção de Teca (*Tectona grandis* L.f.) no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v.11, n. 1, p. 1-6, 2008.

DRUMOND, O. A. Considerações sobre as covas para o plantio das essências florestais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2., 1973, Curitiba. **Anais**. Curitiba: FIEP, 1974. p.

DUNISCH, O.; AZEVEDO, C. P.; GASPAROTTO, L.; MONTOIA, G. R.; da SILVA, G. J. & SCHWARZ, T. Ligth, water and nutrient demand for the growth of three high quality timber species (Meliaceae) of the Amazon. **Journal Applied Botany** 76: 29-40. 2002b.

DUNISCH, O.; BAUCH, J. & GASPAROTTO, L. Cambial growth dynamics and formation of increment zones in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis*, and *Cedrela odorata* (Meliaceae). **IAWA Journal** 23: 101-119. 2002a.

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

ESTAÇÃO EVAPORIMÉTRICA DE GOIÂNIA. Boletim meteorológico anual - período de 2002 a 2012. Disponível em: <http://agro.ufg.br/pages/63545>. Acesso em: 12 de abril de 2014.

FALCON-LANG, H. J. Global climate analysis of growth rings in woods, and its implications for deep-time paleoclimate studies. **Paleobiology**, v. 31, n. 3, p. 434-444, 2005.

FERREIRA-FEDELE, L.; TOMAZELLO, M.; BOTOSSO, P. C.; GIANNOTTI, E. Periodicidade do crescimento de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (guarantã) em duas áreas da região Sudeste do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, [s.v], n.65, p.141-149, 2004.

FIGUEIREDO, E. O. **Reflorestamento com Teca (*Tectona grandis* L. F.) no Estado do Acre. Rio Branco, AC**: Embrapa Acre, 2001. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 65).

FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, L. C.; BARBOSA, L. K. F. **Teca (*Tectona grandis* L.f.): principais perguntas do futuro empreendedor florestal**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. 89 p. il. (Embrapa Acre, documento, 97).

FONSECA Jr., S. F. **Avaliação do crescimento da madeira de *Tabebuia barbata* e *Vatairea guianensis*, duas espécies arbóreas em florestas alagáveis do igapó e várzea, na Amazônia Central, por dendrocronologia**. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 30 p. 2007.

FRITZ, H. C. *Tree rings and climate*. New York: **Academic Press**, 1976. 576 p.

GONZÁLEZ, A. D. V.; **Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da Mata da Pedreira, campus da ESALQ-USP**. Tese de Mestrado, Piracicaba- SP. 142p. 2013.

GOVAERE, G.; CARPIO, I.; CRUZ, L. **Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis***. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 15 f. 2003.

HOLMES, R. L.; ADAMS, R. K.; FRITTS, H. C.; **Treering chronologies of western north America**: California, eastern Oregon and northern Great Basin with procedure used in the chronology development work including User's Manual for computer programs COFECHA and ARSTAN; Chronology Series-VI, Laboratory of tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, USA. 1986.

HOLMES, R.L. **Dendrochronology**: program manual. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, 1994. 40 p.

HUGHES, M. K. Dendrochronology in climatology: the state of the art. **Dendrochronologia**, v. 20, n. 1-2, p. 95-116, 2002.

IAWA COMMITTEE. IAWA List of microscopic features for softwood identification. **IAWA Journal**, Leiden, v. 25, n. 1, p. 1-70, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: angiospermae e gimnospermae**. Brasília, 1992. 17 p. (Série Técnica, 15).

INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/agro.php?lnk=HídricoClimático>. Acesso em: 10 de abr. 2014.

JACOBY, G.C.; D'ARRIGO, R.D. Teak (*Tectona grandis* L.f.), a tropical species of large-scale dendroclimatic potential. **Dendrochronologia** 8: 83–98. 1990.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: MacGraw-Hill, 1940. 533 p.

KAENNEL, M. & F. H. SCHWEINGRUBER. 1995. **Multilingual glossary of dendrochronology**. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP. Paul Haupt Publisher. Berne. 463 p.

KAUFMAN, C. M. Teak production and culture in Thailand. **Journal of Forestry**, v. 66, n. 5, p. 396-399, 1968.

KEIDING, H.; WELLENDORF, H.; LAURIDSEN, E.B. **Evaluation of an international series of teak provenance trials**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 1986. 81 p.

KJAER, E. D.; FOSTER, G. S. **The economics of tree improvement of teak**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre. 1996. 17 p.

KJAER, E. D.; LAURIDSEN, E. B.; WELLENDORF, H. **Second evaluation of an international series of teak provenance trials**. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 1995. 117 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas** – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: Deutsche Gesellschaft Fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990. 343 p.

LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. f. **Revista Cerne**, Lavras, MG, V. 15, n. 2, p. 244-250. 2009.

LISI, C. S.; TOMAZELLO Fo., M.; BOTOSSO, P. C.; ROIG, F. A.; MARIA, V. RB.; FERREIRA-FEDELE, L. & VOIGT, A. RA. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. **IAWA Journal** 29(2): 189-207. 2008.

LOPEZ, B. C.; RODRIGUEZ, R.; GRACIA, C. A.; SABATE, S. Climatic signals in growth and its relation to ENSO events of two *Prosopis* species following a latitudinal gradient in South America. **Global Change Biology**, v. 12, p. 897–906, 2006.

LORENZI, H. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003. 384 p.

MARCATI, C. R. **Sazonalidade cambial em espécies tropicais**. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 147 p. 2000.

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

MATTOS, P. P. **Identificação de anéis de crescimento anuais e estimativa da idade e incremento anual em diâmetro do tronco de espécies nativas do pantanal da Nhecolândia**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 97 p. 1999.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; HESS, A. F. SALIS, S. M. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. Corumbá : Embrapa Pantanal, 2011. 37 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 112).

MATTOS, P. P. de; SEITZ, R. A.; SALIS, S. M. de. Potencial dendroecológico de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 48, p. 93-103, jan./jul. 2004.

MATTOS, P. P. de; SEITZ, R. A. Growth dynamics of *Anadenanthera colubrine* var. *cebil* and *Tabebuia impetiginosa* from Pantanal Mato-grossense, Brazil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 18, n. 4, p. 427-434, out./dez. 2008.

MATTOS, P. P. de; SALIS, S. M. de; LEHN, C. R.; SORIANO, B. M. A. **Crescimento diamétrico de carvão-vermelho (*Diptychandra aurantiaca*) no Pantanal Mato-grossense**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 244).

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do município de Candói, PR. **Notas Científicas**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, [s.v.], n.54, p. 153-156, 2007.

MEDEIROS, J. G. S.; TOMAZELLO FILHO, M. T.; 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.

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.

MONTEIRO, D. C. A. **Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá (*Schyzolobium parahyba* Var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba-SP. 2013.

MURPHY, J. O. ; WHETTON, P. H. A re-analysis of tree-ring chronology from Java; Proce. koninkl. Nederl. **Akad. Wetensch.**, n. 92, 241–257 p.1989.

OLIVEIRA, B. R. U. **Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de árvores de *Tectona grandis* L.f., do município de Cáceres, MT**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2011.

PANT, G. B. ; BORGAONKAR, H. P. Growth rings of teak trees and regional climatology (An ecological study of Thane region); **In: Environmental Management** (eds) Singh L R, Singh S, Tiwari R C and Srivastava R P, Geogr. Soc. Allahabad, India, p. 153–158. 1983.
PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R. Desenvolvimento Quantitativo e Qualitativo de *Tectona grandis* L. f. em Mato Grosso. **Floresta e Ambiente**, 2013. 20(3):371-383.

PRIYA, P.B.; BHAT, K.M. False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.f.) and the influence of environmental factors. **Forest Ecology and Management** 108: 215–222. 1998.

PUMIJUMNONG, N. Dendrochronology in Southeast Asia. **Trees** (2013) 27:343–358.

PUMJIUMNONG, N.; ECKSTEIN, D.; SASS, U. Tree-ring research on *Tectona grandis* in Northern Thailand. **IAWA Journal** 16: 385–392. 1995.

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.; 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.

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.

SAMPAIO, A. J. Teca da Índia e a do Brasil. **Revista Floresta**, v. 1, n. 9, p. 7-10, 1930. São Paulo.

SASS, J. E. Botanical microtechnique. 2.ed. **Iawa**: State College Press, 1951, 228 p.

SCHONGART, J.; ORTHMANN, B.; HENNENBERG, K. J.; POREMBSKI, S.; WORBES, M. Climate–growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction. **Global Change Biology**, v. 12, n. 7, p. 1139-1150, 2006.

SENKBEIL, J. C.; RODGERS, J. C.; SHERIDAN, S. C. The sensitivity of tree growth to air mass variability and the Pacific Decadal Oscillation in coastal Alabama. *Int J Biometeorol.* **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 6, p. 483-491, 2007.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**. v. 97, n. 05, p. 635-644, 2010.

SETTE Jr C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS C. T. S.; LACLAU, J. P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. EX. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore** 34:979-990. 2010.

SETTE Jr, C.R. et al. Source-driven remobilizations of nutrients within stem wood in *Eucalyptus grandis* plantations. **Trees**, v. 27, n. 4, p. 827-839. 2013.

SINHA, S. K.; DEEPAK, M. S.; RAO, R. V.; BORGAONKAR, H. P. Dendroclimatic analysis of teak (*Tectona grandis* L. f.) annual rings from two locations of peninsular India. **Current Science** 2011; 100(1):84-88.

SOMARU R.; 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 Sciences** 117: 637–645. 2008.

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.

SRIMATHI, R. A.; EMMANUEL, C. J. S. K. Improved teak seeds-management and economics. **Journal of Tropical Forestry**, v. 2, n. 4, p. 256-268, 1986.

STAHLE, D. W.; MUSHOVE, P. T.; CLEAVELAND, M. K.; ROIG, F.; HAYNES. G. A. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**, v. 124, p. 217-229, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TANAKA, A. **Avaliação de anéis de crescimento de espécies florestais de terra-firme no município de Novo Aripuanã, estado do Amazonas**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 194 p. 2005.

TSOUMIS, G. **Wood as raw material**. London: Pergamon Press, 1969. 263p.

TOMAZELLO Filho, M.; CARDOSO, N.S. Seasonal variations of the vascular cambium of *Tectona grandis* in Brazil. P. 45-67. **En: Wimmer, R. & R. E. Vetter (eds.) Tree-ring Analysis: Biological Methodological and Environmental Application**. CABI Publishing, Oxford. 1999.

TOMAZELLO Fo., M. Estrutura anatômica da madeira de 8 espécies de eucaliptos no Brasil. **Revista IPEF**, 29:25-32. 1985.

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

WILS, T. H. G.; ROBERTSON, I.; ESHETU, Z.; C, SASS-KLAASSEN, U. G. W.; KOPROWSKI, M. Periodicity of growth rings in *Juniperus procera* from Ethiopia inferred from crossdating and radiocarbon dating. **Dendrochronologia**, v. 27, p. 45–58, 2009.

WORBES, M.; KLOSA, D.; LEWARK, S. Density fluctuation in annual rings of tropical timbers from central Amazonian inundation forests. *Holz Als Roh-und Werkstoff* 53: 63-67. 1995.

YANEZ-ESPINOSA, L.; TERRAZAS, T.; LOPEZ-MATA, L. Integrated analysis of tropical trees growth: A Multivariate Approach. **Annals of Botany**, v. 98, p. 637–645, 2006.