

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de
árvores de *Tectona grandis* L.f., do município de Cáceres, MT**

Bruna Roque Ugulino de Oliveira

2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de
árvores de *Tectona grandis* L.f., do município de Cáceres, MT**

Bruna Roque Ugulino de Oliveira

Sob a orientação do Professor Dr.
João Vicente de Figueiredo Latorraca

e Co-orientação da Professora Ph.D
Rosilei A. Garcia

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ
Março de 2011

582.16

O48d

T

Oliveira, Bruna Roque Ugulino de,
1985-

Dendrocronologia e análise da
variação radial da densidade do
lenho de árvores de tectona grandis
L.f., do município de Cáceres, MT /
Bruna Roque Ugulino de Oliveira -
2011.

78 f.: il.

Orientador: João Vicente de
Figueiredo Latorraca.

Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Curso de Pós-Graduação
em Ciências Ambientais e
Florestais.

Bibliografia: f. 35-43.

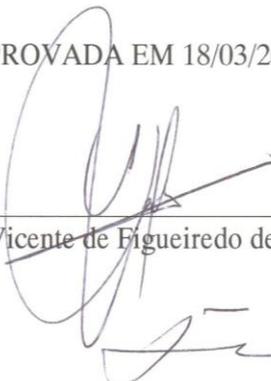
1. Dendrocronologia - Teses. 2.
Árvores - Anéis de crescimento -
Teses. 3. Teca (Árvore) - Teses. I.
Latorraca, João Vicente de
Figueiredo, 1962-. II. Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro.
Curso de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais e Florestais. III.
Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

BRUNA ROQUE UGULINO DE OLIVEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18/03/2011



João Vicente de Figueiredo de Latorraca. Prof. Dr. UFRRJ.

Fidel A. Roig. Prof. Dr. IANIGLA



Alexandre Monteiro de Carvalho. Prof. Dr. UFRRJ



Mário Tomazello Filho. Prof. Dr. ESALQ/USP

Dedico

A essa força superior que me guia e protege sempre, na fé de que um dia eu possa compreendê-la.

À rosa mais linda do meu jardim, Rose, por me amar tanto e me ensinar a ser mais valente sem jamais perder a ternura.

Ao meu amado Roque, por ser esse paizão que é e, por ter me ensinado a ser o que sou.

Ao meu irmão, Vi, pela amizade e amor que nos une.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor e orientador Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca pelos ensinamentos, amizade e acreditar novamente em meu trabalho.

À Professora Dr.^a Rosilei A. Garcia pela amizade, apoio e disponibilidade sempre que precisei.

Ao Professor Dr. Roger E. Hernández e a todos do Centre de Recherche sur le Bois (CRB), pertencente a Université Laval, Québec-Canadá, pelo carinho e apoio na realização prática desse estudo.

Ao Professor Carlos Alberto Passos (*in memoriam*) por ter sido o grande incentivador do uso potencial da teca, responsável pelo plantio experimental da espécie no Campus de Cáceres e pela obtenção do material do presente estudo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, Campus Cáceres por conceder o material de estudo, em especial ao Professor Reginaldo Antônio Medeiros pela amistosa recepção e aos alunos que participaram generosamente na coleta do material.

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela bolsa de estudos concedida durante a pesquisa.

Ao Department of Foreign Affairs and International Trade (Canadá), o Programa Emerging Leaders in the Americas (ELAP) e funcionários por conceder apoio financeiro para a realização prática do trabalho.

A todos do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira de UFRRJ, obrigado pelos momentos de descontração e a ajuda durante o processo do estudo.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

A todos da família pelo amor, carinho e apoio que sempre me deram, pois tê-los por perto foi essencial para que chegasse até aqui.

Aos meus grandes amigos de todo o sempre e aos novos amigos que fiz pelo carinho, apoio, risadas e momentos felizes.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma participaram desta importante e magnífica etapa da minha vida.

“Conhecer não é demonstrar nem explicar, é aceder à visão.”

(Antoine de Saint-Exupéry)

RESUMO

OLIVEIRA, Bruna Roque Ugulino de. **Dendrocronologia e análise da variação radial da densidade do lenho de árvores de *Tectona grandis* L.f., do município de Cáceres, MT.** 2011. 97p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

Visando o entendimento da influência de fatores climáticos nos mecanismos da formação do xilema secundário e na propriedade de densidade da madeira, 15 árvores de *Tectona grandis* L.f. (teca) foram selecionadas e tiveram quatro amostras radiais retiradas na altura do DAP (1,30 m), através do método não-destrutivo com a sonda Pressler (6 mm de diâmetro). A estrutura macroscópica dos anéis de crescimento da teca foi caracterizada, determinando-se o seu número, largura e aplicadas técnicas de dendrocronologia. Dados de precipitação e temperatura obtidos através de séries históricas de estações meteorológicas de Cáceres, Estado do Mato Grosso-MT, Brasil, foram correlacionados matematicamente no programa RESPO com os índices de crescimento obtidos através dos programas COFECHA e ARSTAN, determinando-se a relação da sua largura dos anéis com as variáveis climáticas e a idade das árvores. A variável climática determinante para o maior crescimento em diâmetro do tronco das árvores foi a precipitação dos meses do ano corrente ao crescimento (janeiro e maio) demonstrando sua potencialidade para a sua utilização em estudos dendrocronológicos. A técnica de microdensitometria de raios X possibilitou a análise precisa das variações radiais da densidade do lenho de árvores de teca. Os perfis diametrais indicaram uma sutil aumento da densidade do lenho no sentido medula-câmbio do tronco das árvores de teca. Os altos valores encontrados de densidade aparente no lenho das árvores de teca denotam que o clima propício do local (alta precipitação e período seco distinto) influencia na qualidade da madeira e conseqüentemente na sua indicação a usos mais nobres, como por exemplo, na confecção de produtos de maior valor agregado (PMVA), tais como móveis, pisos, entre outros.

Palavras-chave: anéis de crescimento, microdensitometria de raios X, *Tectona grandis* L.f..

ABSTRACT

OLIVEIRA, Bruna Roque Ugulino de. **Dendrochronology and analysis of the radial variation in wood density of *Tectona grandis* L.f. trees for Cáceres, Mato Grosso State, Brazil.** 2011. 97p. Dissertation (Master of Environmental Science and Forestry, Technology and Utilization of Forest Products). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

In order to understand the influence of climatic factors in the mechanisms of formation of secondary xylem and wood density, 15 trees of *Tectona grandis* Lf (teak) were selected and four radial samples were taken at the DBH (1.30 m), through non-destructive method with an increment borer (6 mm in diameter). The macroscopic structure of growth rings of teak wood was characterized by the number and width determination and dendrochronological techniques. Precipitation and temperature data obtained from historical series of meteorological stations in Cáceres, Mato Grosso State, Brazil, were correlated in the RESPO software growth rates achieved through COFECHA and ARSTAN softwares, determining the relationship between growth ring width and climatic variables and tree age. The determinant climatic variable for economic growth at a trunk diameter of trees was the precipitation months of current year growth (January and May) demonstrating their potential for use in dendrochronology studies. The X-ray microdensitometry technique allowed the precise analysis of the radial variations in the wood density of teak trees. Diametrical profiles indicated a subtle grow in wood density towards pith-cambium direction of teak trees. The high values found in the wood density trees denote that the local climate (high precipitation and distinct dry season) influences on wood quality and consequently its indication to noblest end-uses, such as, manufacture of high added value products, such as furniture, flooring, among others.

Key words: tree rings, *Tectona grandis* Lf, X-ray microdensitometry.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Diâmetros das árvores amostradas..... | 13 |
| Tabela 2. Estações pluviométricas do município de Cáceres-MT..... | 14 |
| Tabela 3. Controle de qualidade das séries cronológicas | 23 |
| Tabela 4. Correlações entre as séries cronológicas a partir da largura dos anéis de crescimento da teca | 23 |
| Tabela 5. Valores de densidade média, mínima e máxima das árvores de teca com e sem extrativos | 32 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Países de origem da teca em destaque (Índia, Mianmar, Tailândia e Laos). 3
- Figura 2.** Estados brasileiros que contém plantações de teca (Fonte: DRESCHER, 2004) 4
- Figura 3.** (A) Imagens macroscópicas da seção transversal e longitudinal, respectivamente, da madeira de teca; (B), (C) e (D) Imagens microscópicas das seções transversais, tangenciais e radial do lenho de teca (Fonte: DELTA-INTKEY, 2010). 5
- Figura 4.** Tipos de falsos anéis da teca: (A) Tipo I; (B) Tipo II; (C) Tipo III e (D) Tipo IV 6
- Figura 5.** (A) Povoamento de teca; (B) Disco retirado na altura do DAP e (C) Folha. (Fonte: HEAR, 2010). 7
- Figura 6.** Área de estudo: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, Campus da cidade de Cáceres, Brasil 12
- Figura 7.** Esquema de retirada das amostras com a sonda Presller. 13
- Figura 8.** (A) Visualização dos anéis de crescimento sob lupa; (B) Digitalização das amostras em scanner Epson Perfection, modelo V700 Photo; (C) Identificação dos anéis; (D) Seção transversal do lenho de árvore de *Tectona grandis*, com os limites dos anéis de crescimento demarcados no software WinDENDRO™ 15
- Figura 9.** (A) Climatização da madeira a 12% de umidade (20°C e 60% UR do ar); (B) Aparelho de serra, Laboratório da FPInnovations Forintek, Québec-QC, Canadá; (C) Amostras seccionadas; (D) Amostras sendo escaneadas no aparelho WinDENDRO®; (E) Densitômetro QMS X-ray, modelo QDP-01 X (Centre de Recherche sur le Bois, Université Laval, Québec-QC, Canadá); (F) Imagem do software do Densitômetro QMS X-ray em operação. 18
- Figura 10.** (A) Amostras logo após a adição da solução de ciclohexano e etanol; (B) Amostras com a solução de ciclohexano e etanol após o período de 1 h. 19
- Figura 11.** Médias mensais de temperatura do ar (°C) e totais mensais de precipitação (mm) para o período de 1980 a 2009 na região de estudo. 20
- Figura 12.** Caracterização do anel de crescimento da teca 21
- Figura 13.** Exemplo de anéis de crescimento da teca: (A) Falso anel na região do lenho inicial, tipo I; (B) Anel estreito; (C) Anéis mais largos próximos a medula; (D) Raio no sentido câmbio-medula de uma amostra; (E) Falso anel do tipo III; (F) Falso anel do tipo IV; (G) Falso anel do tipo I. 22
- Figura 14.** Séries de largura dos anéis de crescimento da teca utilizadas no programa COFECHA. 24

| | |
|---|----|
| Figura 15. Precipitação total anual (mm) e temperatura média anual (°C) do período de 1980-2009, Cáceres-MT | 25 |
| Figura 16. Incremento médio de todas as árvores de teca. | 25 |
| Figura 17. Série mestra das árvores de teca obtidas a partir das larguras dos anéis de crescimento transformados em índices no programa COFECHA..... | 26 |
| Figura 18. Série mestra obtidas pelos índices de anéis de crescimento no programa ARSTAN27 | |
| Figura 19. Número de amostras do lenho para a obtenção da série mestra | 27 |
| Figura 20. Correlações das séries de índice de largura dos anéis de crescimento das árvores de teca com as variáveis climáticas (temperatura média mensal e precipitação total mensal) | 28 |
| Figura 21. Exemplo de um perfil de densidade aparente da árvore de teca com extrativos no sentido medula-câmbio. LT-Lenho Tardio e LI-Lenho Inicial | 30 |
| Figura 22. Perfil de densidade aparente com e sem extrativos | 33 |

ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo A. Totais mensais de precipitação (mm) e médias mensais temperatura do ar (°C) do município de Cáceres-MT | 44 |
| Anexo B. Relatório gerado pelo programa COFECHA, contendo informações sobre a série mestra e a correlações entre as árvores de teca | 46 |
| Anexo C. Relatório gerado pelo programa RESPO, contendo informações sobre as correlações entre as árvores de teca e os registros das variáveis climáticas, temperatura do ar (°C) e precipitação (mm) | 48 |
| Anexo D. Gráficos das árvores de teca com e sem extrativos | 50 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Espécie do Estudo | 3 |
| 2.2. Anéis de Crescimento | 8 |
| 2.2.1 Dendrocronologia e dendroclimatologia | 8 |
| 2.3. Densidade da Madeira | 10 |
| 2.3.1 Microdensitometria de raios-X em estudos dendrocronológicos | 11 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 12 |
| 3.1. Caracterização da Área de Estudo | 12 |
| 3.2. Coleta das Amostras de Lenho | 13 |
| 3.3. Análises Dendrocronológicas | 14 |
| 3.3.1. Dados climáticos..... | 14 |
| 3.3.2. Delimitação e mensuração da largura dos anéis de crescimento | 15 |
| 3.3.3. Sincronização dos anéis de crescimento..... | 16 |
| 3.3.4. Correlação das séries cronológicas | 16 |
| 3.4. Determinação da Variação Radial da Densidade do Lenho pela Técnica de Microdensitometria de Raios X..... | 17 |
| 3.4.1. Remoção dos extrativos da madeira de teca..... | 19 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 20 |
| 4.1. Análises Dendrocronológicas nos Anéis de Crescimento | 20 |
| 4.1.1. Dados climáticos do município de Cáceres, MT | 20 |
| 4.1.2. Caracterização dos anéis de crescimento..... | 21 |
| 4.1.3. Sincronização e obtenção das séries cronológicas dos anéis de crescimento..... | 22 |
| 4.1.4. Potencial das árvores de <i>Tectona grandis</i> L.f. para estudos dendrocronológicos | 28 |
| 4.2. Variação Radial da Densidade da Madeira através da Microdensitometria de Raios X | 30 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 34 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 35 |

1 INTRODUÇÃO

As árvores em razão da busca pela sobrevivência e assim a perpetuidade da espécie, precisam regular suas atividades de acordo com o ambiente que as cercam. Estas plantas superiores são caracterizadas por sua notável capacidade de se ajustarem e até mesmo de anteciparem alterações em seu ambiente, cujas adaptações especiais irão se manifestar, principalmente, em padrões de modificação do crescimento (IFSC, 2001).

Nesse contexto, o crescimento das árvores é afetado de forma isolada ou em conjunto por fatores tais como a disponibilidade dos recursos ambientais (temperatura, precipitação, vento, insolação e nutrientes), espaços físicos, edáficos (características físicas, químicas e biológicas), topográficos (inclinação, altitude e exposição) e fatores de competição pela influência de outras espécies, tamanho e constituição genética da árvore bem como sua história de desenvolvimento (POORTER e BONGERS, 1993 citados por ZANON e FINGER, 2010).

Os anéis de crescimento são estruturas macroscópicas do tronco que representam um ano de vida ou outros períodos sazonais de crescimento das árvores. Por serem extremamente sensíveis aos fatores climáticos e ambientais, as espécies vegetais ao produzirem os anéis de crescimento durante um período de crescimento da planta, registram a influência desses fatores expressos através da largura e na variação de densidade nos anéis de crescimento assim como na estrutura anatômica. Portanto, as informações contidas nos anéis de crescimento são uma valiosa fonte para estudos de mudanças no meio ambiente (COOK e BRIFFA, 1990). A extração de registros das variáveis climáticas gravadas nos anéis de crescimento para verificar a influência destes no desenvolvimento das árvores é o princípio básico da dendroclimatologia, uma área da dendrocronologia. A importância dos estudos dendroclimatológicos, está na possibilidade de compreender e antever os efeitos dos fatores climáticos no crescimento da árvore, através da construção e/ou reconstruções de séries climáticas e a respectiva resposta da planta. Conseqüentemente, a influência do clima na qualidade da madeira formada.

A descoberta de ciclos sazonais de crescimento em espécies tropicais e subtropicais fazem da dendrocronologia uma ferramenta promissora para o estudo da estrutura e, principalmente, da dinâmica dessas florestas. Todavia, o número de espécies comprovadamente aptas para investigações dendrocronológicas ainda é pequeno, especialmente quando comparado à imensa biodiversidade desses ecossistemas (OLIVEIRA et al., 2007).

A teca (*Tectona grandis* L.f.), espécie de origem asiática, em diversos estudos nos países de origem teve constatada a sua sensibilidade as variações climáticas no ambiente (PANT e BORGAONKAR, 1983; JACOBY, 1989; MURPHY e WHETTON, 1989; JACOBY e D'ARRIGO, 1990; BHATTACHARAYYA et al., 1992; D'ARRIGO et al., 1994; PUMIJUMNONG et al., 1995; RAM et al., 2008). No Brasil, a sua sensibilidade às variações no clima foi comprovada por Tomazello Filho e Cardoso (1999).

Os anéis de crescimento também são ferramentas para um melhor manejo de povoamentos através da determinação da idade e do conhecimento das taxas de crescimento das árvores (PRIYA e BHAT, 1998). A madeira por ser um material heterogêneo, tem sua diversidade anatômica e química refletida nas variações de suas propriedades físicas, tais como: densidade, estabilidade, cor, permeabilidade entre outras. Essas variações são devidas

não só ao material genético, como também pelas diferenças de manejo, idade de corte, porção a ser retirado da árvore, entre outros fatores, o que torna importante a compreensão da amplitude destas nas propriedades da madeira (KLOCK, 2006).

Sabe-se que a formação e desenvolvimento do xilema secundário são altamente influenciados pelas atividades climáticas e que, portanto, há uma correlação estreita entre estes fatores e as características da madeira. Em especial na densidade da madeira, propriedades esta bastante utilizada como parâmetro na classificação da madeira, em seus diversos usos, devido sua íntima relação com as demais propriedades da madeira. O conhecimento da sazonalidade de crescimento de árvores em um povoamento é um parâmetro bastante útil para aferir sobre a qualidade da madeira formada.

O desenvolvimento de estudos tecnológicos em uma determinada espécie madeireira leva em consideração informações acerca da descrição anatômica, composição química e densidade. Essas informações formam os parâmetros básicos que auxiliam a interpretação das características da madeira, permitindo recomendá-la corretamente para a adequada utilização (MENDES et al., 1999). A importância da determinação da densidade está no fato desta ser um parâmetro bastante usual na classificação da madeira, em seus diversos usos. Diferentes técnicas são utilizadas para a determinação da densidade da madeira, entre elas se destaca a microdensitometria de raios X. A análise de microdensitometria de raios X baseia-se na medição da intensidade de raios que atravessam o lenho de amostras de madeira, obtendo dessa forma um perfil da densidade na direção radial.

A utilização de uma série cronológica com o propósito de criar um banco de dados com informações sobre o crescimento de uma determinada espécie e o registro desse crescimento em função do meio ambiente possui inúmeras aplicações. Dentre as quais se destacam as reconstruções climáticas, de incêndios, cortes ilegais, entre outras aplicações a respeito de gerar informações nos trópicos, tão carentes a respeito de informações de climas e eventos passados, a partir da construção de uma rede de cronologia.

Além da aplicação no estudo da dinâmica do clima, o conhecimento sobre a periodicidade dos anéis é essencial para aferir sobre a qualidade da madeira formada (densidade), especialmente tendo em vista o número crescente de programas de reflorestamento nas regiões tropicais a aplicação desse conhecimento torna-se de grande utilidade para um melhor manejo florestal.

Dessa forma, os objetivos deste estudo foram: (1) avaliar a potencialidade da madeira de teca (*Tectona grandis* L.f.), através do estudo da largura dos anéis de crescimento, para o entendimento da influência dos fatores climáticos no crescimento da planta com; (2) determinar a variação da densidade no sentido radial da madeira e verificar os efeitos dos fatores climáticos nesta característica física da madeira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Espécie de Estudo

A teca (*Tectona grandis* L. f.), espécie pertencente à família Verbenaceae, destaca-se como uma boa alternativa financeira para produção de madeira em plantações comerciais nos trópicos. As florestas naturais de teca ocorrem na região Ásia-Pacífico, entre os paralelos 10°N e 25°N, compreendendo regiões abaixo dos 1000 m de altitude, numa área de cerca de 23 milhões de hectares na Índia, Laos, Mianmar e Tailândia (BHAT e MA, 2004). Segundo os mesmos autores, cerca de um terço das florestas naturais de teca (8,9 milhões de hectares) encontram-se na Índia (Figura 1).

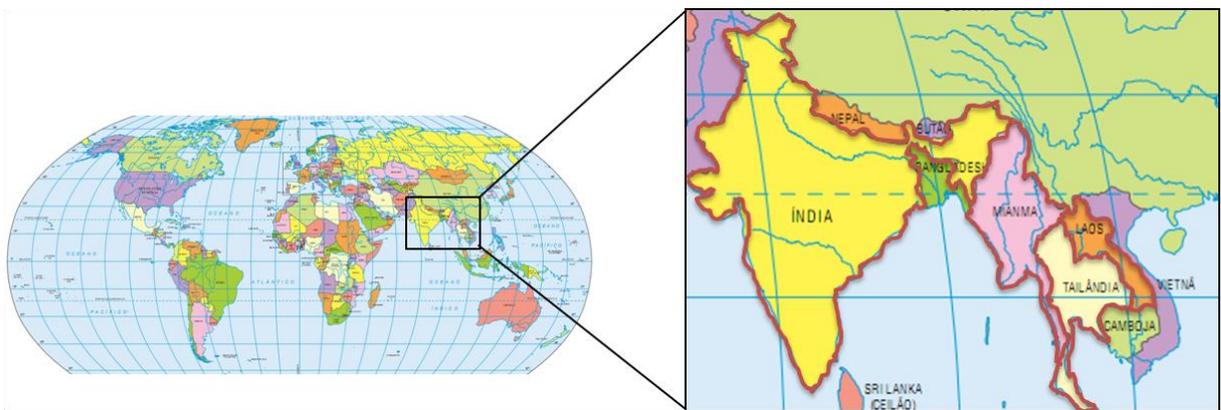


Figura 1. Países de origem da teca em destaque (Índia, Mianmar, Tailândia e Laos). Adaptado de: IBGE, 2011.

A primeira vez que a teca foi introduzida fora da Ásia ocorreu na Nigéria em 1902 (HORNE, 1966). Na América, o primeiro plantio de teca foi em Trinidad e Tobago no ano de 1913 (KEOGH, 1979). No Brasil, a teca foi inicialmente plantada no Jardim Botânico do Rio de Janeiro e no Horto Florestal de Rio Claro-SP em 1930 (SAMPAIO, 1930). Atualmente, na América Central encontram-se plantações dessa espécie em diferentes tipos de sítios em países como Costa Rica, Porto Rico, Belize e Panamá, enquanto que, na América do Sul esta vem sendo cultivada com sucesso em países como a Colômbia, Venezuela, Brasil e as Guianas (GOVAERE et al., 2003).

Quanto a sua utilização, a madeira de teca possui uma vasta gama de usos, sendo utilizada em construções marinhas, fabricação de chapas de madeira, painéis decorativos, móveis entre outros. A qualidade de sua madeira destaca-se dentre as principais razões para o seu plantio. Além da durabilidade e estabilidade, a madeira também apresenta alta resistência ao ataque de cupins, brocas marinhas e outros insetos, possuindo alto valor no mercado internacional e preços bem mais elevados que o do mogno (VEIT, 1996). Outros aspectos qualitativos que se destacam são o desenho, cor e densidade que tornam a teca a madeira de folhosa mais valorizada no mundo atualmente (VIEIRA et al., 2002).

O aumento de demanda de teca é previsto, de acordo com análises de mercado, devido à melhoria no padrão de vida nos países em desenvolvimento, juntamente com a diminuição da oferta de outras madeiras tropicais que ocorrem em áreas naturais e a conscientização ambiental dos consumidores, evidenciando o caráter dos plantios de teca de se tornarem

investimentos altamente rentável. Estima-se que a área plantada com teca no mundo exceda 3 milhões de hectares (CENTENO, 2001).

De acordo com Dupuy e Verhaegen (1993) o mercado no ano de 1993, foi de 3,5 milhões de metros cúbicos comercializados e mesmo assim a demanda mundial não foi totalmente atendida. Os principais mercados consumidores desse produto são África do Sul, França, Inglaterra, Estados Unidos, Dinamarca, Holanda e China, e também alguns países do Oriente Médio (RIOS, 2007).

Atualmente, o mercado brasileiro é visto como um consumidor em potencial da madeira de teca, assim como produtor. O plantio de teca no país estende-se aos Estados do Acre, Amapá, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraná, Rondônia, São Paulo, e Tocantins (Figura 2). Dentre esses Estados, o Estado de Mato Grosso se destaca como o maior detentor de florestas plantadas de teca no Brasil (cerca de 90% da área total plantada no país) com aproximadamente 50 mil hectares plantados. O plantio da teca nesse estado começou em meados da década de 70, tendo como objetivo principal a diminuição da pressão sobre as espécies nativas. Os resultados iniciais de crescimento da espécie na região estimularam a ampliação das florestas de teca (MATRICARDI, 1989).

A maturidade financeira da madeira de teca neste Estado ocorre entre os 14 e 20 anos, dependendo da taxa de juro e do critério econômico utilizado (ÂNGELO et al., 2009). Segundo Passos et al.(2006), as taxas de crescimento da teca nesta região são superiores às dos plantios da maioria dos países produtores dessa madeira, e são resultantes das condições ambientais adequadas para o seu pleno desenvolvimento. Por outro lado, espécies exóticas se adaptam muito bem às novas condições a que foram expostas, provavelmente por causa da inexistência de inimigos naturais e rusticidade (FIGUEIREDO, 2001).

Apesar do cultivo da teca no Estado do Mato Grosso ser recente, este vem crescendo a cada ano. Um dos fatores que tem incentivado o aumento na demanda da teca é a utilização de sua madeira jovem, proveniente de plantações com idade entre 7 e 18 anos, em painéis colados na fabricação de móveis e objetos de decoração de uso em ambientes internos. A utilização desses painéis com variedade de cores e tons caracteriza um produto diferenciado e que apresenta potencial de consumo pelo mercado interno.



Figura 2. Estados brasileiros que contém plantações de teca (Fonte: DRESCHER, 2004).

Macroscopicamente, é possível visualizar na madeira de teca sua semi porosidade em anel, formada por poros grandes e numerosos no lenho inicial, e pequenos e escassos no lenho

tardio (FREITAS, 1958). O parênquima pode ser observado à simples vista, em bandas terminais e do tipo paratraqueal vasicêntrico, com coloração mais clara que as fibras. Os raios são medianos e são relativamente escassos. Microscopicamente, os elementos de vasos têm um diâmetro tangencial que varia de 190 a 300 μm (GOVAERE *et. al*, 2003). Segundo os mesmos autores, longitudinalmente, os elementos vasculares possuem em torno de 209 a 418 μm de comprimento. As placas de perfuração são simples e muito inclinadas, com pontoações intervasculares ovaladas e alternas. O parênquima é paratraqueal escasso de tipo vasicêntrico, os raios podem ser unisseriados tendo uma altura média de 6 células e multisseriados com um média de 2-4 células de largura por até 40 células de altura. As fibras são fusiformes, ligeiramente estratificadas com pontoações simples escassas (Figura 3).

Os primeiros falsos anéis na teca reportados na literatura foram observados por Chowdhury (1939). Prya e Bhat (1998) ao analisarem os anéis de crescimento e fatores ambientais que influenciam na formação de falsos anéis na teca de Nilambur (Kerala), Índia, identificaram 4 tipos de formações de falsos anéis. No lenho inicial ocorre o Tipo I, caracterizado por uma zona que se assemelha ao lenho inicial com uma ou mais linhas de parênquima, vasos grandes e fibras de paredes finas que por sua vez é precedida por fibras de paredes espessas, e o Tipo II, onde uma mudança abrupta da espessura fina das paredes das fibras do lenho inicial para uma faixa de fibras de paredes mais espessas com parênquima e vasos difusos. Na região do lenho tardio o tipo III é caracterizado por uma ou duas linhas de células de parênquima com pequenos vasos espalhados nas proximidades e o Tipo IV por agregações de vasos múltiplos radiais com células do parênquima paratraqueal (Figura 4).

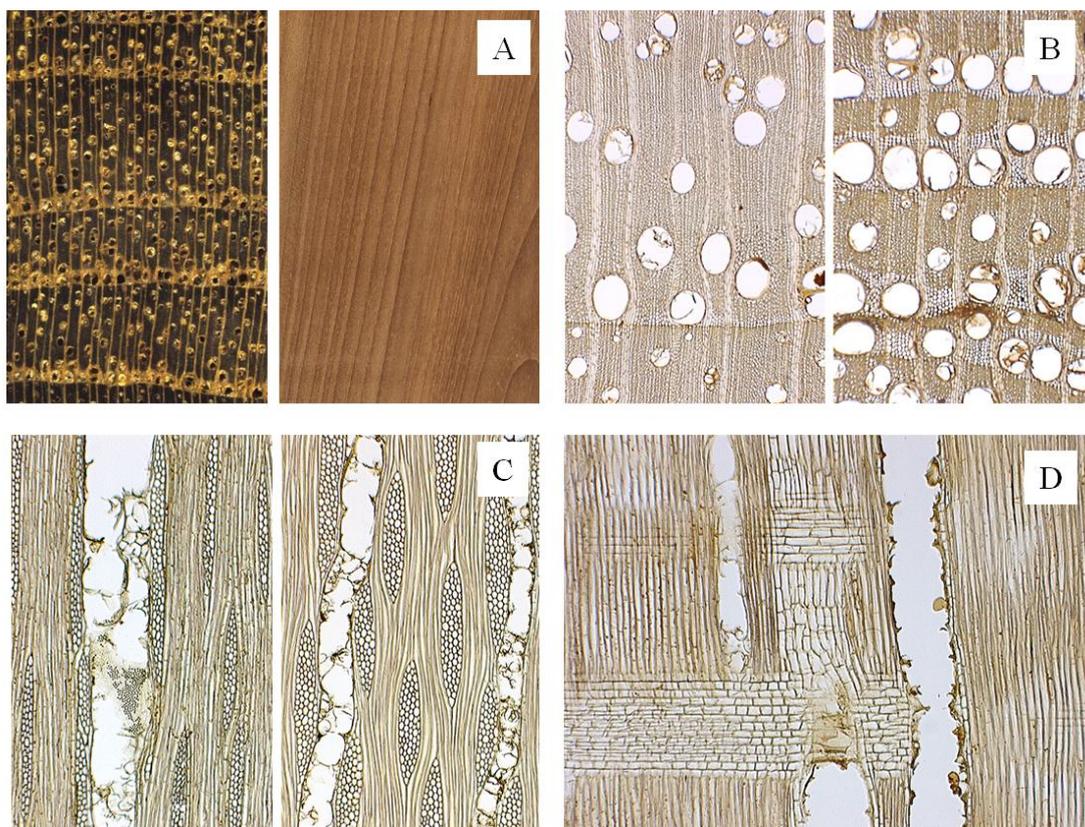


Figura 3. (A) Imagens macroscópicas da seção transversal e longitudinal, respectivamente, da madeira de teca; (B), (C) e (D) Imagens microscópicas das seções transversais, tangenciais e radial do lenho de teca (Fonte: DELTA-INTKEY, 2010).

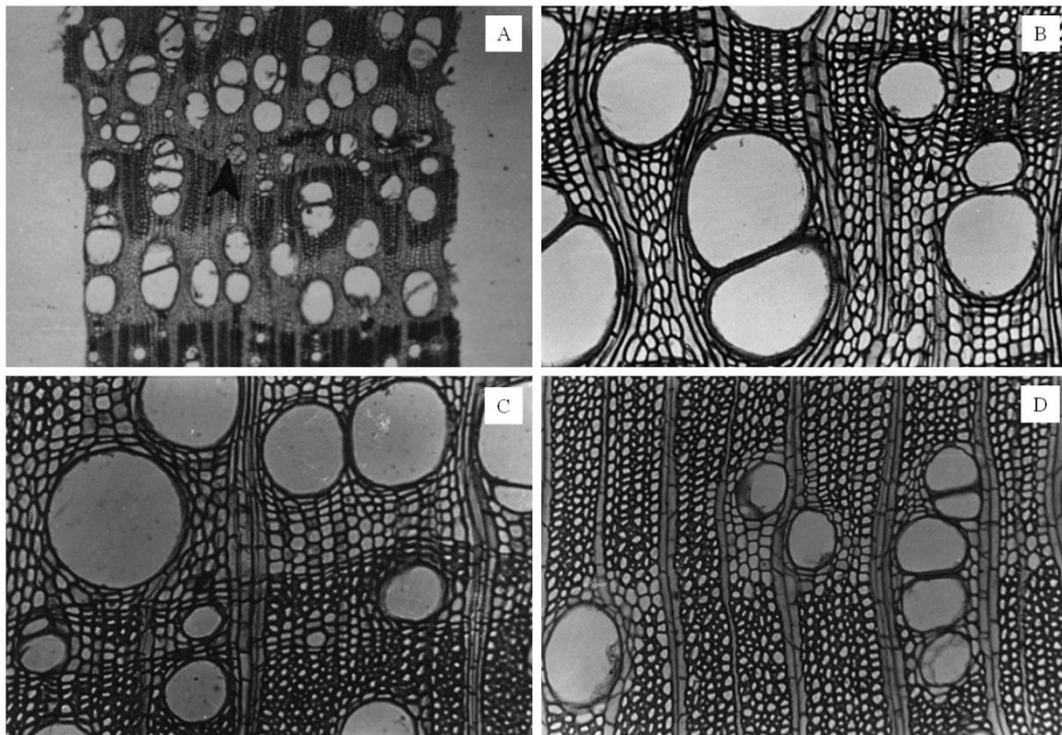


Figura 4. Tipos de falsos anéis da teca: (A) Tipo I; (B) Tipo II; (C) Tipo III e (D) Tipo IV.

Quanto as suas características botânicas, a teca possui folhas simples, coriáceas e de tamanho grande, chegando a medir de 30 a 60 cm de comprimento por 20 a 35 cm de largura. As flores são pequenas, de coloração branco-amarelada e se dispõem em panículas de até 40 x 35 cm. Seus frutos são do tipo drupa, cilíndricos, de cor marrom. Aos 5 ou 6 anos de idade, normalmente ocorre a primeira frutificação. A árvore pode chegar a atingir entre 25 a 35 m (raramente acima de 45 m) de altura (MATRICARDI, 1989 e ANGELI, 2003). Segundo Lamprecht (1990), o tronco da teca é cilíndrico e revestido por uma casca mole, atingindo até 15 mm de espessura. Na figura 5 é possível visualizar algumas características da teca em uma plantação jovem de 12 anos, no município de Cáceres, MT.

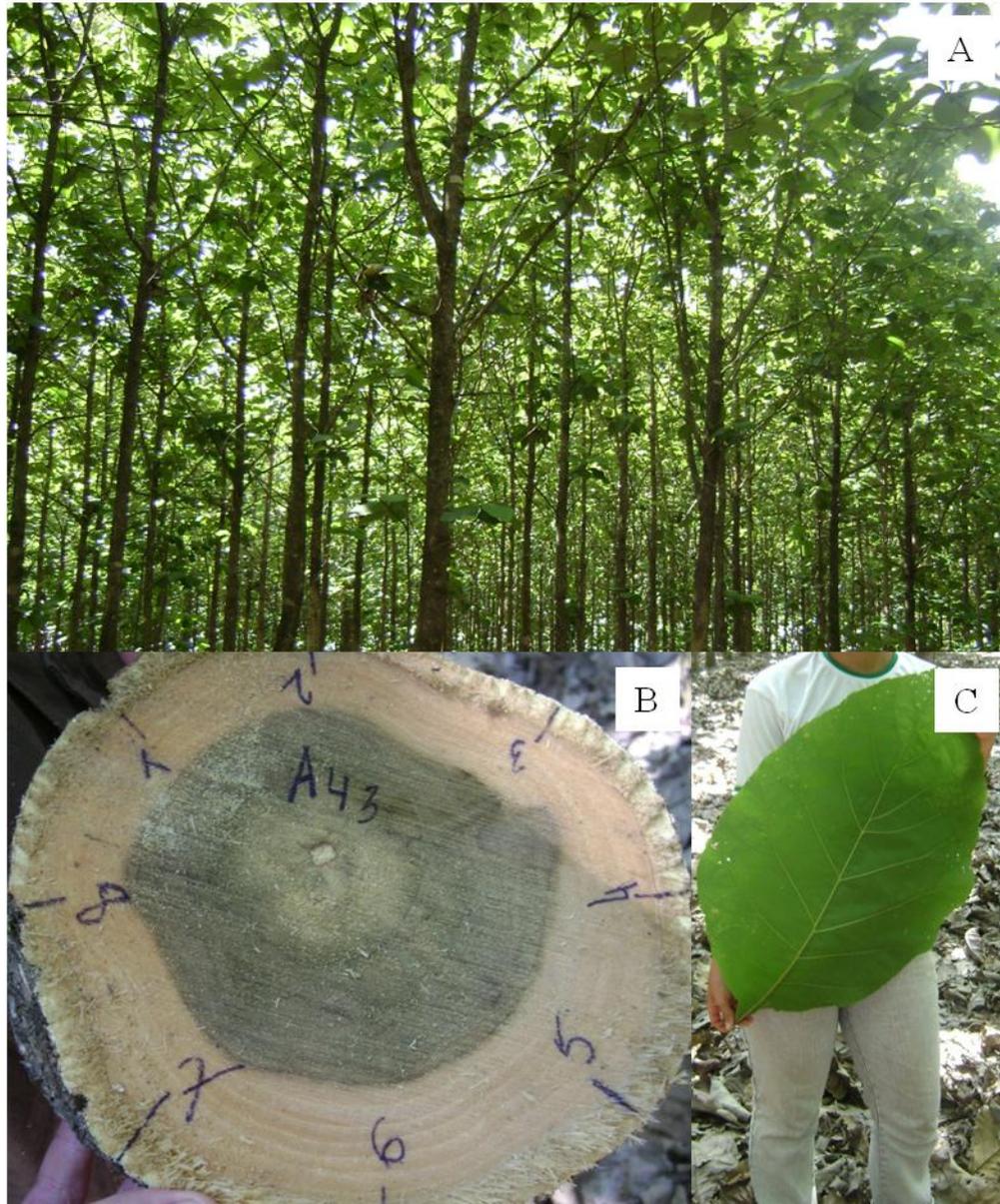


Figura 5. (A) Povoamento de teca; (B) Disco retirado na altura do DAP e (C) Folha.

A teca possui distintas fases fenológicas em resposta as variações climáticas refletindo a sazonalidade da atividade cambial (CARDOSO, 1991). Esta característica da espécie, juntamente com a estrutura anatômica da sua madeira e o fato dela demarcar anéis de crescimento, a torna uma espécie potencial para estudos dendrocronológicos (TOMAZELLO e CARDOSO, 1999).

2.2 Anéis de Crescimento

Em regiões de clima temperado, as quais nas florestas predominam espécies de gimnospermas, os anéis de crescimento representam, geralmente, o incremento anual das árvores. Contrariando o conceito convencional da área florestal e dendrocronológica, Worbes (1989, 1995), Detienne (1989), Gourelay (1995), Devall et al., (1995), e outros autores apresentaram evidências convincentes de formação anual dos anéis de crescimento em algumas espécies tropicais (STAHLE, 1999). Nos trópicos há o predomínio de madeiras de angiospermas, e os anéis de crescimento podem destacar-se por diferentes padrões de características anatômicas na madeira (BURGER e RICHTER, 1991), proporcionando-lhes uma maior complexidade e variação na formação das camadas de crescimento. De acordo com Botosso e Mattos (2002), em muitas árvores tropicais e subtropicais, como a teca, os anéis correspondem aos períodos de chuva e de seca, inundações, queda das folhas e/ou simplesmente dormência, podendo ocorrer dois ou mais ciclos em um ano. Os anéis de crescimento dessa forma, não são necessariamente anuais em algumas espécies tropicais.

O crescimento da madeira é influenciado por períodos secos e úmidos necessários para a formação dos tecidos do xilema classificados como inicial ou primaveril (tecido formado na estação chuvosa) e tardio (tecido formado na estação seca). Segundo Albuquerque e Latorraca (2000), o tecido formado pelo período primaveril produz um lenho de coloração clara (lenho inicial), com menor número de células, e o tecido formado pelo período tardio produz um lenho mais escuro (lenho tardio) com maior número de células. Os anéis de crescimento das árvores podem fornecer informações sobre a forma como as florestas têm respondido às condições climáticas. Neste contexto, os registros contidos nos anéis de crescimento seriam uma promessa para recobrar informações climáticas passadas em uma escala de tempo anual (SHAHA et al., 2007). A aplicação dessas informações tem sido de grande importância, não somente pela possibilidade da análise da ocorrência de fenômenos ecológicos e ambientais, como também pela influência destes na qualidade da madeira.

A teca, por ser uma espécie decídua, é bastante citada na literatura como uma espécie potencial demarcadora de anéis anuais, característica esta favorável a aplicação em estudos dendrocronológicos (CALDEIRA, 2004; SHAHA et al., 2007; TOMAZELLO e CARDOSO, 1999).

2.2.1 Dendrocronologia e dendroclimatologia

A dendrocronologia é uma ciência que estuda e interpreta o crescimento anual dos anéis das árvores. As pesquisas realizadas por Andrew E. Douglas em 1901 sobre associações entre manchas solares, a meteorologia e os anéis de crescimento de árvores, são consideradas como o marco inicial do estudo sistemático dos anéis de crescimento. A dendrocronologia é dividida em inúmeras áreas de investigação, abrangendo estudos a respeito da reconstrução de fatores ecológicos (dendroecologia), alterações da paisagem (dendrogeomorfologia), seqüências cronológicas a partir de marcas gravadas nos anéis de crescimento por incêndio florestal e eventos piroclásticos (dendropirocronologia) dentre outras.

Inicialmente a dendrocronologia era voltada para os estudos climáticos (GONÇALVES, 2007). A descoberta de ciclos sazonais de crescimento em espécies tropicais e subtropicais faz da dendrocronologia uma ferramenta promissora para o estudo da estrutura e, principalmente, da dinâmica dessas florestas. Todavia, o número de espécies comprovadamente aptas para investigações dendrocronológicas ainda é pequeno, especialmente quando comparado à imensa biodiversidade desses ecossistemas. Segundo Fritts (1976), a dendrocronologia é um dos métodos fundamentais para determinar as possíveis variabilidades climáticas ao longo do tempo.

Outra aplicação ou área de investigação da dendrocronologia é a dendroclimatologia que possui o princípio básico de buscar correlações de dados climáticos e os anéis anuais. A aplicação deste princípio pode nos indicar o fator limitante ao crescimento de uma dada árvore em determinada região. Em seu estudo, Gonçalves (2007), denota que a sensibilidade das espécies arbóreas aos fatores como o solo e as condições climáticas, permite que alterações de temperatura, umidade, radiações solares, entre outros, fiquem registradas nos anéis de crescimento.

Em 1971, Fritts desenvolveu os principais métodos aplicados a dendroclimatologia, dentre eles destaca-se o princípio da seleção das árvores, onde estas devem estar em sítios nos quais a largura dos anéis seja limitada, diretamente ou indiretamente, pelo estresse causado pelas variáveis climáticas.

Segundo GÉNOVA (2004), a obtenção de dados dendrocronológicos de interesse para a análise de variações climáticas se baseia nos seguintes aspectos:

- 1-Amostragem: A amostragem requer a seleção de espécies florestais que apresentem anéis de crescimento periódicos, como também a seleção de sítios onde estas árvores apresentem uma maior sensibilidade ao clima;
- 2-Medição e análises de crescimento: As etapas de medição e análises das seqüências de crescimento devem ser feitas com bastante precisão, pois estas irão permitir uma análise dos padrões de crescimento e seqüência temporal;
- 3-Sincronização e datação (crossdating): O crossdating é um processo chave nos estudos dendrocronológicos e consiste basicamente na identificação e correção de irregularidades na cronologia, tais como feridas, múltiplos anéis, anéis descontínuos e/ou ausentes;
- 4-Estandarização ou padronização: A estandarização analisa a variabilidade comum das seqüências datadas de crescimento, que geralmente vêm de árvores de diferentes idades.

Nesse sentido, pesquisas têm sido direcionadas para o estudo das correlações entre alguns fatores climáticos e o incremento anual das árvores (BRAÜNING, 1999; FERRAZ, 1993; FRITTS, 1971; MUNARETO, 2007; SHAHA et al., 2007; entre outros). A importância dos estudos dendroclimatológicos, está na possibilidade de compreender e antever os efeitos dos fatores climáticos no crescimento da árvore, através da construção e/ou reconstruções de séries climáticas e a respectiva resposta da planta, e conseqüentemente, a influência do clima na qualidade da madeira formada.

2.3 Densidade da Madeira

A madeira é um material altamente variável, com características anatômicas, físicas, mecânicas e químicas diferenciadas por espécies e até mesmo dentro de um indivíduo. Essa variabilidade natural da madeira é devido às condições de crescimento da árvore, a partir de fatores de desenvolvimento tais como o clima, o solo, disponibilidade de água, nutrientes disponíveis, variabilidade genética, etc. O conhecimento adequado de suas características e comportamento como matéria-prima leva ao aprimoramento no emprego de novas tecnologias para transformação e uso racional da madeira na geração de novos produtos (KLOCK, 2006). Tais fontes de variabilidade têm introduzido numerosas dificuldades no processamento e utilização da madeira.

Dentre as condições de crescimento da árvore, destacam-se as condições ambientais e o manejo florestal empregado em povoamentos florestais. As condições ambientais tais como o clima, solo e disponibilidade de nutrientes são fatores que determinam a velocidade e qualidade da madeira a ser formada. Alguns autores vêm destacando a importância de fatores climáticos tais como temperatura e precipitação no incremento das árvores (REZENDE, 1987; BOTOSSO, 2002; TOMAZELLO, 2006; CHAGAS, 2009). Nos trópicos diversos trabalhos denotam que a variação da precipitação ao longo do ano é o fator determinante para a sazonalidade no crescimento das espécies florestais, onde períodos com baixo índices de chuvas estão correlacionados com períodos em que as árvores produzem células com paredes mais espessas, menores diâmetros de lume e maior densidade em contraponto as células formadas em períodos com maior disponibilidade de água. Porém, a taxa de precipitação não irá influenciar isoladamente o crescimento de uma árvore, o tipo de solo e a disponibilidade de água e nutrientes que ele possui também são fatores a serem considerados, assim como a disponibilidade de luz para a planta. Fatores como adubação, irrigação, densidade de plantio, desbaste entre outros são tipos de tratamentos silviculturais empregados em plantios comerciais e que também influenciam nas taxas de crescimento das plantas, e conseqüentemente na qualidade da madeira. A aplicação da operação de desbaste em um povoamento florestal tem como objetivo estimular e distribuir o potencial de crescimento do sítio florestal em um número menor de árvores remanescentes selecionadas em função de suas características superiores de vitalidade, qualidade do fuste e vigor de crescimento, bem como de aumentar a produção de madeira com melhor qualidade (TREVISAN, 2010). Assim, o desbaste quando empregado de forma intensidade irá causar um estresse muito grande no crescimento dos indivíduos remanescentes, e dessa forma na densidade da madeira formada.

Dentre as propriedades da madeira, a densidade se destaca por estar relacionada diretamente com as demais propriedades, em especial com a resistência mecânica, e dessa forma é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira (DINWOODIE e DESCH, 1996). A densidade da madeira é uma característica de qualidade de grande interesse devido à facilidade de determinação e pelo fato de estar diretamente associada à resistência, retrações e estabilidade da madeira no caso de produtos sólidos, e no rendimento em celulose, dependendo este, também, do teor de lignina (CANGIANI, 1993). Dela depende a maior parte das outras propriedades físicas e tecnológicas, servindo como característica para classificação de madeiras, entre outros fins como no estudo de microdensitometria onde pode se avaliar o incremento anual da madeira e correlacionar com fatores climáticos, para verificar a influência destes no crescimento da planta.

Segundo Campbel e Bamford (1939), a teca possui em média uma porcentagem de 10% de extrativos em madeira seca em estufa, removidos através de solução de 1:1 de álcool-benzeno.

A alta porcentagem de extrativos na madeira de teca lhe confere algumas características especiais tais como durabilidade, resistência aos ataques de xilófagos, etc. Sabe-se que a presença de extrativo na madeira pode vir a influenciar na sua densidade, visto que os espaços celulares são ocupados por estes. Porém, a atuação das diferentes substâncias chamadas de extrativos ainda não é bem determinada.

Há uma significativa variação da densidade básica entre espécies, dentro das espécies e mesmo dentro da árvore nos sentidos longitudinais e radiais. Muitas espécies florestais apresentam uma porção mais escura de madeira no centro do tronco e uma porção mais clara na parte externa. A primeira corresponde ao cerne e a segunda ao alburno. A distinção da cor entre estas duas regiões da madeira, nem sempre é muito notória, enquanto em outras o contraste pode ser ligeiro, resultando em uma tarefa nem sempre fácil de afirmar onde uma começa e a outra acaba. A teca possui uma distinção clara entre essas duas regiões, e as proporções dessas duas regiões no lenho variam em função da idade, sítios e das características genéticas. As regiões de cerne e alburno possuem propriedades tecnológicas diferentes, enquanto o alburno, de uma forma geral, apresenta uma coloração mais clara e uma atividade fisiológica maior, o cerne, apresenta uma coloração mais escura, devido à deposição dos extrativos, e uma menor atividade fisiológica, o que lhe confere uma maior durabilidade da madeira

A variação da densidade na madeira está relacionada com os períodos de crescimento e os fatores climáticos que definem um maior ou menor crescimento da árvore. A aplicação dessas informações tem sido de grande importância, não somente pela possibilidade de análise da ocorrência de fenômenos ecológicos e ambientais, como também a influência destes na qualidade da madeira.

2.3.1 Microdensitometria de raios X em estudos dendrocronológicos

Desde a década de 60 têm sido desenvolvidos vários métodos de determinação de densidade da madeira através de técnicas que recorrem à permeabilidade da madeira a radiações (POLGE, 1965, HUGHES e SARDINHA, 1975). A análise de microdensitometria de raios X em amostras de madeira possibilita medir a intensidade de raios que atravessam o lenho destas, e com o uso de programas específicos, a obtenção de um perfil da densidade na direção radial da madeira (TOMAZELLO FILHO, 2006). A utilização da técnica de microdensitometria de raios X em madeira foi proposta por Lenz (1957) e desenvolvida na França por Polge (1963). A metodologia é aplicada em inúmeros campos de pesquisa, como nas análises dendrocronológicas e na demarcação dos anéis de crescimento no lenho das árvores de muitas espécies tropicais (ALVARADO, 2009). Atualmente, diversos estudos vêm utilizando essa metodologia em estudos dendroclimatológico (CONKEY, 1986; CHAGAS, 2009).

A importância da determinação da densidade está na sua estreita relação com a qualidade da madeira, e na correlação dos picos de densidade com o seu incremento anual. Segundo Alvarado (2009), a maior variabilidade da densidade do lenho das árvores ocorre no anel de crescimento anual devido à formação do lenho inicial (largo e de baixa densidade) e do tardio (mais estreito e de alta densidade).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo encontra-se no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, Campus da cidade de Cáceres (antiga Escola Agrotécnica Federal), Brasil ($16^{\circ}11'42''\text{S}$ e $57^{\circ}40'51''\text{W}$, 118 m alt.), vide Figura 6. O terreno da área é caracterizado como de relevo plano e solo classificado como Latossolo vermelho-amarelo distrófico (OLIVEIRA, 2008). A área é composta por árvores de *Tectona grandis* L.f. plantadas no terreno após a fundação da Escola em agosto de 1980, porém não se encontrou registros sobre a data exata do plantio, a origem das mudas de teca e se houve manejo da área, como adubação, desgalhamento entre outros.



Figura 6. Área de estudo: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, Campus de Cáceres, Mato Grosso, Brasil.

3.2 Coleta das Amostras de Madeira

Para a coleta das amostras de lenho utilizadas nas análises dendrocronológicas e na determinação da variação radial da densidade foram selecionadas 15 árvores de *Tectona grandis* L.f., considerando os aspectos de fitossanidade e o arranjo das mesmas na área de estudo. Em cada árvore foram retiradas 4 amostras radiais, compreendendo a medula, através do método não destrutivo da sonda Presler (6 mm de diâmetro) a uma altura de 1,30 m do tronco em relação ao solo (Figura 7). A coleta do material de estudo ocorreu em novembro de 2009.

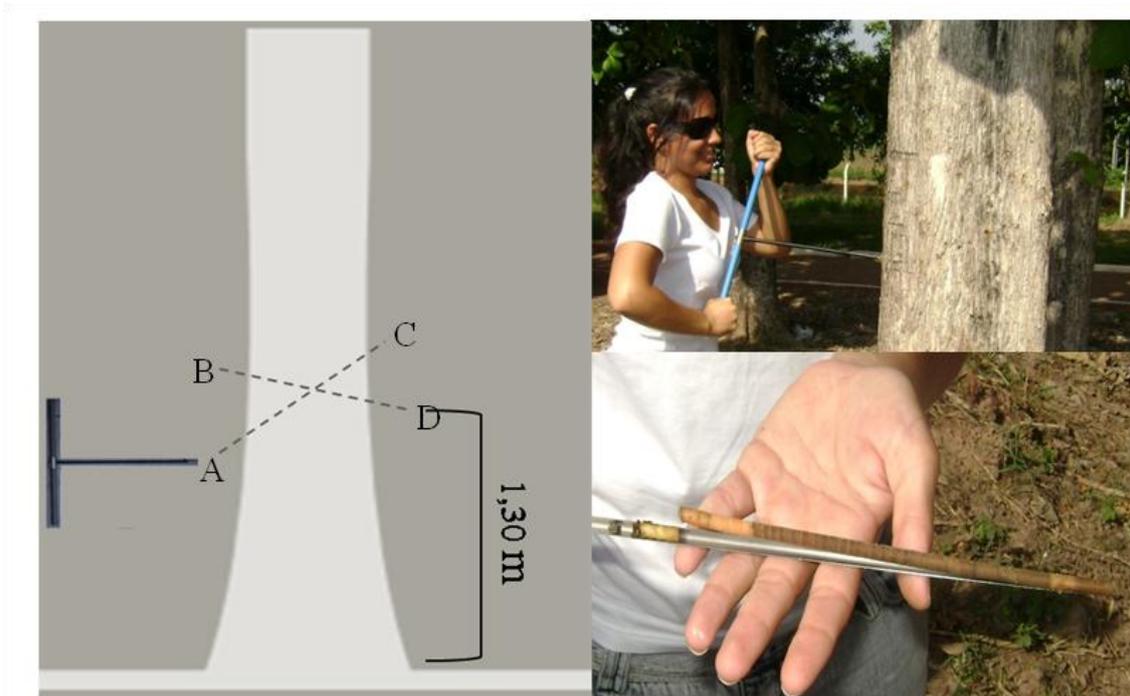


Figura 7. Esquema de retirada das amostras com a sonda Presller.

Após a coleta, as amostras foram devidamente identificadas. As amostras foram identificadas com um número, correspondente a árvore de onde esta foi retirada, e uma letra que determina o raio do qual é proveniente (exemplo: 15A; árvore 15 e raio A). Os diâmetros das árvores selecionadas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Diâmetros das árvores amostradas.

| Árvore | Diâmetro (cm) | Árvore | Diâmetro (cm) |
|--------|---------------|--------|---------------|
| 1 | 19,44 | 9 | 23,30 |
| 2 | 20,98 | 10 | 21,15 |
| 3 | 21,99 | 11 | 23,68 |
| 4 | 20,49 | 12 | 23,66 |
| 5 | 20,95 | 13 | 17,35 |
| 6 | 17,46 | 14 | 23,86 |
| 7 | 15,97 | 15 | 13,49 |
| 8 | 22,24 | Média | 20,40 |

3.3 Análises Dendrocronológicas

3.3.1 Dados climáticos

Os dados meteorológicos de temperatura do ar foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e os pluviométricos pela estação da Agência Nacional de Águas (ANA) localizada no município de Cáceres, Mato Grosso, que faz parte da sub-bacia do alto do Rio Paraguai, bacia do Rio da Prata, Planície do Pantanal. O clima da região, segundo a classificação Köppen, é do tipo Aw (clima tropical chuvoso), com temperatura média anual de 25.2°C, com índice pluviométrico anual relativamente elevado (1347 mm), porém com uma nítida estação seca entre os meses de maio a setembro.

Os dados de temperatura média do ar mensal foram obtidos a partir de duas estações, uma localizada no município de Cáceres (16°05'S e 57°68'W, 118 m) com dados que abrangiam o período de 01/1997 a 12/2009, e a segunda estação encontrava-se no município de Cuiabá (15°S e 56°W, 184 m) com dados pontuais mensais para o período de 01/1980 a 12/2002. O programa MET, da livraria de programas dendrocronológicos (DPL) foi utilizado para interpolar as séries de dados das duas estações e obter uma série completa de dados de temperatura do ar para o período de crescimento das árvores (01/1980 a 12/2009) na região de estudo.

A série histórica de precipitação total mensal utilizada abrangeu o período de 01/1980 a 12/2009. Como a estação pluviométrica principal (Código 01657003) apresentou algumas falhas em seus registros (períodos de 01/1991 a 12/1994 e 01/1996 a 10/1998), houve a necessidade de estas falhas serem preenchidas. Para o mesmo, utilizou-se o método das Médias Ponderadas dos postos vizinhos.

— — — —

Onde:

- Precipitação para um período x da estação que apresenta falha;
- Precipitação das estações pluviométricas vizinhas;
- n - Número de estações pluviométricas; e
- N - Precipitação normal anual.

A escolha pela utilização deste método deve-se ao fato das precipitações normais anuais dos postos não diferirem entre si em mais de 10%, que caracteriza esta região entre as estações hidrologicamente homogêneas. Na Tabela 2 é possível visualizar as informações sobre a estação principal e as estações vizinhas utilizadas para o preenchimento das falhas na série histórica.

Tabela 2. Estações pluviométricas do município de Cáceres-MT.

| Estação | Código | Latitude | Longitude | Altitude(m) |
|-----------|----------|------------|------------|-------------|
| Principal | 01657003 | 16°04'33"S | 57°42'08"W | 108 |
| Vizinha a | 01657000 | 16°03'00"S | 57°41'00"W | 118 |
| Vizinha b | 01657002 | 16°44'01"S | 57°45'01"W | 103 |
| Vizinha c | 01657004 | 16°02'21"S | 57°15'27"W | 124 |

3.3.2 Delimitação e mensuração da largura dos anéis de crescimento

No Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira, do Instituto de Florestas, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Seropédica-RJ, Brasil, as amostras de lenho foram examinadas sob lupa estereoscópica onde foi possível identificar e delimitar os anéis de crescimento. Em seguida, essas seções transversais do lenho foram digitalizadas em scanner a uma resolução de 800 dpi (Epson Perfection V700 Photo). A largura dos anéis foi determinada através do software para análise de anéis de crescimento em árvores WinDENDRO™, versão 2009b (Figura 8).

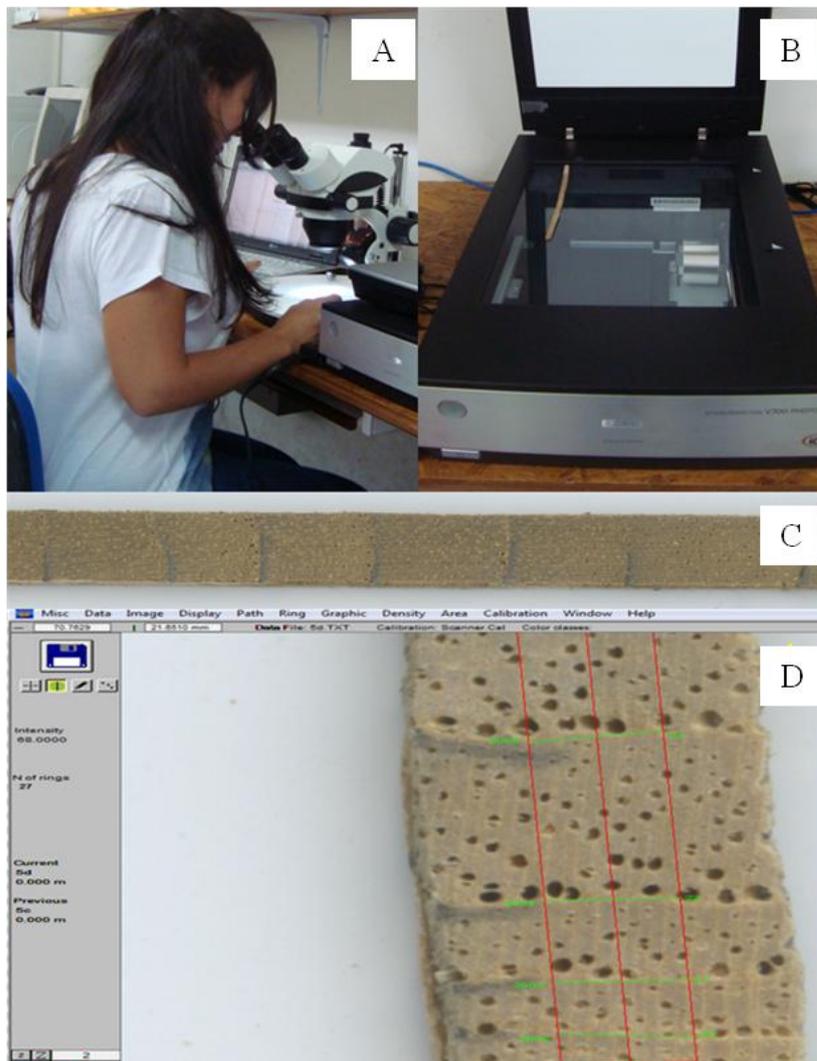


Figura 8. (A) Visualização dos anéis de crescimento sob lupa; (B) Digitalização das amostras em scanner Epson Perfection, modelo V700 Photo; (C) Identificação dos anéis; (D) Seção transversal do lenho de árvore de *Tectona grandis*, com os limites dos anéis de crescimento demarcados no software WinDENDRO™.

3.3.3 Sincronização dos anéis de crescimento

Os dados de larguras dos anéis obtidos no software WinDENDRO™ foram exportados e salvos em formato *.txt. Os documentos gerados foram em seguida lidos pelo programa COFECHA, onde foi realizado um controle de qualidade e a verificação da sincronização das séries de larguras dos anéis de crescimento, inicialmente entre os quatro raios da mesma árvore e posteriormente entre árvores.

O programa COFECHA foi desenvolvido por Holmes (1983) e tem como princípio buscar a similaridade dos anéis de crescimento entre amostras, ele realiza um controle de qualidade sobre as medidas de largura de anéis de um conjunto de árvores, verificando a sincronização entre as mesmas e no fim gerar uma série mestra. Após a obtenção da série mestra de cada árvore, estas passaram por uma remoção das tendências nos dados de larguras dos anéis de crescimento que não sejam em função dos fatores climáticos, maximizando dessa forma o sinal comum das séries formando uma série mestra que representa as séries que a compõem.

A remoção das tendências das séries dos anéis foi realizada através do ajuste de uma curva polinomial, e em seguida foi feito a divisão do valor da largura dos anéis de crescimento através da curva ajustada. Dessa forma, o software calcula as correlações de Pearson entre as séries individuais em relação à série mestra.

3.3.4 Correlação das séries cronológicas

Com o auxílio do programa ARSTAN, os dados de largura dos anéis tiveram uma curva de regressão ajustada a estes e assim estimada a tendência de crescimento para o conjunto de árvores na forma de índices (HOLMES et al., 1986). Neste programa, as séries mestras obtidas a partir das medidas de largura dos anéis de crescimento das árvores de teca passam por um processo de remoção das tendências de crescimento não climáticas e standardização (padronização) das mencionadas séries.

Após a padronização dos valores das árvores individualmente, estas tiveram uma função média calculada. Dessa forma, o programa gerou três versões da cronologia, uma série arstan, uma residual e uma “standard” tendo em conta o desejo de maximizar o sinal comum e minimizar a quantidade de ruído. Adicionalmente, analisam-se os principais componentes dos diferentes sinais contidos nos anéis das árvores (COOK, 1985), posteriormente foi escolhida a série que obteve melhor resultado, no caso foi à série arstan.

A remoção das tendências foi realizada segundo a metodologia utilizada por Fritts (1976), cujos dados foram transformados em índice de largura do anel de crescimento (I_t):

—

Onde:

- Índice de largura dos anéis de crescimento;
- Série de largura dos anéis de crescimento observados; e
- Tendência de crescimento estimada em função apenas da idade.

As cronologias médias geradas pelo programa ARSTAN foram comparados com os valores mensais de temperatura média e de precipitação acumulada (período: 01/1980 a 10/2009), através da aplicação do software RESPO. O RESPO transformou esses parâmetros climáticos em componentes principais e, em seguida, realizou uma regressão onde a cronologia de anéis de crescimento torna-se a variável dependente e os parâmetros climáticos

as variáveis independentes. O resultado foi uma função de resposta para cada cronologia, que expressou a relação independente entre o crescimento das árvores e o clima.

3.4 Determinação da Variação Radial da Densidade do Lenho pela Técnica de Microdensitometria de Raios X

A análise de raios X foi realizada no Centre de Recherche sur le Bois (CRB), da Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique, da Université Laval, Québec-QC, Canadá. Para o mesmo, as amostras secas ao ar passaram por uma climatização (60% UR e 25°C) até que atingissem peso constante e um teor de aproximadamente 12% de umidade da madeira. Após a etapa de climatização, as amostras foram seccionadas no sentido câmbio-medula em um aparelho de serra pertencente à FPInnovations Forintek, Québec-QC, Canadá, obtendo-se amostras transversais do lenho com espessura média de 1,6 mm.

Posteriormente, as amostras foram digitalizadas através do software WinDENDRO™ (LA 1600+, Instruments Régent) e analisadas no programa Adobe Photoshop Elements 6.0, onde foi possível obter o número de pixels de cada amostra e assim esta informação foi utilizada, juntamente com as informações de largura média (mm) e peso (g) de cada amostra, em uma planilha eletrônica para o cálculo de uma densidade média a ser utilizada no equipamento de raios X para servir de informação para o mesmo quando este for mensurar a densidade pontualmente. A densidade aparente foi mensurada no equipamento de raios X, QMS X-ray density profiler, modelo QDP-01X (Figura 9).

A técnica consiste em adquirir resposta para a irradiação transmitida na seção transversal de uma amostra de madeira. É uma das técnicas mais avançadas para medir as variações de densidade, conferindo alta precisão nos resultados por possibilitar a detecção de variações em intervalos bem curtos. No presente trabalho, a medição dos dados de densidade ocorreu a cada 0.04 mm ao longo do comprimento de cada amostra. Para as análises estatísticas utilizou-se o programa STATISTICA 9.0 (Statsoft Inc.).

Com este método foi possível estimar as seguintes variáveis: a variação radial da densidade no sentido medula-câmbio, as densidades média, mínima e máxima de cada segmento diametral, componentes estes extremamente importantes para o aprofundamento do conhecimento do potencial da madeira de teca.

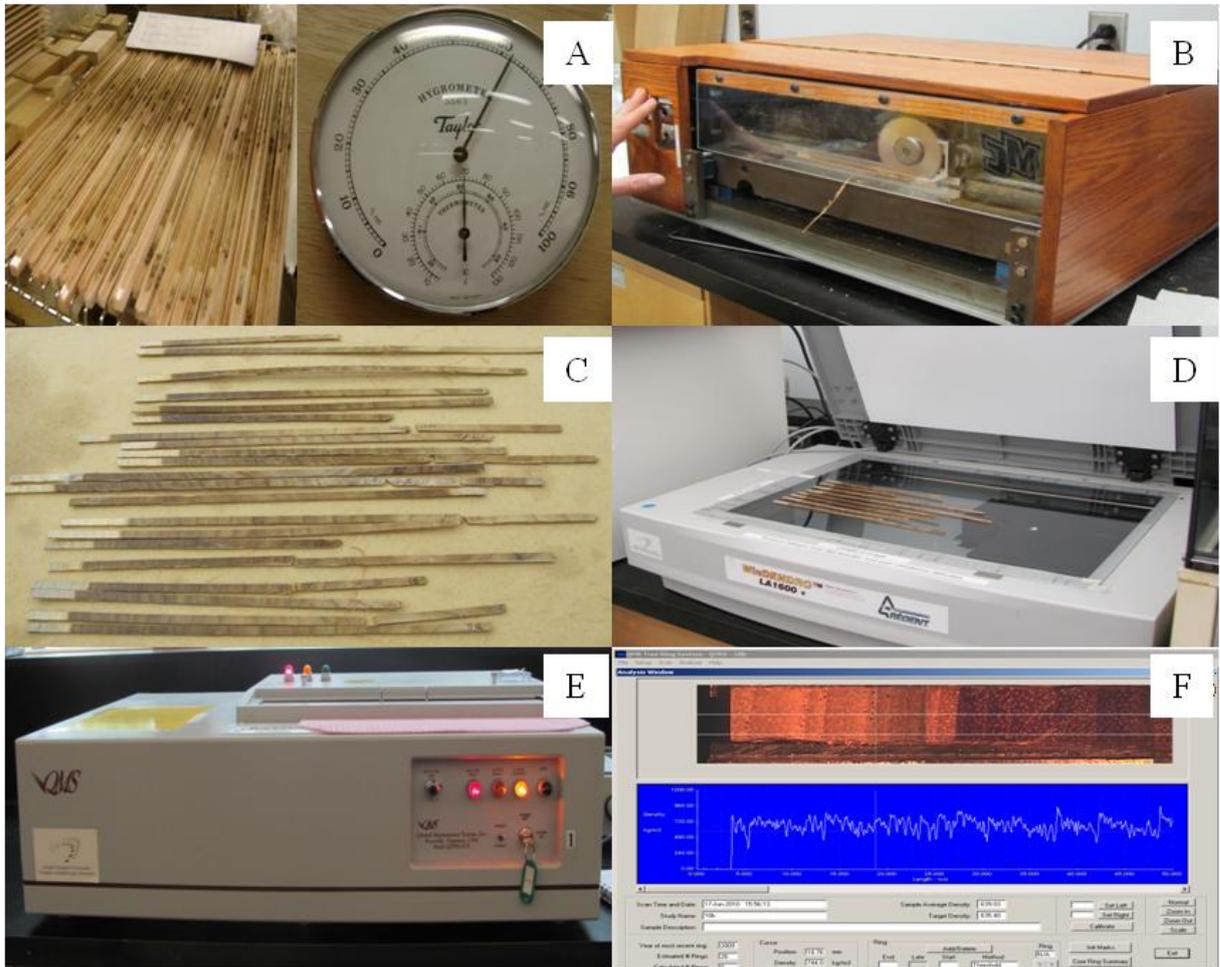


Figura 9. (A) Climatização da madeira a 12% de umidade (20°C e 60% UR do ar); (B) Aparelho de serra, Laboratório da FPInnovations Forintek, Québec-QC, Canadá; (C) Amostras seccionadas; (D) Amostras sendo escaneadas no aparelho WinDENDRO®; (E) Densitômetro QMS X-ray, modelo QDP-01 X (Centre de Recherche sur le Bois, Université Laval, Québec-QC, Canadá); (F) Imagem do software do Densitômetro QMS X-ray em operação.

3.4.1 Remoção dos extrativos da madeira de teca

A remoção dos extrativos foi realizada inicialmente através de uma mistura de ciclohexano e etanol (Volume 2:1) adicionada às amostras condicionadas em provetas e dispostas sobre banho-maria (em torno de 40°C) no aparelho ISOTEMP 220 por um período de 12 horas, onde a solução foi trocada a cada 1 hora. Após a primeira extração, as amostras passaram por uma segunda extração com o uso de etanol em um período de 8 horas, a solução foi trocada a cada 2 horas. E finalmente, foi realizada a extração com água quente a uma temperatura de 90°C por um período de 6 horas, sendo a água quente renovada a cada 1 hora (Figura 10). Após as extrações, as amostras voltaram para a câmara de climatização (60% UR e 25°C) até que atingissem um teor de umidade da madeira de 12%. A medição da densidade das amostras após a remoção dos extrativos seguiu a mesma metodologia empregada nas amostras com extrativos (vide item 3.3).

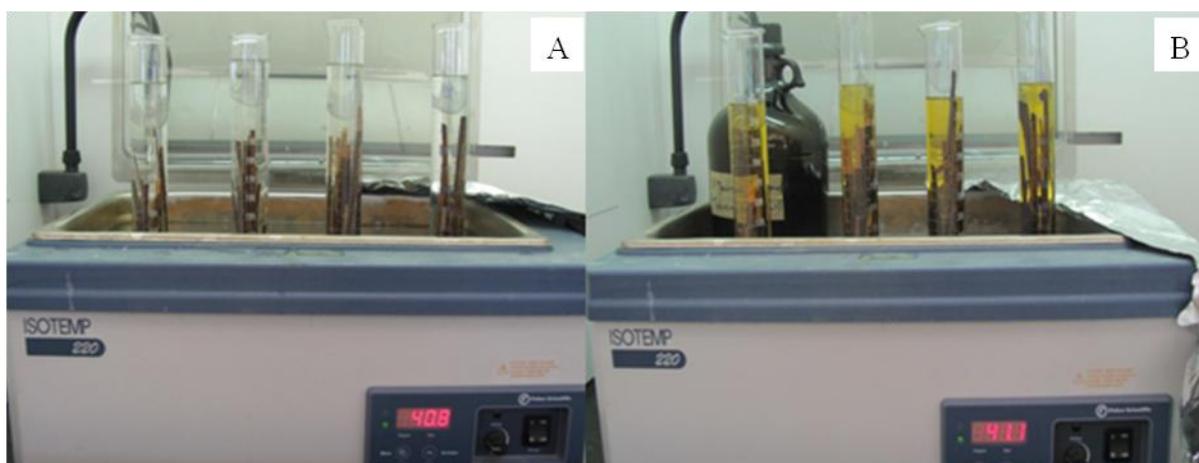


Figura 10. (A) Amostras logo após a adição da solução de ciclohexano e etanol; (B) Amostras com a solução de ciclohexano e etanol após o período de 1 h.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises Dendrocronológicas nos Anéis de Crescimento

4.1.1 Dados climáticos do município de Cáceres, MT

Para a construção das séries contínuas de registros climáticos do Município de Cáceres, Mato Grosso - Brasil, foram analisadas as médias mensais de temperatura do ar e os totais mensais de precipitação das estações meteorológicas de Cáceres (Anexo A). As médias mensais de temperatura do ar utilizadas abrangeram o período de 01/1980 a 12/2009. A região apresentou uma temperatura média anual de 25,2°C para o período, com uma estação de menores temperaturas entre os meses de maio a agosto, com temperaturas médias de 21,9 e 23,9 °C nos meses de julho e agosto, respectivamente (Figura 11).

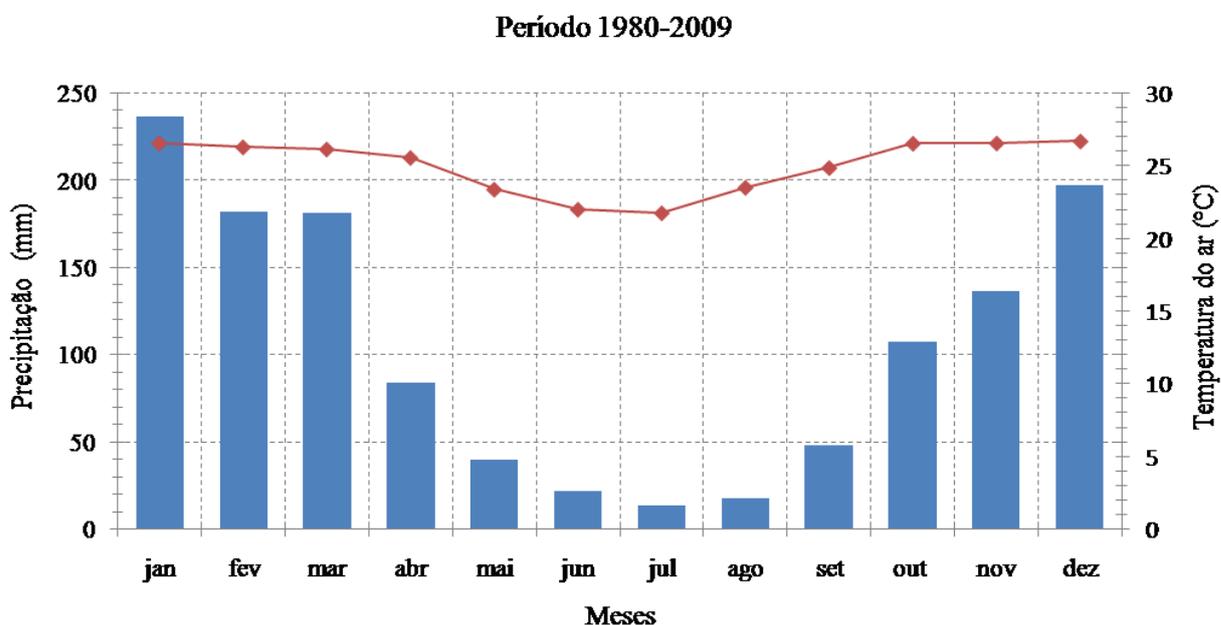


Figura 11. Médias mensais de temperatura do ar (°C) e totais mensais de precipitação (mm) para o período de 1980 a 2009 na região de estudo.

A série histórica de precipitação total mensal utilizada compreendeu o período de 01/1980 a 12/2009. Como a estação pluviométrica principal (Código 01657003) apresentou algumas falhas em seus registros (períodos de 01/1991 a 12/1994 e 01/1996 a 10/1998), houve a necessidade de estas falhas serem preenchidas. Para o mesmo, utilizou-se o método das Médias Ponderadas dos postos vizinhos (vide item 3.3.1).

Quanto à distribuição da precipitação na região no período de 1980 a 2009, os meses de janeiro e julho apresentaram, respectivamente, a maior e menor média de totais mensais com valores de 237 mm e 14 mm (Figura 11). A existência de uma estação seca definida (maio a setembro) na região pode influenciar na dinâmica de crescimento das árvores de teca. O conhecimento da potencialidade do solo da região em armazenar água e a reposição do lençol freático contribuiriam para indicar se ocorre stress hídrico no período de meses secos. Visto que um princípio importante para a aplicação da dendroclimatologia é o da seleção das árvores, onde estas devem estar em sítios nos quais a largura dos anéis seja limitada, diretamente ou indiretamente, pelo estresse causado pelas variáveis climáticas (FRITTS et al., 1971).

4.1.2 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 porosidade em anel da teca assim como a associação de parênquima axial de coloração clara disposto em faixas terminais junto aos vasos que compõem o lenho inicial e delimitam a transição para o lenho tardio caracterizam os anéis de crescimento (Figura 12). Esta estrutura anatômica dos anéis de crescimento das árvores de teca é citada na literatura (CHOWDHURY, 1939; FREITAS, 1958; CARDOSO, 1991; SUDHEENDRAKUMAR et al., 1993; PRYA e BHAT, 1998; TOMAZELLO e CARDOSO, 1999; RICHTER e DALLWITZ, 2000; GOVAERE et al., 2003), que identificam a conformação dos anéis de crescimento através da porosidade em anel, formada por poros grandes e numerosos no lenho inicial, e pequenos e escassos no lenho tardio e a presença de faixas de parênquima axial com uma coloração mais clara em relação as fibras.

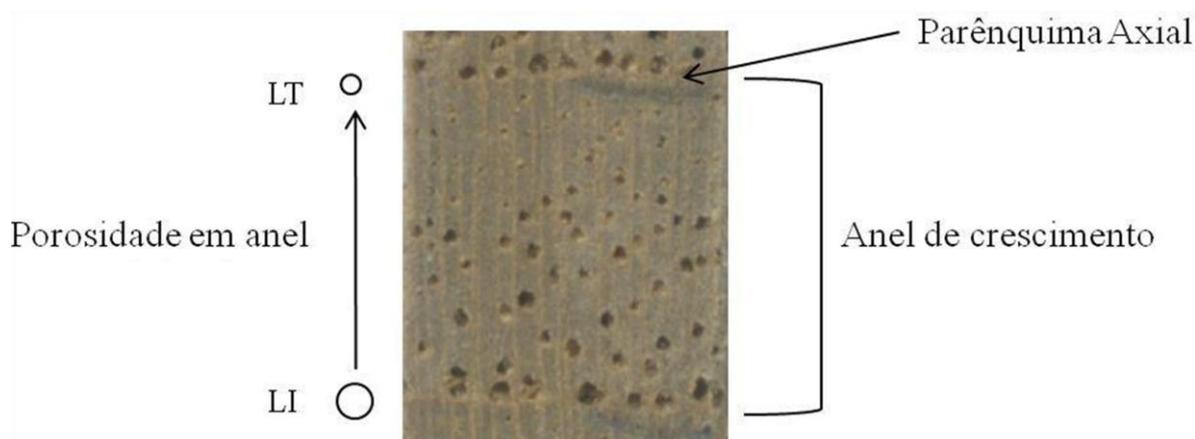


Figura 12. Caracterização do anel de crescimento da teca.

A madeira de teca apresentou uma diferenciação nítida entre as regiões de cerne (coloração mais escura) e albarno (coloração mais clara). Foi observado nessas regiões anéis mais estreitos na região do albarno em relação aos anéis próximos a medula (Figura 13D). Esse comportamento é devido a teca apresentar um rápido crescimento nos primeiros anos e conforme a árvore vai envelhecendo esse ritmo de crescimento tende a diminuir (FIGUEREIDO, 2005). Característica desta espécie bastante documentada na literatura (TROUP, 1921; BHAT et al., 1987; SOMARRIBA et al., 1999, CENTENO, 2001; GOVAERE et al., 2003; CALDEIRA, 2004; THULASIDAS et al., 2006, entre outros).

Quanto à presença de falsos anéis, verificou-se a presença destes tanto na região de albarno quanto de cerne. Porém há uma maior ocorrência na região de albarno. De acordo com Chowdhury e Rao (1949), a ocorrência de falsos anéis é mais freqüente em árvores de teca jovens. Dentro dos anéis de crescimento, a presença de falsos anéis foi observada tanto no lenho inicial quanto no lenho tardio. No presente trabalho foram identificados falsos anéis dos tipos I, III e IV (Figura 13A, E, F e G), segundo a classificação de Prya e Bhat (1998) que identificaram 4 tipos de formações de falsos anéis na teca de Nilambur (Kerala), Índia (vide item 2.1). No lenho inicial ocorreram os tipos I e II, enquanto na região do lenho tardio ocorreu o tipo IV. O falso anel do tipo I é caracterizado por uma zona que se assemelha ao lenho inicial com uma ou mais linhas de parênquima, vasos grandes e fibras de paredes finas precedida por fibras de paredes espessas. Uma mudança abrupta da espessura fina das paredes das fibras do lenho inicial para uma faixa de fibras de paredes mais espessas com parênquima e vasos difusos caracteriza o falso anel do tipo II. Na região do lenho tardio o tipo IV

caracteriza-se por agregações de vasos múltiplos radiais com células do parênquima paratraqueal. Segundo os mesmos autores, os eventos de chuvas durante o período seco e secas durante a estação de crescimento são importantes fatores causadores da frequência dos falsos anéis na teca.

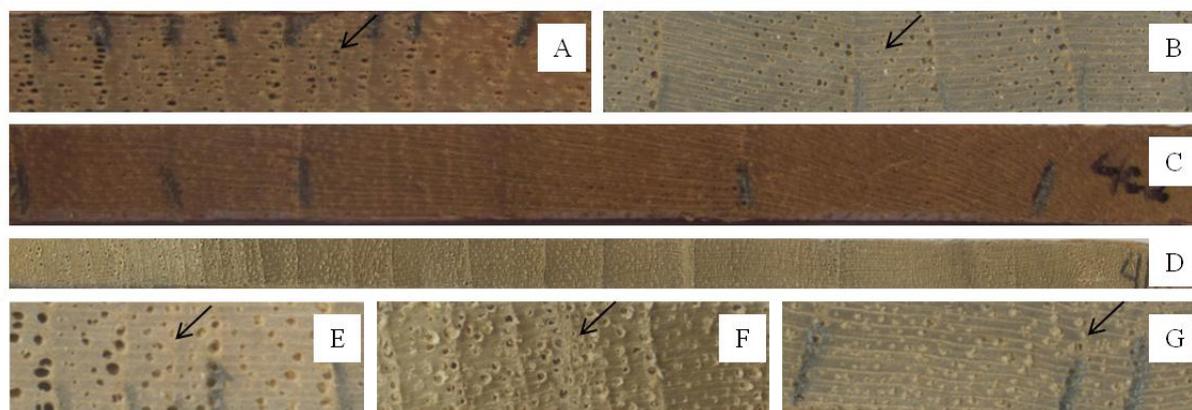


Figura 13. Exemplo de anéis de crescimento da teca: (A) Falso anel na região do lenho inicial, tipo I; (B) Anel estreito; (C) Anéis mais largos próximos a medula; (D) Raio no sentido câmbio-medula de uma amostra; (E) Falso anel do tipo III; (F) Falso anel do tipo IV; (G) Falso anel do tipo I.

Ao analisar as amostras do lenho das árvores de teca observou-se uma variabilidade dos anéis de crescimento quanto sua largura, onde é possível visualizar anéis de crescimento largos e estreitos. Essa variabilidade na largura dos anéis de crescimento indica, entre outros fatores, a sensibilidade destas árvores às condições ambientais. Tomazello Filho e Cardoso (1999), ao estudarem a variação sazonal do câmbio vascular da teca no Brasil concluíram que a região do câmbio da árvore de teca é constituída por 2 tipos de células, que apresentam períodos de mínimo e máxima atividades relacionados aos estágios fenológicos da espécie e as variáveis climáticas. Os mesmos autores indicaram que o parênquima marginal e a porosidade em anel habilitam a datação do incremento anual de teca. Dessa forma, os anéis de crescimento das árvores de teca apresentam potencialidade para aplicação em estudos dendrocronológicos.

4.1.3 Sincronização e obtenção das séries cronológicas dos anéis de crescimento

As análises iniciais do lenho das 15 árvores provenientes do município de Cáceres-MT proporcionaram a medição da largura dos anéis de crescimento de 52 raios. A partir dos valores de larguras dos anéis de crescimento das árvores de teca, mensurados no programa WinDENDRO™, foi realizado a sincronização das séries de largura do anéis no programa COFECHA. Inicialmente, as séries de largura dos anéis de crescimento foram sincronizadas entre todos os raios de uma mesma árvore e em seguida, os raios que apresentaram melhores correlações entre si foram sincronizados com as demais séries de largura de anéis das outras árvores. A utilização do programa COFECHA permitiu realizar um controle em qualidade, a partir da sincronização de cada raio mensurado com a série mestra (calculada através das séries individuais) e, através da interpretação do relatório gerado pelo programa foi possível determinar erros na medição e auxiliar na identificação de falsos anéis de crescimento (Anexo B). O controle de qualidade consistiu na remoção das tendências de crescimento não climáticas para cada série de anéis de crescimento. Esse controle foi feito através do ajuste de

uma curva exponencial negativa. Após esse procedimento, o programa COFECHA, apresentou o valor de correlação Pearson obtido através da comparação entre séries residuais a cada 50% de longitude da série, entre cada série de largura de crescimento e a série mestra (CHAGAS, 2009). Dessa forma, foi possível obter correlações em períodos de 20 anos comparados a cada 10 anos.

A partir da análise dos valores de correlação pode-se visualizar que algumas séries não apresentavam um bom ajuste com a série mestra, dessa forma estas séries foram excluídas da análise, a fim de assegurar que a sincronização final obedeça ao valor do nível crítico de correlação (Pearson) segundo um nível confiança de 99%. O valor do nível crítico (0,515) é fornecido pelo programa e este valor é calculado de acordo com a longitude do segmento escolhida (20 anos). Algumas dessas séries eram provenientes de amostras que apresentaram grã irregular, presença de muitos anéis de crescimento falsos e/ou outros defeitos na madeira. Portanto, das 15 árvores de teca iniciais correlacionadas apenas 12 árvores (17 raios ou séries) foram utilizadas na sincronização final dos anéis de crescimento (Tabelas 3 e 4). A significância obtida pelas correlações entre as séries cronológicas, no valor de 0,637 (ao nível de significância de 1%), permitiu indicar que as características comuns observadas nessas séries representam a resposta das árvores de teca a um ciclo sazonal similar de crescimento diametral.

Tabela 3. Controle de qualidade das séries cronológicas

| Espécie | Número de árvores (séries) | | Número de anéis observados | | Intercorrelação média | | Correlação crítica |
|---------|----------------------------|---------|----------------------------|--------|-----------------------|--------|--------------------|
| | antes | depois | antes | depois | antes | depois | |
| | <i>T.grandis</i> | 15 (52) | 12 (17) | 1302 | 433 | 0,068 | |

Tabela 4. Correlações entre as séries cronológicas a partir da largura dos anéis de crescimento da teca

| Número de amostras | Raio (Série) | Intervalo | Idade da série | Intercorrelação das séries |
|--------------------|--------------|-----------|----------------|----------------------------|
| 1 | 2D | 1983-2005 | 23 | 0,682 |
| 2 | 4C | 1982-2006 | 25 | 0,547 |
| 3 | 4D | 1982-2006 | 25 | 0,654 |
| 4 | 5C | 1983-2008 | 26 | 0,748 |
| 5 | 5D | 1981-2008 | 28 | 0,773 |
| 6 | 6A | 1984-2007 | 24 | 0,728 |
| 7 | 6B | 1984-2007 | 24 | 0,737 |
| 8 | 7A | 1983-2008 | 26 | 0,557 |
| 9 | 8A | 1981-2008 | 28 | 0,668 |
| 10 | 8C | 1981-2008 | 28 | 0,712 |
| 11 | 10B | 1986-2008 | 23 | 0,555 |
| 12 | 11C | 1985-2006 | 22 | 0,758 |
| 13 | 11D | 1983-2008 | 26 | 0,566 |
| 14 | 12D | 1981-2007 | 27 | 0,489 |
| 15 | 13C | 1982-2008 | 27 | 0,498 |
| 16 | 14A | 1984-2008 | 25 | 0,508 |
| 17 | 15A | 1982-2007 | 26 | 0,665 |
| Período/Média | | 1981-2008 | | 0,637** |

** Significativo ao nível de confiança de 99% (Pearson).

Ao observar os dados de largura dos anéis de crescimento pode-se verificar algumas tendências similares no crescimento das árvores. Alguns anos apresentaram anéis com a mesma tendência de crescimento em grande parte dos raios estudados, como é o caso dos anos de 1992, 1994, 1996 e 1997 que apresentaram a mesma tendência de crescimento na maioria dos raios estudados. O ano de 1993, por exemplo, apresentou um anel mais estreito em relação aos demais que foi verificado em todos os raios correlacionados (Figura 14).

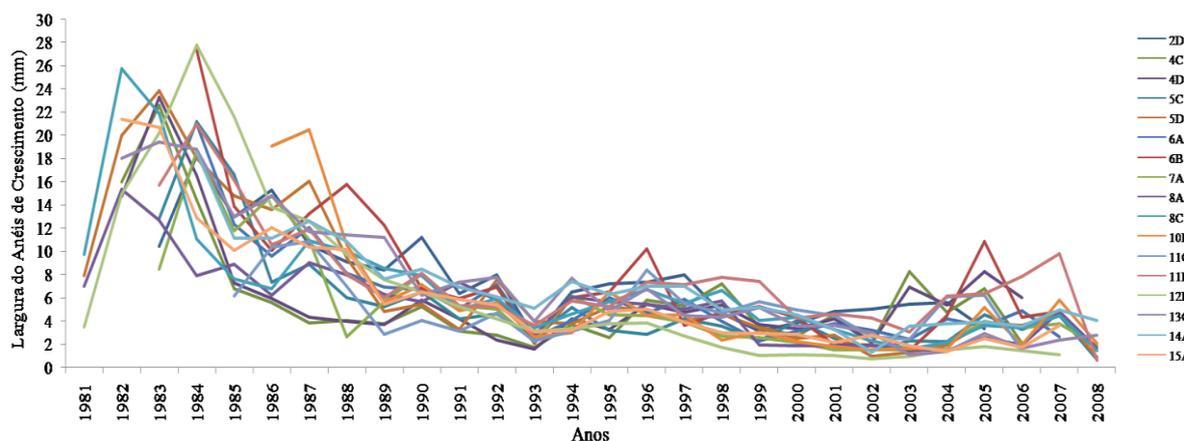


Figura 14. Séries de largura dos anéis de crescimento da teca utilizadas no programa COFECHA.

O período de 1990-1993 é caracterizado pela ocorrência do fenômeno El Niño com forte intensidade. A ocorrência do fenômeno na região Centro-Oeste do Brasil segundo alguns autores não mostram um impacto significativo no clima da região (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987; RAO e HADA, 1989). Porém, Grimm et al.(1998) ao estudar a influência de eventos El Niño sobre a precipitação na região Centro-Oeste do Brasil encontrou que anomalias de secas muito consistentes e persistentes aparecem no verão no oeste dessa região, direção na qual o município de Cáceres encontra-se. Ao analisar a precipitação total anual (mm) e a temperatura média anual (°C) do período de 1980-2009 na região de Cáceres-MT (Figura 15), verifica-se que os anos de 1993 e 1994 apresentaram valores totais anuais de precipitação de 983 e 949 mm, respectivamente. Valores estes bem menores em relação aos anos anterior e posterior, 1438 e 1510 mm. Verões secos e a alta variabilidade da precipitação ao longo do ano são fatores desfavoráveis para o crescimento das plantas (MITRAKOS, 1980). Dessa forma, o menor incremento do ano de 1993 pode ser explicado pela intensificação do fenômeno El Niño no período analisado.

Porém, outros fatores que influenciam no crescimento também devem ser considerados. Segundo Englerth (1966) operações silviculturais podem modificar o ambiente o qual afeta diretamente o crescimento da árvore, dentre as operações silviculturais o desbaste apresenta considerável influência no tipo de madeira produzida.

Período 1980-2009

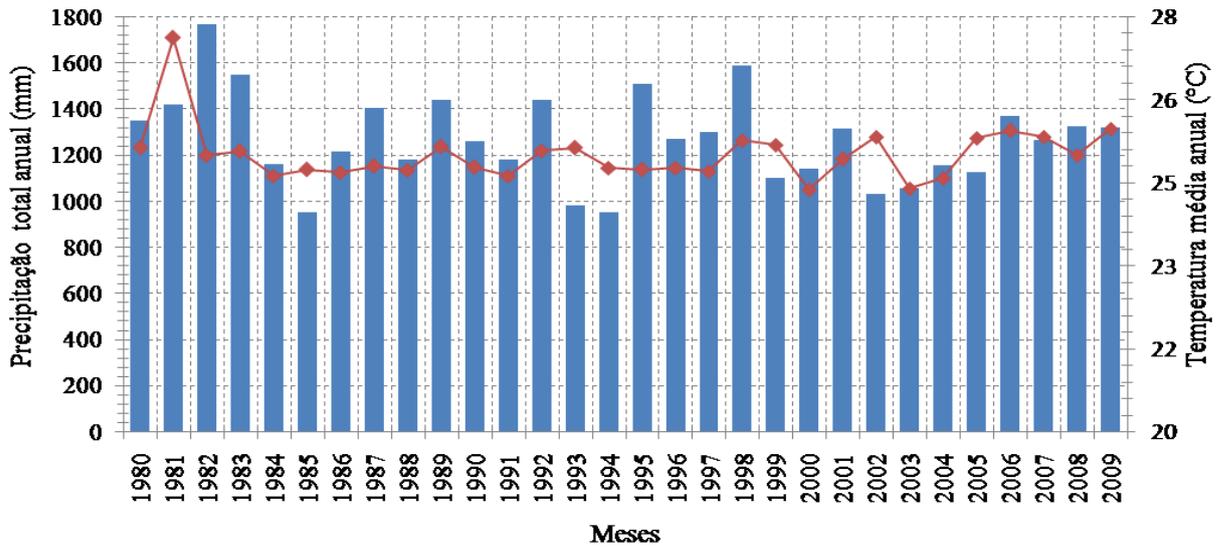


Figura 15. Precipitação total anual (mm) e temperatura média anual (°C) do período de 1980-2009, Cáceres-MT.

A espessura e a regularidade dos anéis de crescimento são também indicativas de qualidades tecnológicas da madeira (BURGER e RICHTER, 1991). Segundo os mesmos autores, um exemplo do uso do conhecimento sobre os anéis é quanto a estimativa da densidade de peças de madeira em certas espécies através da contagem dos anéis que estas contêm. Na Figura 16, encontram-se os valores médios de incremento (mm) das árvores correlacionadas. O maior incremento médio das árvores de teca ocorreu no ano de 1984 (18 mm) e o menor valor médio apresentado foi de 1,8 mm correspondente ao último ano de crescimento. De uma forma geral, as árvores de teca apresentaram um maior incremento nos primeiros anos e esta tendência foi diminuindo conforme as árvores foram amadurecendo

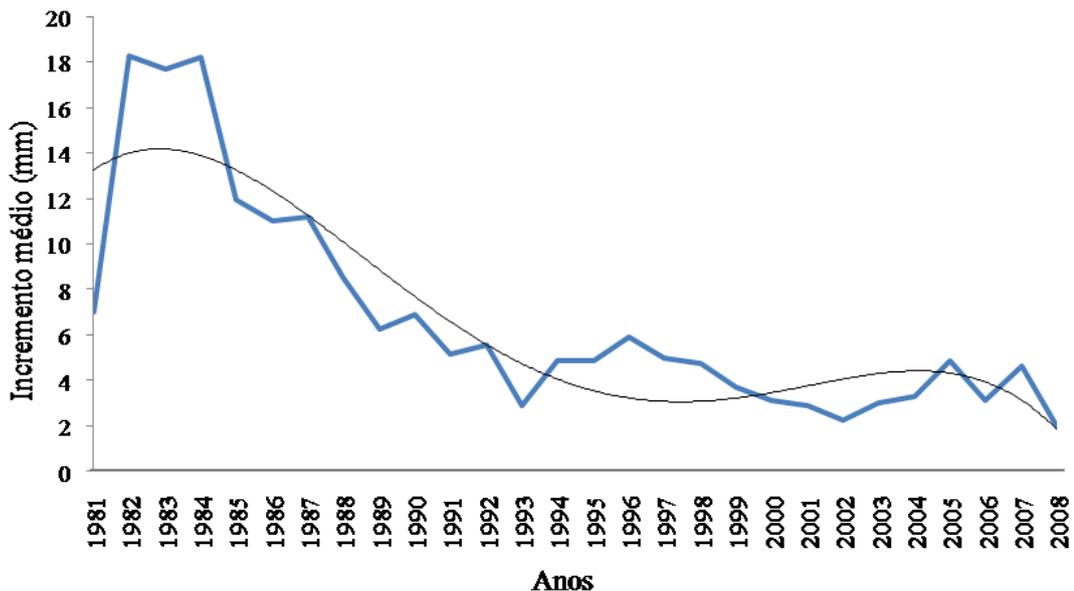


Figura 16. Incremento médio de todas as árvores de teca.

A potencialidade da espécie em estudos dendrocronológicos no Brasil foi denotada no estudo de Tomazello Filho e 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 e BORGAONKAR, 1983; MURPHY e WHETTON, 1989; JACOBY e D'ARRIGO, 1990; BHATTACHARAYYA et al., 1992; D'ARRIGO et al., 1994; PUMIJUMNONG et al., 1995). Neste contexto, a teca proveniente do município de Cáceres demonstra potencialidade para a sua utilização em reconstruções do clima, porém para um período curto de tempo visto as árvores existentes serem jovens (em torno de 25 anos).

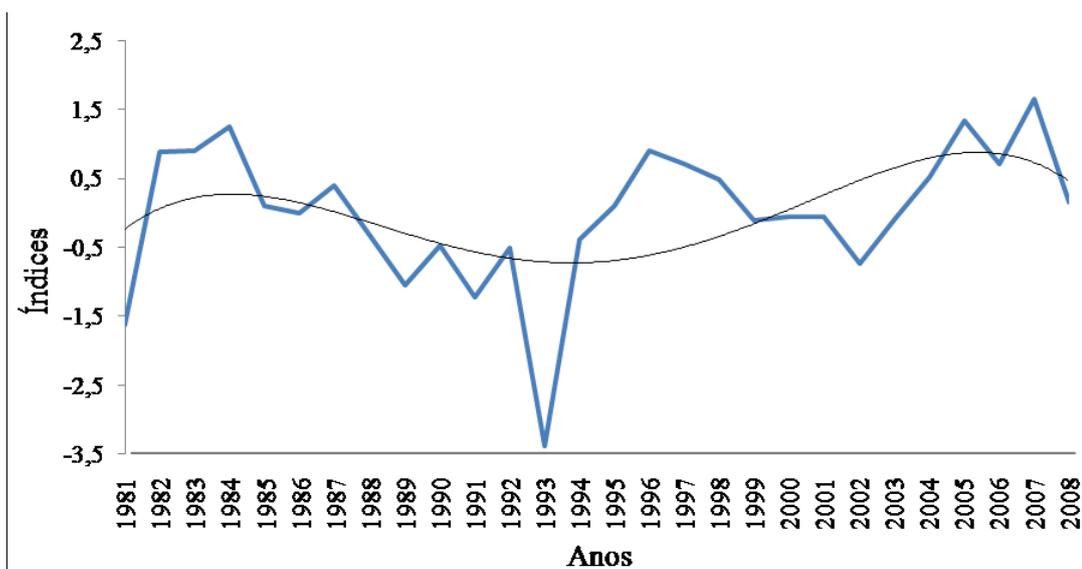


Figura 17. Série mestra das árvores de teca obtidas a partir das larguras dos anéis de crescimento transformados em índices no programa COFECHA.

Uma vez obtidas as séries cronológicas após o uso do software COFECHA, estas foram executadas no programa ARSTAN com o objetivo de maximizar o sinal comum entre as séries (Figura 18). Neste programa, foi realizada uma padronização (standardização) das séries de largura dos anéis de cada árvore, onde foi possível ajustá-la a uma função logaritmo negativa. A escolha pela utilização desse modelo deve-se ao fato desse modelo obter melhores resultados e ser considerado o que produz a melhor reconstrução climática.

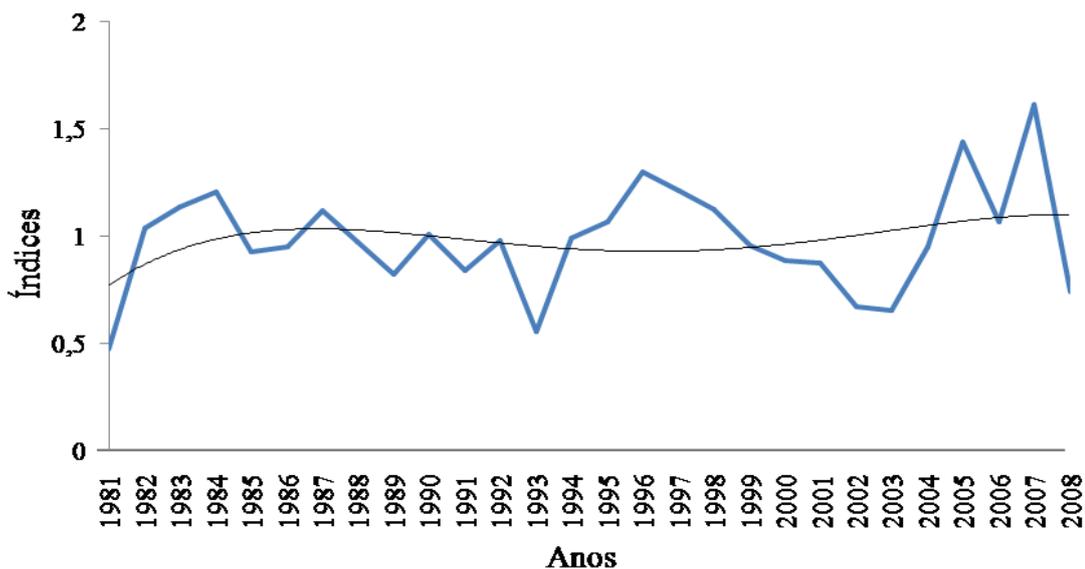


Figura 18. Série mestra obtidas pelos índices de anéis de crescimento no programa ARSTAN.

O modelo aplicado para as árvores de teca apresentou uma tendência de redução na largura dos anéis conforme estes se aproximam do câmbio, o que pode indicar que as árvores estejam diminuindo o ritmo de crescimento. Segundo TSUKAMOTO FILHO et al.(2003), as condições climáticas favoráveis, o solo de melhor fertilidade e os tratos silviculturais mais adequados e intensos contribuíram para reduzir o ciclo de produção de 80 anos, na região de origem da teca, para apenas 25 anos, na região de Cáceres-MT. Ângelo *et al.*(2009), ao determinar a maturidade financeira da teca cultivada no município de Alta Floresta-MT através do método da taxa de crescimento esta ocorreu aos 15, 18 e 20 anos, para as respectivas taxas de crescimento de 6, 8 e 10%. Essas informações contribuem com o resultado encontrado, porém, não é possível afirmar com clareza visto que há um menor número de segmentos com os últimos anos para realizar tal comparação (Figura 19).

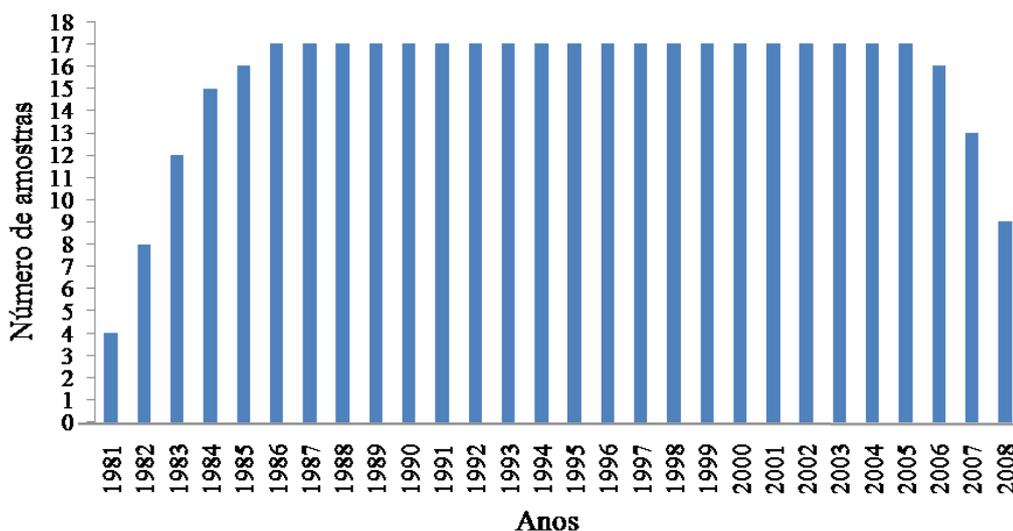


Figura 19. Número de amostras do lenho utilizadas para a obtenção da série mestra.

4.1.4 Potencial das árvores de *Tectona grandis* L.f. para estudos de dendrocronológicos

Após a obtenção dos índices de crescimento da largura dos anéis de crescimento de teca no programa ARSTAN, estes foram correlacionados com os dados climáticos de temperatura média mensal e precipitação total mensal no programa RESPO. Neste programa foi determinado em que período os fatores climáticos influíram significativamente no crescimento em diâmetro das árvores de teca. Um resumo do relatório do programa encontra-se no Anexo C.

Para a correlação entre crescimento e clima, as médias mensais de temperatura do ar e os totais mensais de precipitação, foram incluídos para análise os meses de janeiro a dezembro do ano corrente ao crescimento para o período de 1980-2009. O coeficiente de correlação múltiplas foi de 0,8806 e a variância do crescimento explicada através do componente principal foi de 77,54%, a um nível de 95% de significância (Figura 20).

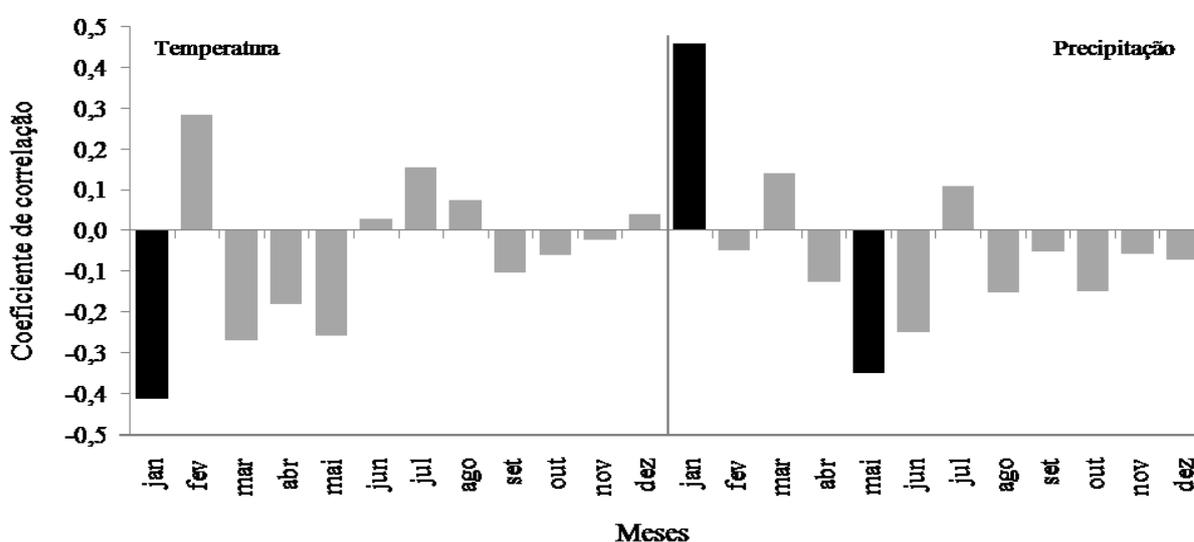


Figura 20. Correlações das séries de índice de largura dos anéis de crescimento das árvores de teca com as variáveis climáticas (temperatura média mensal e precipitação total mensal).

Os resultados evidenciaram que para a temperatura mensal houve correlação negativa significativa (-0,4123) entre o mês de janeiro e o crescimento. Nota-se também uma correlação negativa, porém não significativa, entre os meses de março-abril, meses estes que ainda possuem uma alta temperatura média do ar. Enquanto os meses de junho-agosto possuem correlações positivas, não significativas, com o crescimento. A temperatura média do ar na região volta a aumentar a partir do mês de setembro, e é entre os meses de setembro-novembro que a temperatura e o crescimento voltam a possuir uma correlação negativa.

De uma forma geral, a temperatura mensal varia pouco ao longo do ano na região de estudo (vide Figura 11), onde se observa uma temperatura média de 25,2°C (21,7-26,7°C). Os meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro apresentam a mais alta temperatura média, em torno de 26,6°C, da região. Segundo Pumijumnong et al.(1995), a alta temperatura pode aumentar a taxa de evapotranspiração e assim colocar as árvores sob stress hídrico. Dessa forma, a correlação negativa entre a temperatura-crescimento pode ser um efeito indireto, associado com a alta demanda das árvores por água e a abundância de chuva no mesmo período.

Para a precipitação, encontrou-se que houve correlação positiva significativa entre o crescimento e a precipitação em janeiro (+0,4574), enquanto a precipitação do mês de maio apresentou uma correlação negativa significativa quanto ao crescimento (-0,3503). O fato do

mês de janeiro possuir a maior média de precipitação total (237 mm) corrobora com a correlação positiva significativa da precipitação e o crescimento das árvores de teca, visto que o acúmulo de água no solo irá proporcionar às árvores condição favorável ao seu pleno desenvolvimento (lenho inicial do anel de crescimento). O mês de maio caracteriza-se pela diminuição nos índices de chuva, sendo assim o início do período seco na região de Cáceres, que se estende de maio a setembro, quando os índices de chuva começam a aumentar. Portanto, a correlação negativa significativa entre o mês de maio e o crescimento deve-se ao início na diminuição no ritmo do crescimento vegetativo das árvores (formação do lenho tardio). Dessa forma, pode-se concluir que a precipitação é uma variável climática que influencia efetivamente no crescimento em diâmetro das árvores de teca, juntamente com a temperatura do ar dentre outros fatores.

Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por Tomazello Filho e Cardoso (1999) ao estudarem a atividade cambial e fenologia de árvores de teca no Estado de São Paulo. Segundo este estudo, as árvores de teca no Brasil apresentam o início da formação do parênquima marginal e o anel poroso nos meses de dezembro e janeiro, e é no período de maio a julho que a atividade cambial declina, reflete nos frutos que ficam maduros, secos e começam a cair, e no período de julho a setembro ocorre a desfolhação da espécie e o câmbio atinge um estágio de mínima atividade, próxima a latência.

Nos países de origem, a teca também apresenta correlação positiva com a precipitação (PANT e BORGAONKAR, 1983; BHATTACHARYYA et al., 1992; MURPHY e WHETTON, 1989; JACOBY e D'ARRIGO 1990; D'ARRIGO et al., 1994; PUMIJUMNONG et al., 1995; PRIYA e BHAT, 1998; RAM et al., 2008) e é utilizada em estudos dendroclimatológicos em países como Índia, Mianmar, Tailândia e Indonésia a fim de entender e reconstruir climas passados e assim determinar a ocorrência de fenômenos como as monções, que são fenômenos climáticos típicos da Ásia. SHAH et al. (2007), ao utilizarem a teca para reconstruir uma cronologia de fenômenos de monções na Índia Central, encontraram correlação positiva entre a precipitação e crescimento das árvores de teca no período de maio a julho, período este que coincide com a ocorrência das monções. Os mesmos autores concluíram que a temperatura do ar não mostrou efeito significativo no crescimento de teca nesta região.

O desenvolvimento de cronologias em espécies tropicais traz substanciais conhecimentos a respeito do clima, ecologia florestal e manejo florestal nos trópicos (STAHLER, 1999). O sucesso no desenvolvimento de cronologias exatas através dos anéis de crescimento da teca no Brasil e em sua região de origem (BHATTACHARYYA et al., 1992; D'ARRIGO et al., 1994; PUMIJUMNONG et al., 1995, entre outros) estimula a ampliar as informações sobre o crescimento da espécie ao redor do mundo e em especial nos trópicos, onde essa espécie vem sendo empregada com bastante sucesso em plantios comerciais. Além de salientar a possibilidade de formação de anéis anuais em outras espécies florestais tropicais.

4.2 Variação Radial da Densidade da Madeira através da Microdensitometria de Raios X

Os perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores de teca permitiram obter informações sobre os anéis de crescimento e qualidade do lenho, assim como as diferenças entre as árvores com e sem extrativos (Anexo D). A partir do perfil de densidade pode-se verificar que a diferença entre o lenho tardio e o lenho inicial não foi só visual. Os perfis de densidade aparente do lenho das árvores apresentaram quanto a variação da densidade ao longo do raio no sentido câmbio-medula uma tendência sutil de aumento nos valores de densidade no sentido medula-câmbio (Figura 21).

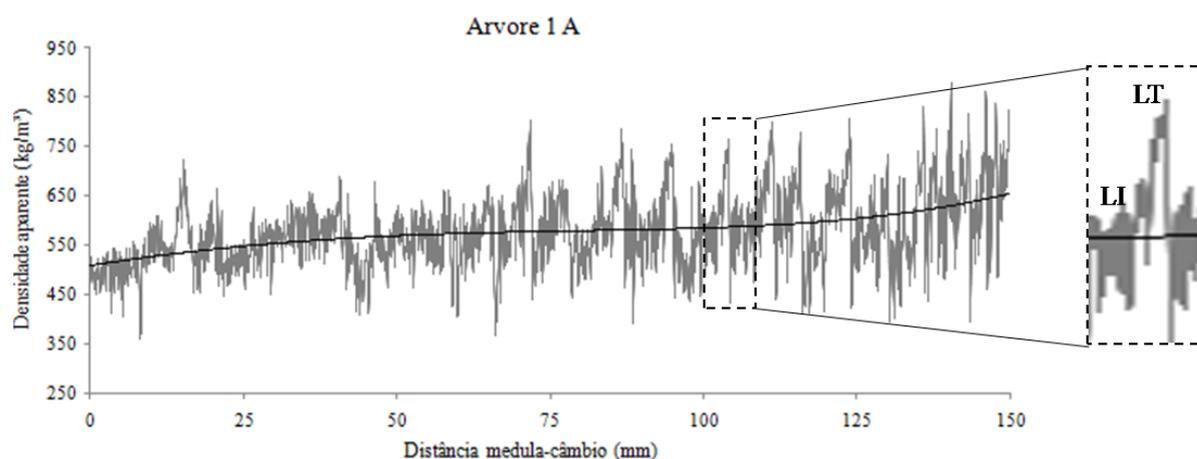


Figura 21. Exemplo de um perfil de densidade aparente da árvore de teca com extrativos no sentido medula-câmbio. LT-Lenho Tardio e LI-Lenho Inicial.

A variação da densidade ao longo do raio apresentou valores entre 650-550 kg/m³ na região da medula e 850-650 e 750-550 kg/m³ nos perfis de densidade com e sem extrativos, respectivamente, de densidade na região próxima ao câmbio.

Vários estudos relacionados com a qualidade da madeira de teca em árvores de diferentes idades concordam com os resultados encontrados no presente trabalho, onde o lenho juvenil da teca, ao contrário de várias espécies de zonas temperadas, não é inferior ao lenho adulto em termos de densidade (KOKUTSE et al., 2004). Ao avaliar algumas propriedades mecânicas da madeira de teca no Panamá, Posch et al.(2004) verificou que a densidade diminuiu com o aumento da largura do anel, ou seja, a madeira apresentou menores valores de densidade na região próxima da medula onde encontram-se os anéis mais largos da teca formados nos primeiros anos de crescimento. Segundo um estudo realizado na Costa Rica em árvores juvenis e adultas de teca, verificou-se que a densidade anidra aumenta ligeiramente com a idade e ao longo do DAP (CORDERO e KANNINEM, 2003). Caldeira (2004) ao estudar árvores de teca entre 70 e 80 anos provenientes do Timor Leste encontrou um padrão onde a densidade aumentou na direção medula-câmbio. Moya et al.(2009), também encontraram um aumento da densidade aparente com o aumento da idade em árvores de teca na Costa Rica. Dessa forma, os perfis de densidade possibilitaram verificar que a densidade aumenta no sentido medula-câmbio nas árvores de teca da região de Cáceres, ou seja, a densidade aumenta conforme a idade.

No Brasil Gonçalves et al.(2007) ao estudarem a variação radial da densidade básica de árvores de teca em árvores provenientes dos Estados de São Paulo e Espírito Santo, com 12 e 5 anos respectivamente, observou em ambas as amostras um perfil decrescente de densidade básica na direção medula-casca, ao contrário dos resultados encontrados no presente trabalho.

Essa diferença pode estar relacionada com a proporção de lenho juvenil na madeira de teca, visto que as árvores estudadas são jovens (5 e 12 anos). O lenho juvenil apresenta algumas características tais como menor diâmetro celular, menor comprimento de fibras e paredes celulares mais finas, logo tende a apresentar menor densidade em relação ao lenho adulto (MALLAN, 1995).

Segundo o mesmo autor, a variação no sentido radial é a mais importante fonte de variação na madeira. A extensão desta variação é, principalmente, determinada pela presença da madeira juvenil, sua proporção no tronco, suas características físico-químicas e anatômicas (GONÇALVES et al., 2007). Segundo os mesmos autores a elevação do gradiente de variação dentro da zona juvenil diminui com o passar do tempo.

No presente trabalho, uma variação intra e inter-anual de densidade, indicou a formação de zonas fibrosas, com maior porcentagem de fibras de parede espessa e menor porcentagem de vasos (lenho tardio), visualizável através dos altos picos de densidade ao longo dos perfis de densidade das amostras. Enquanto, o lenho inicial apresentou fibras com paredes menos espessas e maior porcentagem de vasos. As variações de densidade indicaram 2 diferentes tipos de lenho no tronco das árvores de teca, sendo a madeira juvenil (interna) e adulta (externa). Nesse sentido, as árvores de teca apresentaram lenho com valores mais altos de densidade aparente possivelmente devido uma maior porcentagem de madeira adulta e a deposição de extrativos na região do cerne.

Segundo Tomazello Filho (2008), a presença de extrativos no lenho de árvores de *Eucalyptus* sp. explicam o efeito destes na densidade da madeira, onde uma grande atenuação dos raios X no cerne (maior densidade) foi devido a tilos, baixa permeabilidade e a alta resistência contra microorganismos. Na Tabela 5, encontram-se os valores de densidade média, mínima e máxima entre os raios das árvores com e sem a presença dos extrativos.

Tabela 5. Valores de densidades média, mínima e máxima das árvores de teca com e sem extrativos.

| Árvore | Densidade média (kg/m ³) | | Comprimento médio do raio (mm) |
|--------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| | Com extrativo | Sem extrativo | |
| 1 | 595,5 ^a (346,2-982,1) | 558,0 ^b (269,8-932,7) | 154,9 (116,6-176,7) |
| 2 | 648,7 ^a (360,5-1208,9) | 625,6 ^b (284,0-1105,9) | 191,35 (150-265,3) |
| 3 | 695,8 ^a (344,3-1038,6) | 650,0 ^b (296,2-934,9) | 167,9 (155,4-180,4) |
| 4 | 634,1 ^a (325,9-1014,5) | 623,6 ^b (272,5-965,1) | 146,0 (135-152,6) |
| 5 | 699,5 ^a (353,8-1217,4) | 685,9 ^b (286,1-982,1) | 187,4 (158,7-216,1) |
| 6 | 715,3 ^a (343,4-1209,0) | 660,1 ^b (284,6-1185,7) | 174,6 (123,7-210,8) |
| 7 | 717,3 ^a (305,5-1202,3) | 674,8 ^b (342,5-1123,4) | 159,6 (105,3-243,2) |
| 8 | 648,7 ^a (323,9-1223,5) | 618,4 ^b (287,2-1160,4) | 187,9 (175,0-200,4) |
| 9 | 628,3 ^a (350,3-1485,8) | 609,9 ^b (319,6-1153,5) | 214 (211,5-225,0) |
| 10 | 640,8 ^a (296,6-1746,3) | 613,3 ^b (280,8-1596,1) | 189,4 (155,7-211,9) |
| 11 | 692,7 ^a (366,0-1074,9) | 672,1 ^b (345,8-1073,0) | 236,8 (206,5-254,5) |
| 12 | 643,3 ^a (353,7-1071,9) | 604,5 ^b (308,5-939,3) | 236,3 (196,9-257,2) |
| 13 | 743,9 ^a (364,9-1267,6) | 642,6 ^b (312,6-1026,9) | 173,5 (137,2-224,1) |
| 14 | 686,8 ^a (352,5-1060,3) | 645,7 ^b (322,2-1000,6) | 201 (175,6-225,0) |
| 15 | 643,8 ^a (364,4-966,9) | 588,3 ^b (283,7-852,1) | 134,9 (119,4-158,7) |
| Média | 669,0 (296,6-1746,3) | 631,5 (269,8-1185,7) | 183,7 (105,3-265,3) |

Os valores das médias na coluna com letras distintas diferem entre si pelo Teste T (P<0,05) e os valores entre parênteses representam os valores mínimo e máximo das amostras.

Nota-se que houve variância nas densidades médias com e sem extrativos entre todas as árvores a um nível de significância de 5%. Os valores de densidade aparente média, mínima e máxima do lenho das árvores de teca com extrativo foram de 699,0, 296,6 e 1746,3 kg/m³, respectivamente, enquanto os valores de densidade do lenho das árvores sem extrativos foram de 631,5, 269,8 e 1185,7 kg/m³ (Tabela 5). Segundo a classificação dos valores característicos das madeiras (CARVALHO, 1996) a teca insere-se na classe das madeiras moderadamente pesadas.

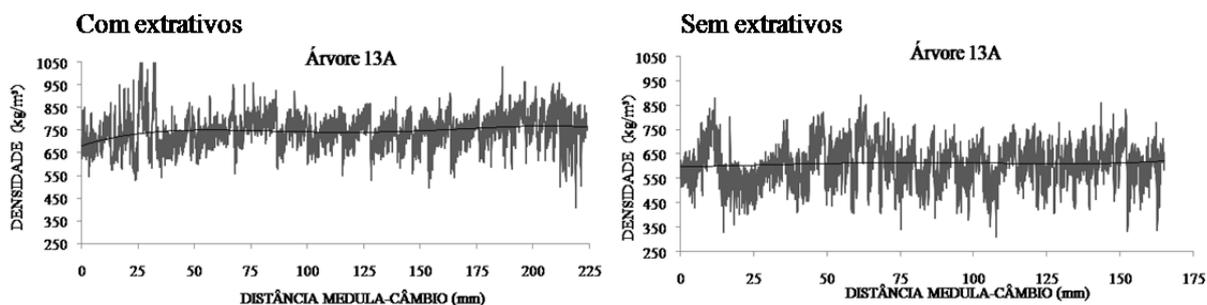


Figura 22. Perfil de densidade aparente com e sem extrativos.

Os valores de densidade média aparente encontrada para as árvores de teca proveniente de Cáceres, 669 e 631,5 kg/m³ (valores com e sem extrativos) aproximam-se do valor de densidade básica encontrado por González e Bonilla (1979) na Costa Rica em árvores de teca com 28 anos (610 kg/m³). Os mesmos autores encontraram valores diferentes de densidade básica em madeiras de teca provenientes de diferentes países da América Latina como Honduras (560 kg/m³) e Panamá (630 kg/m³) e da Ásia como Mianmar (560 kg/m³) e Índia (570 kg/m³). Caldeira (2004) ao estudar árvores de teca do Timor Leste entre 70 e 80 anos encontrou um valor densidade básica total determinada para as árvores de teca foi de 580 kg/m³. Moya et al.(2009) encontrou valores de densidade média aparente da madeira em árvores de teca na Costa Rica com 13 anos de idade entre 550-875 kg/m³.

Alguns autores vêm destacando a importância de fatores climáticos tais como temperatura e precipitação no incremento das árvores. Nos trópicos diversos trabalhos denotam que a variação da precipitação ao longo do ano é o fator determinante para a sazonalidade no crescimento das espécies florestais, onde períodos com baixo índices de chuvas estão correlacionados com períodos em que as árvores produzem células com paredes mais espessas, menores diâmetros de lume e maior densidade em contraponto as células formadas em períodos com maior disponibilidade de água (REZENDE, 1987; BOTOSSO, 2002; TOMAZELLO, 2006; CHAGAS, 2009).

Sabe-se que a variabilidade natural da madeira é devido às condições de crescimento da árvore, a partir de fatores de desenvolvimento tais como o clima, o solo, disponibilidade de água, nutrientes disponíveis, variabilidade genética, etc. Portanto, a densidade da madeira irá refletir as condições do meio ambiente em que a árvore se desenvolveu.

A soma de todas as características e propriedades que afetam o rendimento em produtos finais e sua adequação para as aplicações pretendidas é denominada de qualidade da madeira. A garantia da qualidade da madeira é um fator importante, pois além de gerar altos níveis de rendimento, também é um parâmetro para assegurar a qualidade dos produtos finais.

Os diferentes usos da madeira requerem determinadas características desta em relação a outras. As características de qualidade requeridas para madeira de construção civil, por exemplo, são resistência, rigidez, retidão, estabilidade dimensional, isenção de empenamentos e defeitos, longos comprimentos e durabilidade. Enquanto, a qualidade da madeira para a produção de carvão depende da densidade e do teor de resina, onde quanto maior a densidade e o teor de resina na madeira, maior é o seu poder calorífico.

Dessa forma, os altos valores encontrados de densidade aparente no lenho das árvores de teca do Município de Cáceres com e sem extrativos denotam que o clima propício do local (alta precipitação e período seco distinto) influencia na qualidade da madeira e conseqüentemente na sua indicação a usos de fins mais nobres da madeira, como por exemplo, na confecção de produtos de maior valor agregado (PMVA), tais como móveis, pisos, entre outros.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitiram concluir que:

- A partir da análise da seção transversal das amostras de madeira foi possível identificar e caracterizar os anéis de crescimento;
- Os anéis na região do alburno são mais estreitos em relação aos anéis próximos a medula;
- Verificou-se a presença de falsos anéis tanto na região de alburno quanto na região de cerne, porém houve uma maior ocorrência na região de alburno;
- Observou-se uma variabilidade dos anéis de crescimento quanto sua largura indicando a sensibilidade destas árvores às condições ambientais;
- Os resultados evidenciaram que a temperatura do ar e a precipitação apresentam correlações significativas com crescimento das árvores de teca na região;
- A significância obtida pelas correlações entre as séries cronológicas permitiu indicar que as características comuns observadas nessas séries representam a resposta das árvores de teca a um ciclo sazonal;
- A técnica de microdensitometria de raios X possibilitou a análise precisa das variações radiais da densidade do lenho de árvores de teca;
- Os perfis diametrais indicaram um sutil aumento da densidade do lenho no sentido medula-câmbio do tronco das árvores de teca;
- Ocorreu uma diferenciação entre a madeira juvenil, interna próxima à medula, e a madeira adulta, próxima ao câmbio;
- A variação radial da densidade indicou, da mesma forma, que as regiões interna e externa do tronco das árvores de teca apresentam lenho de propriedades anatômicas e físicas diferenciadas;
- Houve variância nas densidades médias com e sem extrativos entre todas as árvores a um nível de significância de 5%;
- De acordo com os valores médios de densidade obtidos, a teca inseriu-se na classe das madeiras moderadamente pesadas;
- Os altos valores de densidade aparente encontrados no lenho das árvores, com e sem extrativos, denotam que o clima propício do local (alta precipitação e período seco distinto) influencia na qualidade da madeira e conseqüentemente na sua indicação a usos de fins mais nobres da madeira, como por exemplo, na confecção de produtos de maior valor agregado (PMVA), tais como móveis, pisos, entre outros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n.1, p.158-166. 2000.

ALVARADO, J. R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2009.

ANGELI, A. Identificação de espécies florestais: *Tectona grandis* (Teca). 2003. Disponível em: < <http://www.ipef.br/identificacao/tectona.grandis.asp>>. Acesso em: 05 de abr. de 2009.

ÂNGELO, H.; MORAES E SILVA, V. S.; SOUZA, A. N. ; GATTO, A. C. Aspectos financeiros da produção de teca no estado de Mato Grosso. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 23-32, 2009.

BHAT, K. M. ; MA, H. O. **Teak growers unite!** ITTO Tropical Forest Update 14/1. 2004. Disponível em: www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=6670000;no=1. Acesso em: 10 de jan. 2010.

BHAT, K. M.; BHAT, K. V. ; DHAMODARAN, T. K. A note on specific gravity difference between dominant and suppressed trees in teak. **Indian Journal of Forestry**. India, n. 10, v. 1, p. 61-62. 1987.

BHATTACHARAYYA, 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.

BOTOSSO, P. C. ; MATTOS, P. P. de **A idade das árvores: importância e aplicação**. *Embrapa Florestas*. Colombo. 22 f. 2002.

BRAÜNING, A. Dendroclimatological potential of drought-sensitive tree stands in Southern Tibet for the reconstruction of monsoonal activity. **IAWA journal**, v. 20, n. 3, p. 325-338. 1999.

BURGER, L. M. ; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. *Nobel*. São Paulo. 154 p. 1991.

CALDEIRA, B. R. P. P. **Caracterização das propriedades físico-mecânicas edeterminação de percentagem de cerne da madeira de *Tectona grandis***. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, 2004. 84 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal. 2004.

CAMPBELL, W. G. ; BAMFORD, K. F. Factors affecting the relative resistance of certain woods to hydrolysis by dilute sulfuric acid. **J. Soc. Chem. Ind.**, n. 58, p. 180-185. 1939.

CANGIANI, S. M. P. Qualidade da madeira de *Pinus* na Duraflora. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.9, n.27, 30-34 p. 1993.

CARDOSO, N. S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis*)**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1991.

CENTENO, J. C. **The management of teak plantations**. 2001. Disponível em: www.itto.org.jp/newsletter/v7n2/10management.html. Acesso em: 20 set. de 2010.

CHAGAS, M. P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2009.

CHOWDHURY, K. A. The formation of growth rings in Indian trees. **Indian For. Rec.**, Nova Delhi, India, n. 1, p. 1-3. 1939.

CHOWDHURY, K. A.; RAO, K. R. The formation of growth rings in Indian trees. Part IV, false growth rings in saplings of teak (*Tectona grandis*) and mahogany (*Swietenia macrophylla*). **Indian For. Rec.**, Wood Technology, Nova Déli, Índia, n. 1, p. 1-15. 1949.

CONKEY, L. E. Response of tree-ring density to climate in Maine. **Tree-ring bulletin**, Tucson, n. 39, p. 29-38, 1986.

CORDERO, L.; 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**, n. 37, p. 45-54. 2003.

COOK, E. R. **A time series analysis approach to tree-ring standardization**. Arizona, Tucson-EUA: University of Arizona, 1985. 171 f. Tese (PhD em Management of Watersheds) - University of Arizona, Tucson-Estados Unidos da América. 1985.

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**, p. 102-103. 1990.

COOK, E. R.; BRIFFA, K. R. A comparison of some tree-ring standardization methods. In: COOK, E.R.; KARIUSTUS, A. (Ed.). **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences**. Dordrecht: **Kluwer Academic**, p.104-123.1990.

CRUZ, H.; NUNES, L. **A madeira como material de construção**. Núcleo de Estruturas de Madeira. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Conferência do VI MRANU. Lisboa, Portugal. 27 f. 2006.

D' ARRIGO, R. D.; JACOBY, G. C. ; KRUSIC, P. J. Progress in dendroclimatic studies in Indonesia. **Terr. Atmos Oceanogr. Sci.**, v. 5, 349–363 p. 1994.

DELGADO S. C. Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos. In: ROIG, F.A. (Comp.). Dendrocronología en América Latina. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo. p. 79-102. 2000.

DELTA – INTKEY. Description Language for Taxonomy. Imagens do lenho da madeira de *Tectona grandis* L. f. Disponível em: <http://delta-intkey.com/wood/images/teak.jpg>. Acesso em: 20 set. de 2010.

DÉTIENNE, P. Appearance and periodicity of growth in some tropical wood. **IAWA Bulletin**, n. 10, p. 123-132. 1989.

DEVALL, M.; PARRESOL, B.; WRIGHT, S. Dendrocronological analysis of *Cordia Alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in Central Panama. **IAWA Journal**, v. 16, p. 411-424. 1995.

DINWOODIE, J. M.; DESCH, H. E. **Timber-structure, properties, conversion and use.** 410 f. 1996.

DOUGLAS, A. E. Crossdating in dendrocronology. **Journal of Forestry**, v. 89, p. 825-831. 1901.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do Estado de Mato Grosso-Brasil.** Santa Maria: UFSM, 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

DUPUY, B.; VERHAEGEN, D. Lê teck de plantation *Tectona grandis* em Cted'lvoire. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 235, p. 9-24.1993.

ENGLERTH, G. H. Framework of qualitative relationships in wood utilization. **Forest Products Laboratory**, 18 f. 1966.

FERRAZ, E. S. B. Anéis de crescimento e clima em *Eucalyptus*. **Silvicultura**. São Paulo, v. 8, n. 32, p. 821-822, 1993.

FIGUEIREDO, E. O. Reflorestamento com Teca (*Tectona grandis* L.f.) no Estado do Acre. **Embrapa Acre**, Boletim Técnico, 29 f. 2001.

FIGUEIREDO, E. O. Teca (*Tectona grandis* L.f.): Produção de mudas tipo toco. **Embrapa Acre**, Boletim Técnico, 22 f. 2005.

FREITAS, M. C. P. G. **Estudo das madeiras de Timor: II Contribuição.** Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa, Portugal, 89 f. 1958.

FRITTS, H. C.; BLASING, T. J.; HAYDEN, B. P.; ; KUTZBACH, J. E. Multivariate techniques for specifying tree growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. **Journal of applied meteorology**, Lancaster, v. 10, n. 5, p. 845-64. 1971.

FRITTS, H. Tree rings and climate. New York. **Academic Press**. Londres, 567 f. 1976.

GÉNOVA, M. **Los anillos de crecimiento como indicadores climáticos.** *Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.* 2004. Disponível em: www.ameweb.org/AulaMoran/anilloscomoindicadores.pdf. Acesso em: 20 de abr. de 2010.

GONZÁLEZ, G.; BONILLA, L. **Propiedades y usos de la madera de Teca (*Tectona grandis*) creciendo en Quepos.** San José, Universidad de Costa Rica, Laboratorio de Productos Forestales. 1979.

GONÇALVES, G. V. Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. **CIDEHUS**, Universidade de Évora, Portugal, 16 f. 2007.

GONÇALVES, M. P. M.; COFFLER, R.; CARVALHO, A. M. ; GARCIA, R. A. Variação radial da densidade básica e comprimento das fibras da madeira de *Tectona grandis* L. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.14, n.1, p. 70 -75. 2007.

GOURLAY, I. 1995. Growth rings characteristics of some African Acacia species. **Journal of Tropical Ecology**, v.11, n.1, p.121-140.

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.

GRIMM, A. M.; CARDOSO, A. O.; FERRAZ, S. E.T.; SORIANO, B. há impacto significativo de eventos El Niño e La Niña no Centro-Oeste do Brasil? Anais X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Disponível em: <http://www.cbmet.com>. Acesso em: 10 jan. 2011. 1998.

HILLIS, W. E. Heartwood and tree exudates. Berlin, Alemanha. **Springer Verlag.**, 268 f. 1987.

HOLMES, R. L.; ADAMS, R. K.; FRITTS, H. C. **Quality control of crossdating and measuring: a user manual for program COFECHA.** In: Tree rings chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Tucson, Arizona University. p. 15-35. 1986.

HOLMES, R. L. **Principal components analysis - users manual. In: Dendrochronology program library.** Lab. of Tree Ring Research, Univ. of Arizona, Tuscon. 40 f. 1994.

HUGHES, J. F.; SARDINHA, R. M. A. The application of optical densitometry in the study of wood structure and properties. **Journal of Microscopy**, n. 104, v. 1, p. 91-103. 1975.

HON, D. N. S. Weathering and photochemistry of wood. **Wood and cellulosic chemistry.** New York. 2nd ed., rev. and expanded. Marcel Dekker. p. 513-546. 2001.

HORNE, J. E. M. Teak in Nigeria. **Nigerian Information Bulletin.** Nigéria, n.16. 1966.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Disponível em: http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/atlasescolar/mapas_pdf/mundo_planisferio_politico_a3.pdf. Acesso em: 20 de mar. 2011.

IFSC (INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS). Introdução à Biologia Vegetal. Disciplina Biologia II. Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos, Licenciatura em Ciências Exatas. São Carlos, p. 45-97. 2001. Disponível em: <http://biologia.ifsc.usp.br/bio2/apostila/sist-veg.pdf>. Acesso em: 10 de abr. 2010.

INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/agro.php?lnk=HídricoClimático>. Acesso em: 10 de ago. 2010.

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

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

KEOGH, R. M. Does teak have a future in tropical America? **Unasyuva**, v. 31, n. 126, p. 13-19. 1979.

KLOCK, U. **Propriedades da Madeira**. At 62 - Introdução a Engenharia Industrial Madeireira. Curso de Engenharia Industrial Madeireira, UFPR. 2006.

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

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Rossdorf: TZ-Verl.-Ges., 343 f. 1990.

LENZ, O. The use of radiography in the examination of annual rings. **Forest Research Inst**, Suíça, v.33, n.5, 1957.

MACEDO, R. L. G; GOMES, J. E.; VENTURIN, E. ; SALGADO, B. G. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L.f. (teca) em diferentes espaçamentos no Município de Paracatu, MG. **Cerne**, Lavras, v.11, n. 1, p. 61-69, 2005.

MALLAN, F. A. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria, São Paulo, IPEF/IPT, Anais. São Paulo, IPEF/IPT, n.05-06, p. 1-19. 1995.

MATRICARDI, W. A. **Efeito dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca *Tectona grandis* L.f. cultivada na Grande Cáceres – Mato Grosso**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1989.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F. ; LOPES, G. A. Anatomia e características físico-químicas da madeira de *Zanthoxylum tingoassuiba* St. Hil. de ocorrência na região de Lavras/MG. **Cerne**. Lavras, v. 5, n. 1, p. 15-25. 1999.

MITRAKOS, K. A. A theory for Mediterranean plant life. **Acta Oecol**, v.1, p. 245-252. 1980.

MOYA, R.; BERROCAL, A.; SERRANO, J. R. ; TOMAZELLO FILHO, M. Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, n.18, v. 2, p. 119-131. 2009.

MUNARETO, F. F. Dendroclimatologia de quatro espécies florestais nativas com potencial silvicultural e econômico. Santa Maria: UFSM, 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. 2007.

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, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil.** Porto Alegre: UFRGS, 2007. 139 f. Tese (Doutor em Ciências com ênfase em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.

OLIVEIRA, J. M.; SANTAROSA, E.; ROIG, F. A. ; PILLAR, V. D. Amostragem temporal dos anéis de crescimento: Uma alternativa para determinar ritmo de atividade cambial. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, s. 1, p. 615-617, 2007.

OLIVEIRA, R. P. R. P. E. **Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L.f., em diferentes espaçamentos, no município de Cáceres, MT.** Seropédica: UFRRJ, 2008. 29 f. Monografia (Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2008.

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.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN Jr., L.; GONÇALVES, M. R. **Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L.f., em Cáceres – MT.** Brasil. Resultados preliminares. *Rev. Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, n. 2, 225-232 p. 2006.

POLGE, H. Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois: l'analyse densitométrique de clichés radiographiques. **Ann. For. Sci.**, v. 20, p. 533–580. 1963.

POLGE, H. Study of Wood density variations by densitometric analysis of x-ray negative of samples taken with a Pressler auger. **IUFRO**, seção 41, 19 f. 1965.

POORTER, L.; BONGERS, F. Ecology of tropical forests. **Wageningen Agricultural University**, 223 f. 1993.

POSCH, B.; WEGENER, G.; GROSSER, D. ; WAGNER, L. Physical and mechanical investigations on teakwood (*Tectona grandis* L.f.) from plantations in Panama. **Holz als Roh- und Werkstoff.**, n. 62, p. 31-35. 2004.

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**, n. 108, p. 215-222, 1998.

PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN D. ; SASS, U. Tree-ring research on *Tectona grandis* in Northern Thailand; **IWA Journal**, n. 16, v.4, p. 385–392. 1995.

RAM, S.; BORGAONKAR, H. P. ; SIKDE, A. B. Tree-ring analysis of teak (*Tectona grandis* L. f.) in central India and its relationship with rainfall and moisture index. **J. Earth Syst. Sci.**, n. 117, v. 5, p. 637–645. 2008.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theor. Appl. Climatol.**, n. 42, p. 81-90.1989.

ROPELEWSKI, C. H.; HALPERT, S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Mon. Wea. Rev.**, n. 115, p. 1606-1626. 1987.

REZENDE, M. A. **Estudo dos anéis de crescimento de duas variedades de *Pinus caribaea* cultivadas na Bahia para avaliação de produtividade, massa específica e nutrição mineral.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1987. 144 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1987.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C. ; GUERRINI, L. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**. Piracicaba, n. 48/49, p. 133-141. 1995.

RICHTER, H. G. ; DALLWITZ, M. J. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Versão em português. Disponível em: <http://delta-intkey.com>. Acesso em: 25 de junho de 2009.

RIOS, P. I. M. Reflorestamento com Teca (*Tectona grandis* L.F.) na região de Pau D’arco-PA. **Boletim Técnico**, 56 f. 2007.

SAMPAIO, A. J. Teca da Índia e a do Brasil. **Revista Florestal**, Rio de Janeiro, n. 1, v. 9, p. 7-10. 1930.

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

STAHL, D. W. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. **IWA Journal**, n. 20, v. 3, p. 249-253. 1999.

SILVA, V. S. M. **Bases biométricas para a análise de produção em reflorestamentos de *Tectona grandis* L.F. em Mato Grosso.** Curitiba: UFPR. 70 f. Trabalho acadêmico (Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, 1994.

SOMARRIBA, E.; MORATAYA, R.; BERR, J.; CLAVO, G. Linderos de *Tectona grandis* L.F. en el trópico húmedo de Costa Rica y Panamá. **Revista Forestal Centro Americana**, Turrialba, Panamá, n. 28. 1999.

SUDHEENDRAKUMAR, V. V., NAIR, K.S.S.; CHACKO, K.C. Phenology and seasonal growth trend of teak at Nilambur (Kerala). **India. Ann. For.**, n. 1, p. 42-46. 1993.

TOMAZELLO FILHO, M.; CARDOSO, N. S. Seasonal cambium variations of the vascular cambium of teak (*Tectona grandis* L. f.) in Brazil. CAB international. **Tree-Rings Analysis**, p. 147-154. 1999.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. 146 f. Tese (Livre Docência em Ciência e Tecnologia de Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, J. T. S. ; BALLARIN, A. W. Application of X-ray technique in non destructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.

TREVISAN, R. **Efeito do desbaste nos parâmetros dendrométricos e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. Santa Maria: UFSM, 2010. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

TROUP, R. S. The silviculture of Indian trees. **Clarendon Press.**, Oxford, Reino Unido, v. 2. 1921.

THULASIDAS, P. K.; BHAT, K. M. ; OKUYAMA, T. Heartwood colour variation in home garden Teak (*Tectona grandis*) from wet and dry localities of Kerala, Índia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 51-54. 2006.

TSUKAMOTO FILHO, A. A.; SILVA, M. L.; COUTO, L. ; MÜLLER, M. D. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 27, n.4, p.487-494. 2003.

VEIT, L. F. Plante seu fundo de aposentadoria. **Silvicultura**, São Paulo, v. 17, n. 68, p. 20-22. 1996.

VIEIRA, A. H.; MARTINS, E. P.; PEQUENO, P. L. L. ; LOCATELLI, M. **Aspectos silviculturais da teca em Rondônia**. *Embrapa CPAF*, Documentos 68, 8 f. 2002.

WORBES, M. Growth rings, increment and age of trees in inundation forest, savannas and a mountain forest in the Neotropics. **IAWA Bull.**, n.10, p. 109 -122. 1989.

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

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 467-476. 2010.

ZERBINI, N. J. **Madeiras tropicais com potencial comercial da região do rio Xingu (Pará, Brasil): Propriedades tecnológicas e cadeia produtiva**. Brasília: UNB, 2008. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade de Brasília. 2008.

ZUMAETA, L. E. C. **Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú.** Perú: UNAM, 2009. 126 f. Dissertação (Especialidade em bosques e gestão de recursos florestais) - Universidad Nacional Agraria la Molina. 2009.

ANEXO A

Totais mensais de precipitação (mm) e médias mensais temperatura do ar (°C) do município de Cáceres-MT

| Ano/Mês | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1980 | 248 | 211 | 112 | 84 | 185 | 37 | 12 | 11 | 26 | 78 | 203 | 141 |
| 1981 | 355 | 133 | 275 | 37 | 3 | 41 | 0 | 0 | 82 | 95 | 204 | 195 |
| 1982 | 208 | 289 | 295 | 33 | 58 | 42 | 0 | 57 | 76 | 277 | 129 | 304 |
| 1983 | 274 | 79 | 230 | 33 | 58 | 85 | 12 | 0 | 7 | 155 | 395 | 219 |
| 1984 | 231 | 115 | 65 | 81 | 4 | 1 | 11 | 47 | 88 | 119 | 192 | 207 |
| 1985 | 174 | 84 | 155 | 70 | 4 | 49 | 58 | 1 | 77 | 77 | 76 | 127 |
| 1986 | 209 | 207 | 161 | 163 | 99 | 8 | 2 | 29 | 43 | 64 | 67 | 163 |
| 1987 | 414 | 100 | 256 | 32 | 40 | 30 | 4 | 13 | 2 | 136 | 126 | 248 |
| 1988 | 412 | 161 | 178 | 98 | 4 | 1 | 0 | 0 | 7 | 69 | 41 | 209 |
| 1989 | 202 | 225 | 181 | 144 | 43 | 53 | 62 | 95 | 0 | 57 | 131 | 246 |
| 1990 | 365 | 178 | 115 | 71 | 70 | 10 | 6 | 62 | 130 | 38 | 89 | 127 |
| 1991 | 106 | 258 | 221 | 122 | 50 | 35 | 2 | 0 | 25 | 103 | 120 | 138 |
| 1992 | 241 | 107 | 230 | 193 | 24 | 0 | 0 | 31 | 97 | 196 | 134 | 185 |
| 1993 | 116 | 115 | 124 | 107 | 21 | 10 | 11 | 13 | 10 | 177 | 201 | 78 |
| 1994 | 103 | 163 | 85 | 30 | 57 | 47 | 18 | 3 | 13 | 166 | 79 | 185 |
| 1995 | 202 | 377 | 209 | 79 | 96 | 42 | 4 | 0 | 6 | 95 | 133 | 267 |
| 1996 | 246 | 83 | 276 | 58 | 58 | 10 | 0 | 23 | 72 | 100 | 207 | 135 |
| 1997 | 225 | 182 | 127 | 79 | 42 | 109 | 0 | 0 | 62 | 155 | 120 | 198 |
| 1998 | 127 | 172 | 211 | 109 | 30 | 2 | 0 | 27 | 109 | 181 | 189 | 430 |
| 1999 | 141 | 84 | 196 | 183 | 3 | 4 | 5 | 0 | 31 | 36 | 170 | 248 |
| 2000 | 177 | 266 | 196 | 157 | 7 | 0 | 22 | 9 | 36 | 35 | 119 | 114 |
| 2001 | 300 | 217 | 105 | 2 | 29 | 20 | 21 | 24 | 94 | 98 | 120 | 284 |
| 2002 | 146 | 283 | 107 | 93 | 44 | 0 | 25 | 53 | 42 | 42 | 55 | 141 |
| 2003 | 159 | 169 | 172 | 78 | 12 | 9 | 0 | 0 | 47 | 45 | 144 | 222 |
| 2004 | 121 | 302 | 111 | 113 | 29 | 10 | 40 | 1 | 16 | 112 | 154 | 144 |
| 2005 | 258 | 172 | 240 | 19 | 52 | 6 | 2 | 0 | 18 | 44 | 141 | 173 |
| 2006 | 266 | 149 | 168 | 100 | 8 | 0 | 10 | 4 | 99 | 154 | 33 | 375 |
| 2007 | 458 | 91 | 171 | 18 | 33 | 0 | 45 | 0 | 9 | 142 | 148 | 147 |
| 2008 | 365 | 296 | 252 | 86 | 5 | 0 | 0 | 33 | 4 | 102 | 57 | 125 |
| 2009 | 255 | 201 | 232 | 65 | 34 | 3 | 35 | 11 | 122 | 83 | 128 | 151 |
| Média | 237 | 182 | 182 | 85 | 40 | 22 | 14 | 18 | 48 | 108 | 137 | 198 |

| Ano/Mês | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1980 | 26,5 | 25,8 | 26,5 | 25,4 | 24,0 | 22,3 | 20,3 | 24,5 | 25,9 | 26,1 | 27,0 | 27,1 |
| 1981 | 26,9 | 26,3 | 27,3 | 27,0 | 27,3 | 25,9 | 26,2 | 27,4 | 27,8 | 28,4 | 27,5 | 27,4 |
| 1982 | 27,2 | 24,3 | 26,8 | 25,4 | 24,3 | 20,9 | 23,8 | 24,2 | 24,6 | 25,4 | 27,3 | 25,9 |
| 1983 | 26,0 | 25,7 | 26,1 | 25,5 | 22,2 | 23,0 | 23,0 | 24,8 | 25,0 | 26,2 | 27,0 | 26,4 |
| 1984 | 25,7 | 26,7 | 24,7 | 26,4 | 24,8 | 21,9 | 22,4 | 22,5 | 23,8 | 25,4 | 25,5 | 25,9 |
| 1985 | 26,8 | 26,8 | 26,1 | 25,0 | 23,6 | 22,6 | 21,1 | 21,2 | 24,8 | 27,0 | 26,1 | 25,9 |
| 1986 | 25,9 | 26,8 | 27,0 | 25,0 | 24,9 | 20,1 | 21,6 | 21,6 | 25,2 | 25,9 | 27,0 | 25,5 |
| 1987 | 26,6 | 26,5 | 25,7 | 25,7 | 22,7 | 20,4 | 21,9 | 24,7 | 24,2 | 25,3 | 26,6 | 27,3 |
| 1988 | 27,1 | 25,8 | 24,1 | 26,4 | 21,2 | 22,2 | 21,4 | 22,4 | 24,6 | 26,2 | 27,6 | 27,7 |
| 1989 | 26,8 | 26,9 | 26,8 | 26,5 | 22,4 | 21,4 | 20,3 | 23,5 | 25,7 | 27,4 | 27,0 | 27,0 |
| 1990 | 26,2 | 26,3 | 26,1 | 26,6 | 21,3 | 23,3 | 20,7 | 25,2 | 23,2 | 26,6 | 25,1 | 26,9 |
| 1991 | 26,9 | 25,7 | 26,4 | 25,4 | 20,6 | 22,5 | 20,0 | 22,4 | 23,4 | 27,1 | 27,1 | 27,8 |
| 1992 | 26,5 | 27,3 | 26,1 | 25,4 | 24,7 | 22,7 | 20,5 | 23,1 | 26,1 | 25,2 | 26,4 | 26,8 |
| 1993 | 27,0 | 26,2 | 26,1 | 25,6 | 24,5 | 23,7 | 20,1 | 23,9 | 24,9 | 26,6 | 25,7 | 27,4 |
| 1994 | 26,3 | 25,8 | 26,4 | 26,3 | 23,2 | 20,3 | 21,2 | 21,8 | 24,6 | 27,1 | 27,5 | 26,8 |
| 1995 | 26,7 | 26,7 | 26,6 | 25,4 | 23,8 | 19,4 | 20,1 | 23,5 | 24,6 | 27,5 | 25,8 | 26,7 |
| 1996 | 26,3 | 26,1 | 26,6 | 24,0 | 23,5 | 22,4 | 21,8 | 23,1 | 24,2 | 26,6 | 26,4 | 26,2 |
| 1997 | 26,6 | 26,0 | 26,6 | 25,0 | 22,4 | 20,1 | 20,6 | 23,6 | 24,9 | 26,9 | 26,5 | 27,2 |
| 1998 | 26,9 | 26,4 | 26,0 | 25,9 | 25,1 | 20,6 | 22,7 | 24,1 | 25,9 | 26,0 | 26,5 | 27,0 |
| 1999 | 27,2 | 26,8 | 26,5 | 26,0 | 23,3 | 22,8 | 22,7 | 23,2 | 24,3 | 26,2 | 26,8 | 26,5 |
| 2000 | 26,7 | 26,0 | 25,2 | 24,6 | 22,4 | 21,6 | 19,6 | 22,6 | 25,3 | 26,5 | 25,3 | 26,7 |
| 2001 | 26,4 | 26,8 | 26,0 | 26,1 | 22,9 | 21,1 | 21,4 | 23,9 | 25,5 | 26,8 | 26,5 | 25,7 |
| 2002 | 26,9 | 26,2 | 26,1 | 25,7 | 23,8 | 21,2 | 22,9 | 24,5 | 24,9 | 27,5 | 26,9 | 27,3 |
| 2003 | 26,4 | 26,1 | 26,2 | 24,5 | 23,9 | 22,7 | 21,9 | 21,5 | 23,0 | 25,9 | 25,8 | 24,9 |
| 2004 | 26,8 | 25,6 | 26,6 | 25,5 | 20,9 | 20,7 | 20,5 | 22,0 | 26,0 | 27,2 | 25,9 | 27,2 |
| 2005 | 26,3 | 26,4 | 25,9 | 24,9 | 25,0 | 24,8 | 23,1 | 23,2 | 22,8 | 27,2 | 27,2 | 27,0 |
| 2006 | 26,4 | 26,4 | 26,5 | 25,6 | 21,9 | 24,6 | 22,8 | 25,0 | 25,2 | 26,3 | 27,7 | 26,9 |
| 2007 | 27,2 | 27,9 | 27,4 | 26,3 | 23,1 | 23,0 | 22,5 | 21,3 | 26,4 | 26,1 | 25,8 | 26,9 |
| 2008 | 26,0 | 26,5 | 24,5 | 24,4 | 22,7 | 20,9 | 22,9 | 25,5 | 24,5 | 27,2 | 27,8 | 27,2 |
| 2009 | 26,6 | 26,9 | 26,3 | 26,2 | 25,3 | 21,0 | 22,5 | 25,2 | 25,2 | 27,1 | 26,8 | 26,6 |
| Média | 26,6 | 26,3 | 26,2 | 25,6 | 23,4 | 22,0 | 21,7 | 23,5 | 24,9 | 26,6 | 26,6 | 26,7 |

ANEXO B

Relatório gerado pelo programa COFECHA, contendo informações sobre a série mestra e a correlações entre as árvores de teca

PROGRAM COFECHA Version 6.00P 27910

QUALITY CONTROL AND DATING CHECK OF TREE-RING MEASUREMENTS

File of DATED series: cor20.txt

CONTENTS:

- Part 1: Title page, options selected, summary, absent rings by series
- Part 2: Histogram of time spans
- Part 3: Master series with sample depth and absent rings by year
- Part 4: Bar plot of Master Dating Series
- Part 5: Correlation by segment of each series with Master
- Part 6: Potential problems: low correlation, divergent year-to-year changes, absent rings, outliers
- Part 7: Descriptive statistics

RUN CONTROL OPTIONS SELECTED

VALUE

- 1 Cubic smoothing spline 50% wavelength cutoff for filtering 32 years
- 2 Segments examined are 20 years lagged successively by 10 years
- 3 Autoregressive model applied A Residuals are used in master dating series and testing
- 4 Series transformed to logarithms Y Each series log-transformed for master dating series and testing
- 5 CORRELATION is Pearson (parametric, quantitative)
Critical correlation, 99% confidence level .5155
- 6 Master dating series saved N
- 7 Ring measurements listed N
- 8 Parts printed 1234567
- 9 Absent rings are omitted from master series and segment correlations (Y)

Time span of Master dating series is 1981 to 2008 28 years
Continuous time span is 1981 to 2008 28 years
Portion with two or more series is 1981 to 2008 28 years

```
*****  
*C* Number of dated series 17 *C*  
*O* Master series 1981 2008 28 yrs *O*  
*F* Total rings in all series 433 *F*  
*E* Total dated rings checked 433 *E*  
*C* Series intercorrelation .637 *C*  
*H* Average mean sensitivity .355 *H*  
*A* Segments, possible problems 7 *A*  
*** Mean length of series 25.5 ***  
*****
```

| Seq | Series | Interval | No. Years | No. Segmt | No. Flags | Corr with Master | //----- Unfiltered -----\\ | | | | | //---- Filtered ----\\ | | | | AR () |
|----------------|--------|-----------|--------------|--------------|--------------|------------------------|----------------------------|-------------|------------|--------------|--------------|------------------------|------------|--------------|---|-----------|
| | | | | | | | Mean msmt | Max msmt | Std dev | Auto corr | Mean sens | Max value | Std dev | Auto corr | | |
| 1 | 2d | 1983 2005 | 23 | 2 | 0 | .682 | 7.74 | 18.25 | 3.961 | .674 | .308 | 2.39 | .499 | -.030 | 1 | |
| 2 | 4c | 1982 2006 | 25 | 2 | 1 | .547 | 5.96 | 22.60 | 4.891 | .716 | .470 | 2.94 | .783 | -.103 | 1 | |
| 3 | 4d | 1982 2006 | 25 | 2 | 0 | .654 | 6.26 | 23.26 | 4.928 | .750 | .382 | 2.75 | .690 | -.034 | 1 | |
| 4 | 5c | 1983 2008 | 26 | 2 | 0 | .748 | 5.48 | 21.19 | 4.720 | .771 | .424 | 2.71 | .648 | -.101 | 1 | |
| 5 | 5d | 1981 2008 | 28 | 2 | 0 | .773 | 7.03 | 23.82 | 6.205 | .834 | .388 | 2.55 | .750 | -.006 | 1 | |
| 6 | 6a | 1984 2007 | 24 | 2 | 0 | .728 | 6.07 | 20.95 | 4.234 | .808 | .343 | 2.55 | .518 | -.023 | 1 | |
| 7 | 6b | 1984 2007 | 24 | 2 | 0 | .737 | 7.69 | 27.38 | 5.834 | .667 | .456 | 2.77 | .565 | -.007 | 1 | |
| 8 | 7a | 1983 2008 | 26 | 2 | 1 | .557 | 5.37 | 18.62 | 4.359 | .676 | .379 | 2.50 | .541 | -.055 | 1 | |
| 9 | 8a | 1981 2008 | 28 | 2 | 0 | .668 | 5.43 | 15.32 | 3.441 | .712 | .331 | 2.79 | .558 | -.047 | 1 | |
| 10 | 8c | 1981 2008 | 28 | 2 | 0 | .712 | 6.94 | 25.73 | 5.505 | .712 | .327 | 2.62 | .583 | -.008 | 1 | |
| 11 | 10b | 1986 2008 | 23 | 2 | 0 | .555 | 5.36 | 20.49 | 5.075 | .796 | .444 | 2.79 | .648 | .005 | 3 | |
| 12 | 11c | 1985 2006 | 22 | 2 | 0 | .758 | 5.04 | 10.88 | 2.490 | .465 | .409 | 2.63 | .604 | .027 | 2 | |
| 13 | 11d | 1983 2008 | 26 | 2 | 0 | .566 | 7.65 | 20.95 | 4.444 | .734 | .314 | 2.62 | .559 | -.080 | 1 | |
| 14 | 12d | 1981 2007 | 27 | 2 | 2 | .489 | 6.55 | 27.75 | 7.298 | .876 | .283 | 2.44 | .455 | .027 | 2 | |
| 15 | 13c | 1982 2008 | 27 | 2 | 1 | .498 | 7.37 | 19.39 | 5.506 | .917 | .303 | 2.51 | .586 | -.053 | 1 | |
| 16 | 14a | 1984 2008 | 25 | 2 | 2 | .508 | 6.76 | 18.52 | 3.747 | .853 | .241 | 2.48 | .508 | .004 | 1 | |
| 17 | 15a | 1982 2007 | 26 | 2 | 0 | .665 | 6.36 | 21.41 | 5.444 | .931 | .264 | 2.71 | .625 | .045 | 1 | |
| Total or mean: | | | 433 | 34 | 7 | .637 | 6.43 | 27.75 | 4.865 | .762 | .355 | 2.94 | .596 | -.026 | | |

ANEXOS C

Relatório gerado pelo programa RESPO, contendo informações sobre as correlações entre as árvores de teca e os registros das variáveis climáticas, temperatura do ar (°C) e precipitação (mm)

| CORRELATION and RESPONSE FUNCTIONS for: Chron: cor20.sd | | Clim: temp_cuca.txt | | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------|--------------------|------------------|----------------|--------------------------|--------|--------|--------|
| Variable | T is Temperature | P is Precipitation | Original variables | | | Response func regression | | | |
| | Correlation function | | Var | Correlation Coef | function Upper | Lower | Coef | Upper | Lower |
| 1 | | DT | DEC T | .0400 | .4126 | -.3326 | -.0380 | .3639 | -.4399 |
| 2 | | TN | NOV T | -.0219 | .3510 | -.3948 | .0340 | .4438 | -.3758 |
| 3 | | TTO | OCT T | -.0615 | .3103 | -.4334 | .0794 | .2705 | -.1116 |
| 4 | | TTTS | SEP T | -.1028 | .2669 | -.4724 | .1312 | .4204 | -.1580 |
| 5 | | ATT | AUG T | .0740 | .4453 | -.2973 | .1975 | .3953 | -.0003 |
| 6 | | JTTTT | JUL T | .1546 | .5199 | -.2108 | .2405 | .5328 | -.0519 |
| 7 | | JT | JUN T | .0296 | .4024 | -.3432 | .0935 | .4591 | -.2722 |
| 8 | | TTTTTTM | MAY T | -.2578 | .0937 | -.6094 | -.2273 | .0625 | -.5171 |
| 9 | | TTTTTA | APR T | -.1796 | .1831 | -.5423 | -.2361 | .0473 | -.5195 |
| 10 | | TTTTTTM | MAR T | -.2692 | .0803 | -.6188 | .0145 | .3553 | -.3262 |
| 11 | | FTTTTTTT | FEB T | .2829 | .6300 | -.0642 | .2616 | .5455 | -.0223 |
| 12 | | TTTTTTTTTJ | JAN T ** | -.4123 | -.0952 | -.7295 ** | -.5251 | -.2111 | -.8391 |
| 13 | | PPD | DEC P | -.0725 | .2989 | -.4439 | -.0929 | .1903 | -.3762 |
| 14 | | PPN | NOV P | -.0583 | .3137 | -.4302 | -.0462 | .2584 | -.3508 |
| 15 | | PPPO | OCT P | -.1479 | .2181 | -.5139 | .1883 | .5755 | -.1990 |
| 16 | | PPS | SEP P | -.0506 | .3217 | -.4229 | -.0266 | .3095 | -.3627 |
| 17 | | PPPPA | AUG P | -.1507 | .2150 | -.5165 | -.0471 | .2721 | -.3664 |
| 18 | | JPPP | JUL P | .1071 | .4765 | -.2623 | .2374 | .5153 | -.0405 |
| 19 | | PPPPPPJ | JUN P | -.2481 | .1050 | -.6012 | -.2958 | .0881 | -.6797 |
| 20 | | PPPPPPPPPM | MAY P ** | -.3503 | -.0174 | -.6833 ** | -.4111 | -.1320 | -.6903 |
| 21 | | PPPPA | APR P | -.1249 | .2432 | -.4929 | .0271 | .3013 | -.2471 |
| 22 | | MPPPP | MAR P | .1404 | .5072 | -.2263 | .1847 | .4767 | -.1073 |
| 23 | | PF | FEB P | -.0490 | .3234 | -.4213 | .0982 | .4913 | -.2949 |
| 24 | | JPPPPPPPPPPPP | JAN P ** | .4574 | .7613 | .1536 | .2470 | .5235 | -.0295 |

** Confidence limits are at the 95 pct level
 ** Significant at the .05 level

Multiple correlation coefficient (R) .8806 Total variance explained 77.54%
 Confidence limits .9581 .6830
 F-value 5.022 significant at the .002040381 level with 11 and 16 D. F.

CORRELATION and RESPONSE FUNCTIONS for: Chron: cor20.sd
 T is Temperature P is Precipitation
 Variable Correlation function Original variables

| Variable | Correlation function | Original variables | Correlation function | | Response func regression | | | | |
|----------|----------------------|--------------------|----------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------|--------|--------|
| | | | Coef | upper Lower | Coef | upper Lower | | | |
| 1 | DT | DEC T | .0400 | .4126 | -.3326 | -.0760 | .0617 | -.2136 | |
| 2 | TN | NOV T | -.0219 | .3510 | -.3948 | .0953 | .2160 | -.0253 | |
| 3 | TTO | OCT T | -.0615 | .3103 | -.4334 | .0712 | .1915 | -.0491 | |
| 4 | TTTS | SEP T | -.1028 | .2669 | -.4724 | .1267 | .2779 | -.0244 | |
| 5 | ATT | AUG T | .0740 | .4453 | -.2973 | ** | .2080 | .3397 | .0763 |
| 6 | JTTTT | JUL T | .1546 | .5199 | -.2108 | ** | .2577 | .3959 | .1195 |
| 7 | JT | JUN T | .0296 | .4024 | -.3432 | | .0676 | .3201 | -.1849 |
| 8 | TTTTTTM | MAY T | -.2578 | .0937 | -.6094 | ** | -.2017 | -.0647 | -.3388 |
| 9 | TTTTTA | APR T | -.1796 | .1831 | -.5423 | ** | -.2385 | -.0800 | -.3971 |
| 10 | TTTTTTM | MAR T | -.2692 | .0803 | -.6188 | | .0018 | .1551 | -.1516 |
| 11 | FTTTTTTT | FEB T | .2829 | .6300 | -.0642 | ** | .2625 | .3985 | .1265 |
| 12 | TTTTTTTTTTJ | JAN T ** | -.4123 | -.0952 | -.7295 | ** | -.5193 | -.2942 | -.7444 |
| 13 | PPD | DEC P | -.0725 | .2989 | -.4439 | | -.0657 | .0998 | -.2312 |
| 14 | PPN | NOV P | -.0583 | .3137 | -.4302 | | -.0459 | .1015 | -.1933 |
| 15 | PPPO | OCT P | -.1479 | .2181 | -.5139 | | .1841 | .4239 | -.0558 |
| 16 | PPS | SEP P | -.0506 | .3217 | -.4229 | | -.0497 | .1736 | -.2730 |
| 17 | PPPPA | AUG P | -.1507 | .2150 | -.5165 | | -.0195 | .1735 | -.2125 |
| 18 | JPPP | JUL P | .1071 | .4765 | -.2623 | ** | .2454 | .4102 | .0806 |
| 19 | PPPPPPPJ | JUN P | -.2481 | .1050 | -.6012 | ** | -.2712 | -.0761 | -.4664 |
| 20 | PPPPPPPPPM | MAY P ** | -.3503 | -.0174 | -.6833 | ** | -.4199 | -.2266 | -.6132 |
| 21 | PPPPA | APR P | -.1249 | .2432 | -.4929 | | .0025 | .1540 | -.1490 |
| 22 | MPPPP | MAR P | .1404 | .5072 | -.2263 | ** | .2054 | .4085 | .0023 |
| 23 | PF | FEB P | -.0490 | .3234 | -.4213 | | .0382 | .1327 | -.0563 |
| 24 | JPPPPPPPPPPPP | JAN P ** | .4574 | .7613 | .1536 | ** | .2295 | .3859 | .0730 |

** Confidence limits are at the 95 pct level
 ** Significant at the .05 level

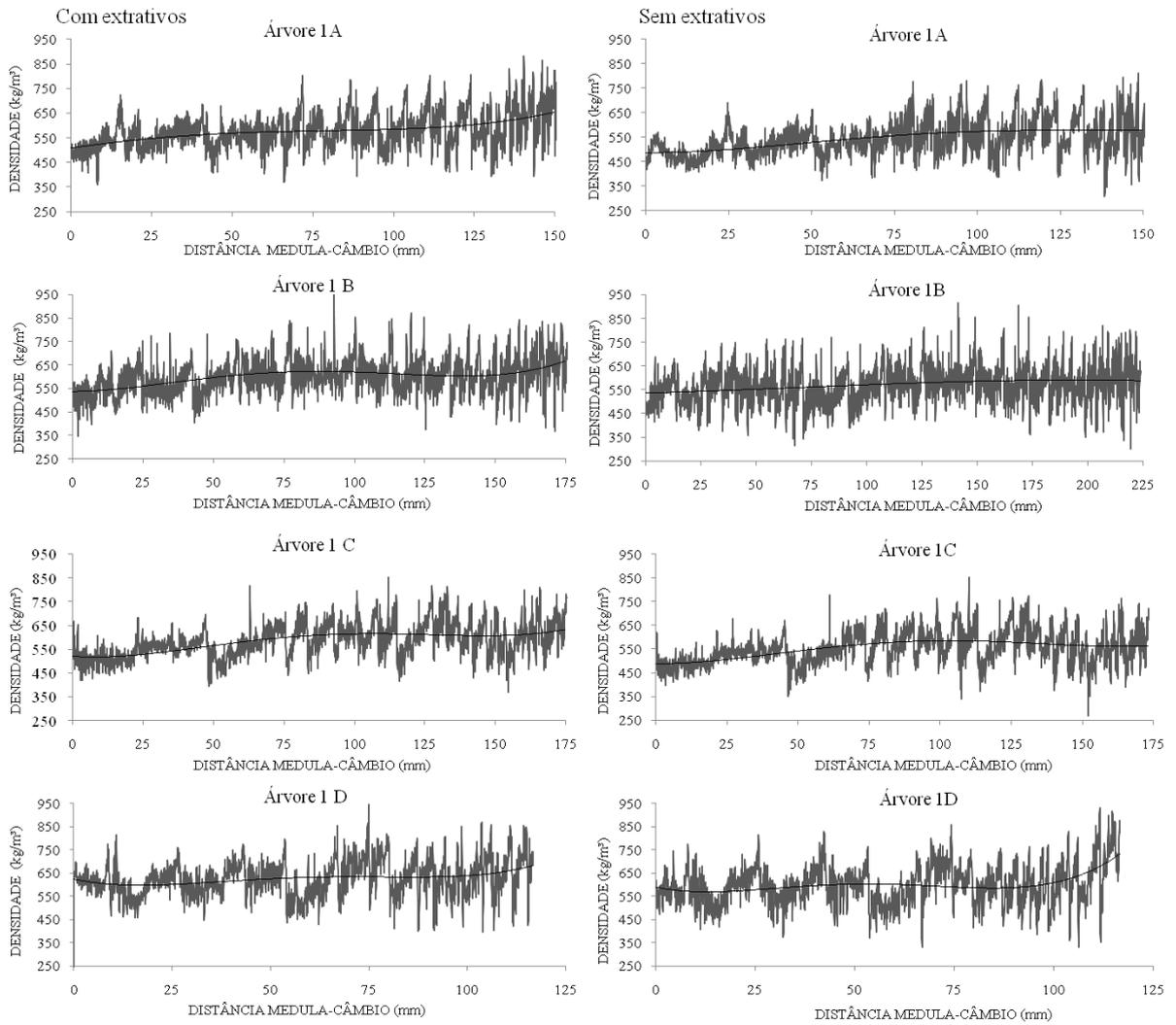
Estimated with climate:

| Year | Normalized Actual Chron | Estimate on Chron | based on climate Residuals |
|----------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|
| 1982 | -1.2615 | -1.2157 | -.0459 |
| 1983 | .4825 | .1818 | .3007 |
| 1984 | .8949 | .4120 | .4829 |
| 1985 | -.1706 | -.0361 | -.1345 |
| 1986 | -.2330 | -.6427 | .4098 |
| 1987 | -.1401 | .2232 | -.3634 |
| 1988 | -.3777 | -.3779 | .0002 |
| 1989 | -.4420 | -.3894 | -.0526 |
| 1990 | -.6073 | -.9401 | .3327 |
| 1991 | -.7801 | -.6342 | -.1459 |
| 1992 | -1.1467 | -.2095 | -.9372 |
| 1993 | -.7856 | -.6942 | -.0914 |
| 1994 | -1.1957 | -1.1831 | -.0125 |
| 1995 | -.4036 | -.1372 | -.2663 |
| 1996 | -.1778 | .3997 | -.5775 |
| 1997 | -.1266 | -.5905 | .4640 |
| 1998 | -.6220 | -1.3049 | .6829 |
| 1999 | -.1766 | -.3835 | -.2069 |
| 2000 | -.1376 | -.4364 | .2988 |
| 2001 | -.6847 | .7583 | -1.4430 |
| 2002 | -.5178 | -.3141 | -.2037 |
| 2003 | -.1638 | -.1248 | -.0390 |
| 2004 | -.1018 | .0861 | -.1879 |
| 2005 | .2375 | .2878 | -.0503 |
| 2006 | 1.8212 | 1.6345 | .1867 |
| 2007 | 1.6426 | 1.2126 | .4300 |
| 2008 | 3.2712 | 2.8689 | .4023 |
| 2009 | 1.5495 | .7824 | .7671 |
| sum of squares | 28.0000 | 21.9827 | 6.0167 |

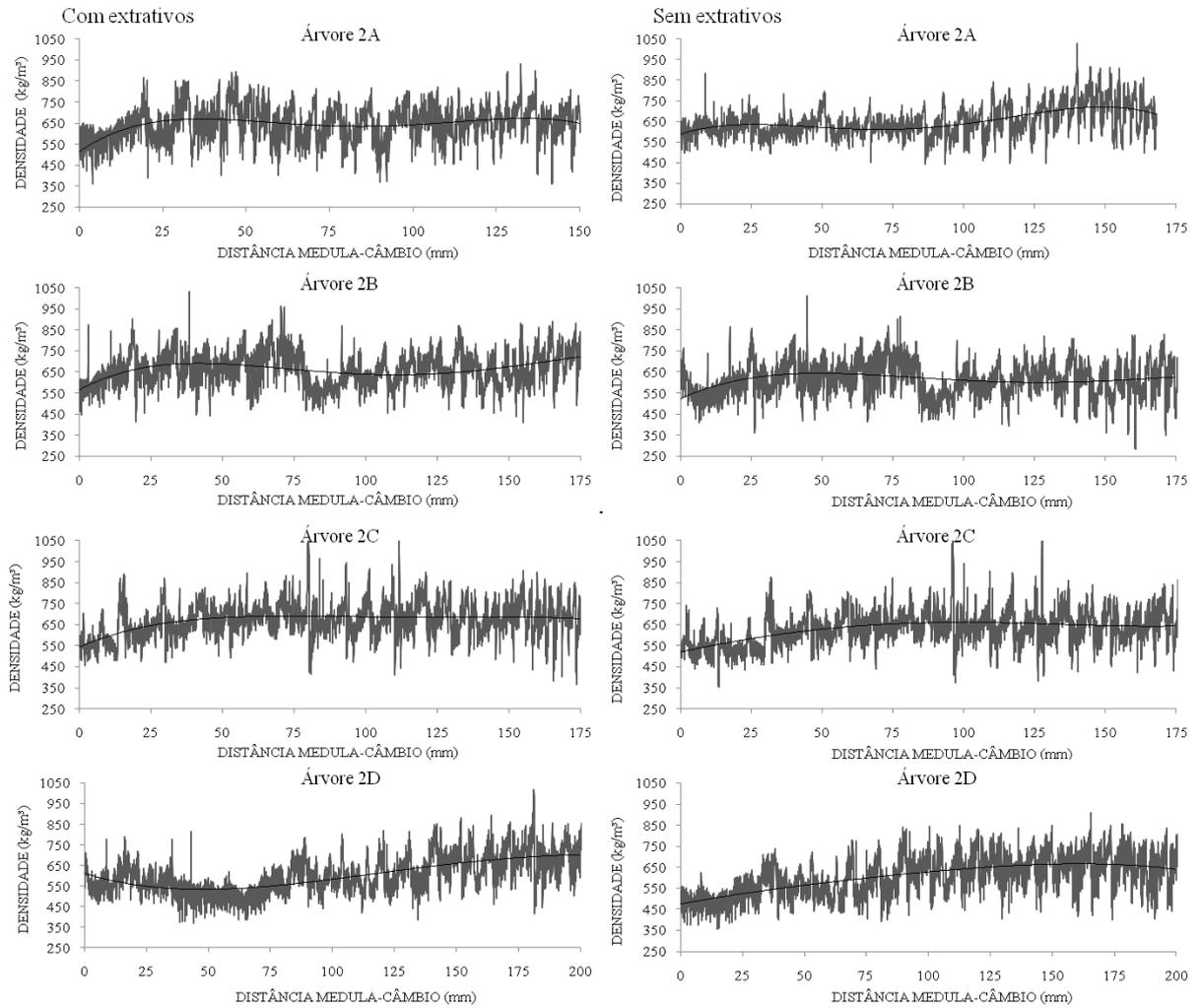
ANEXOS D

Gráficos das árvores de teca com e sem extrativos

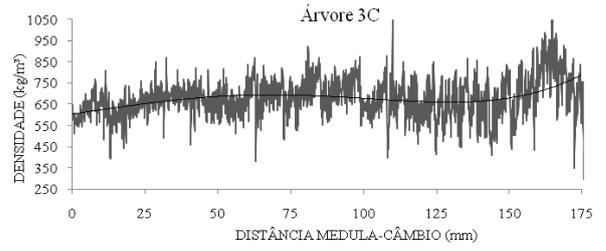
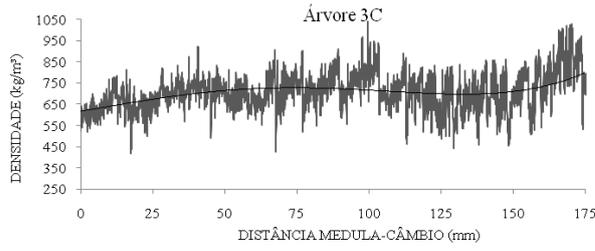
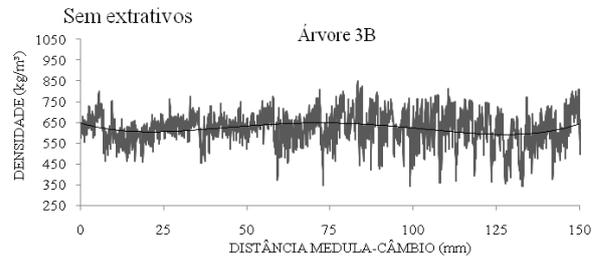
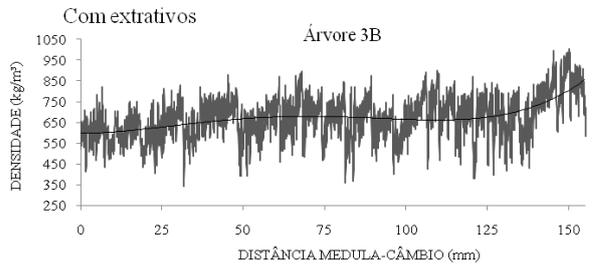
Árvore 1



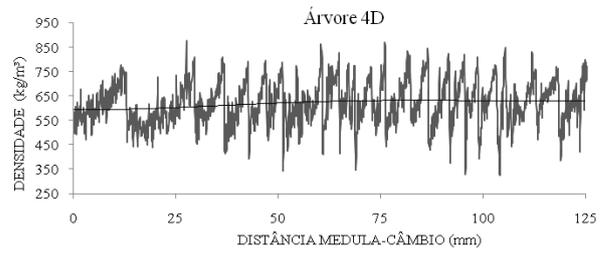
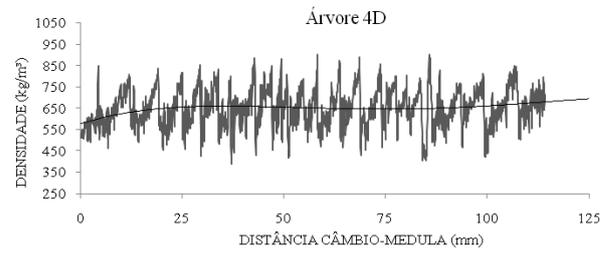
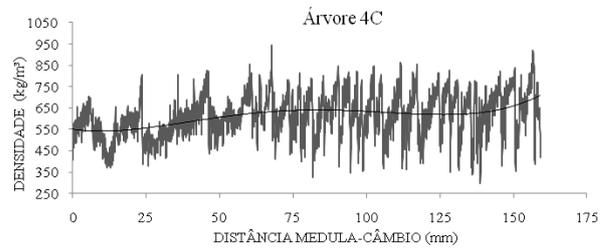
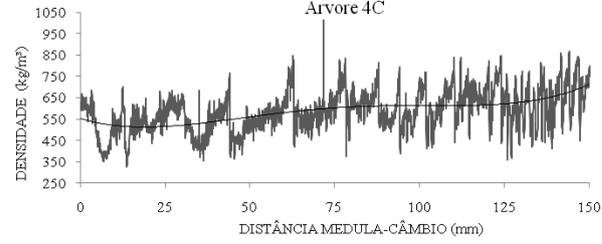
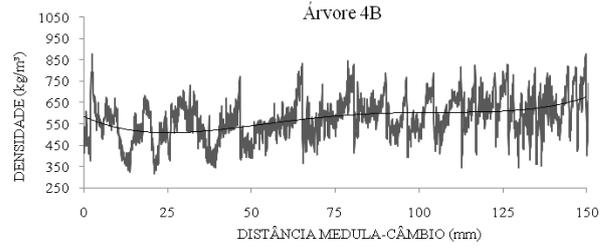
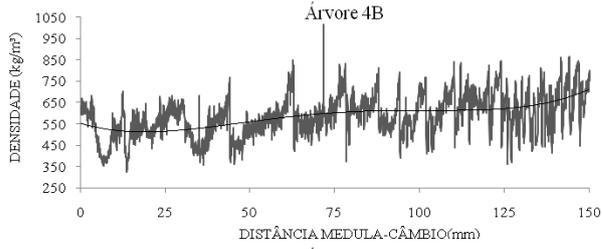
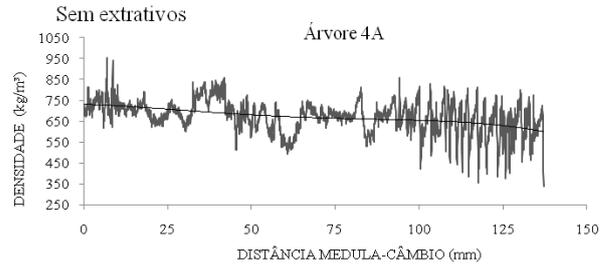
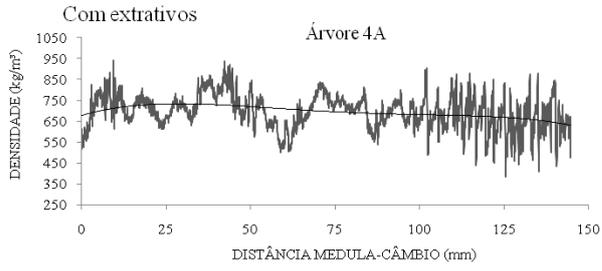
Árvore 2



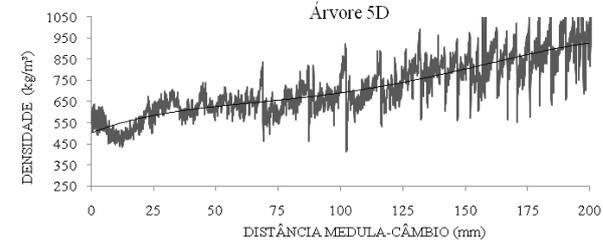
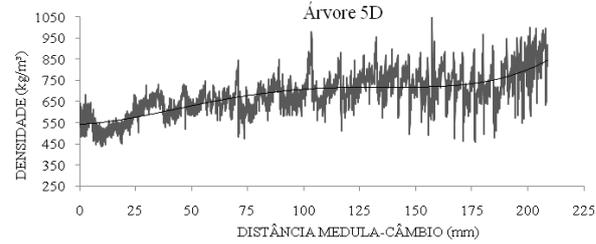
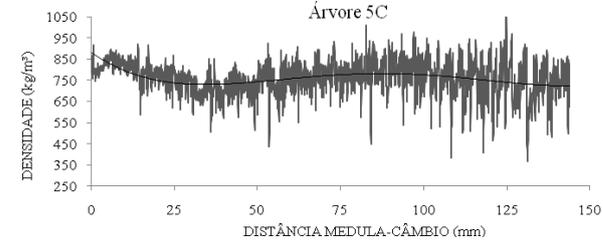
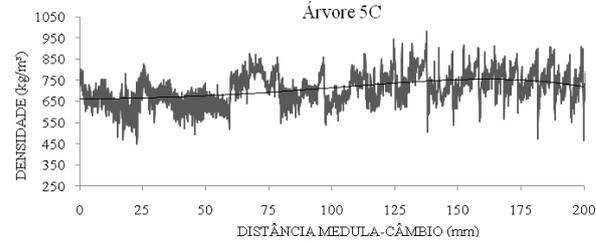
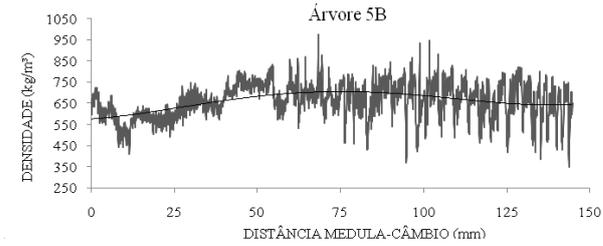
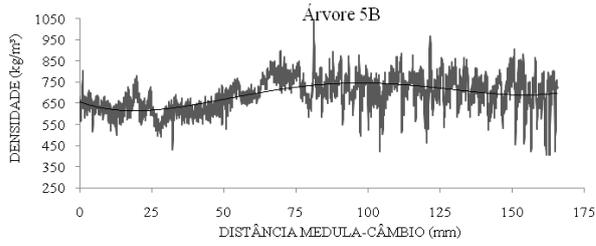
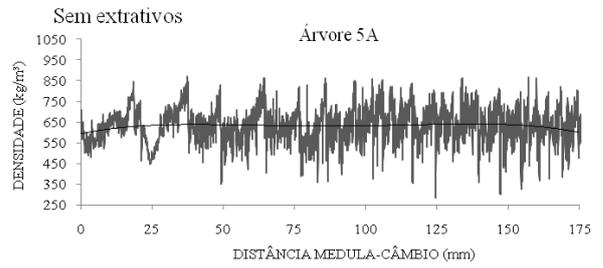
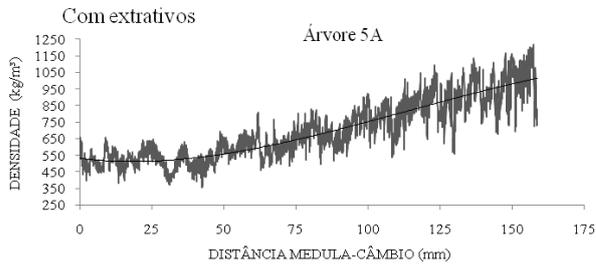
Árvore 3



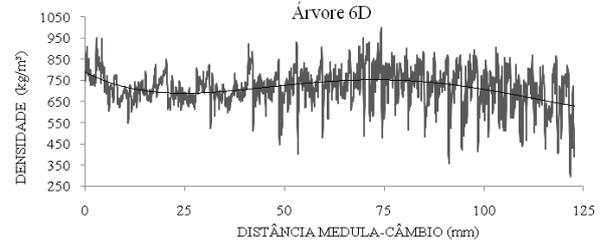
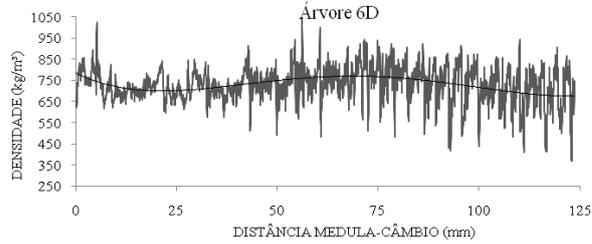
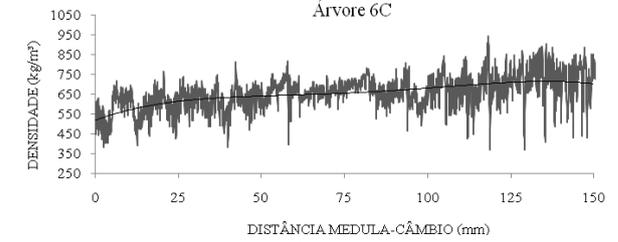
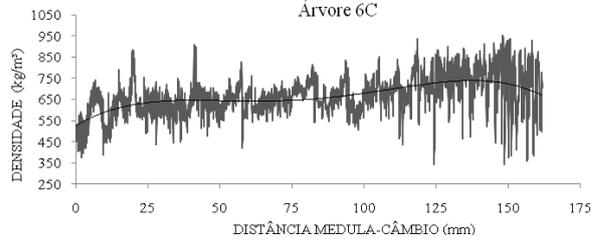
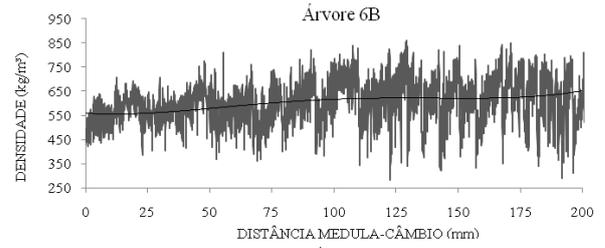
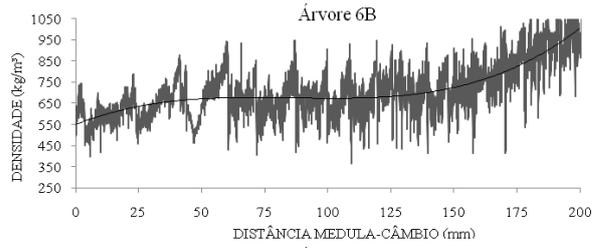
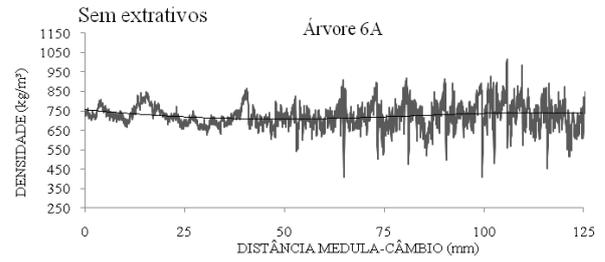
Árvore 4



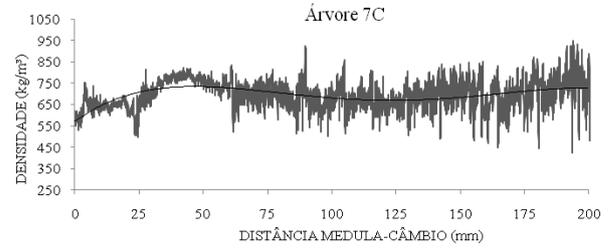
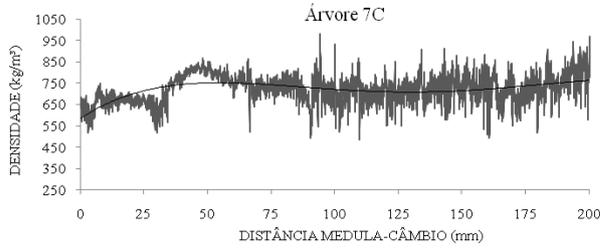
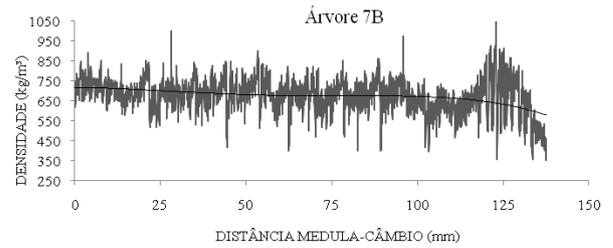
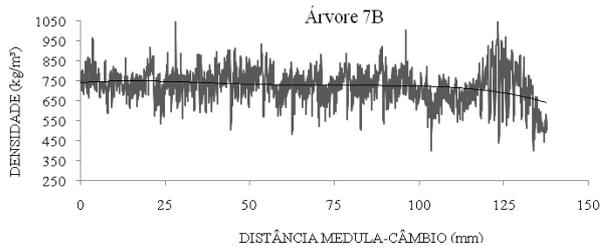
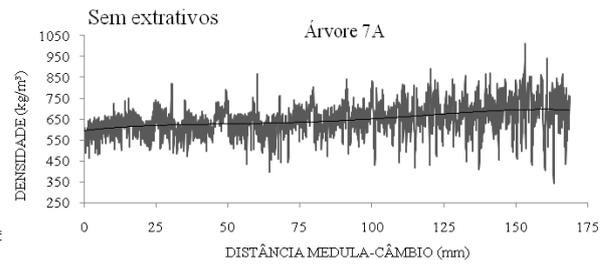
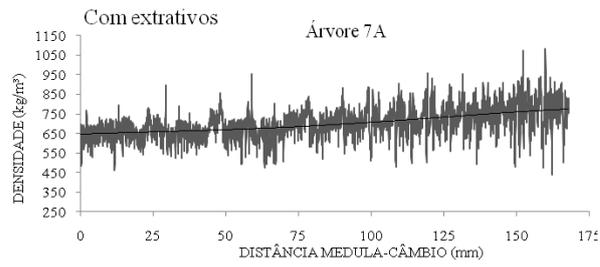
Árvore 5



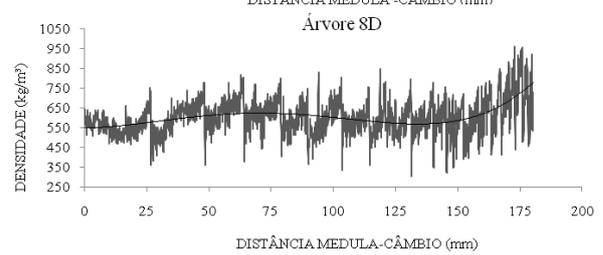
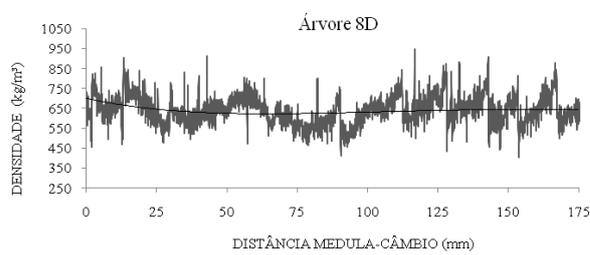
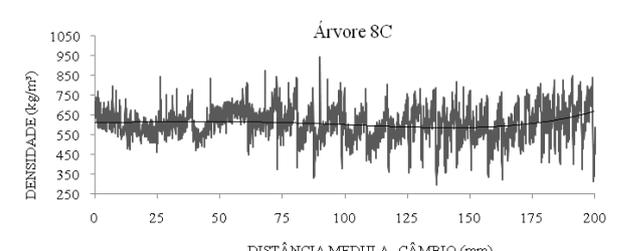
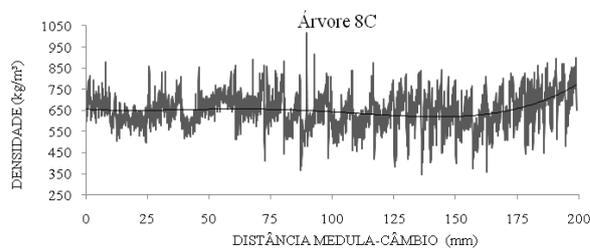
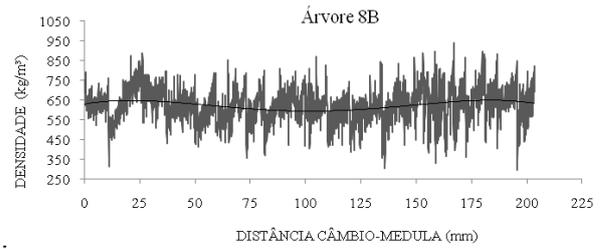
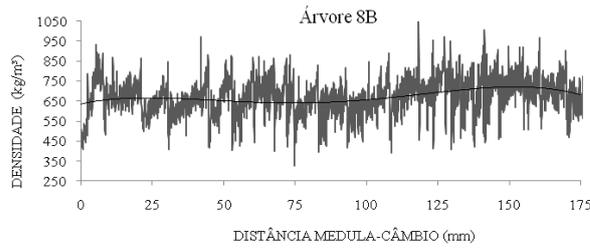
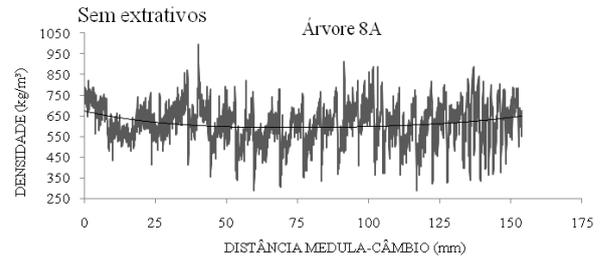
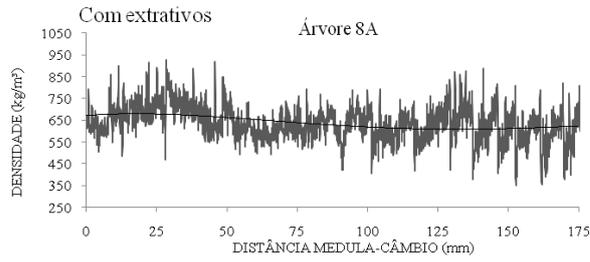
Árvore 6



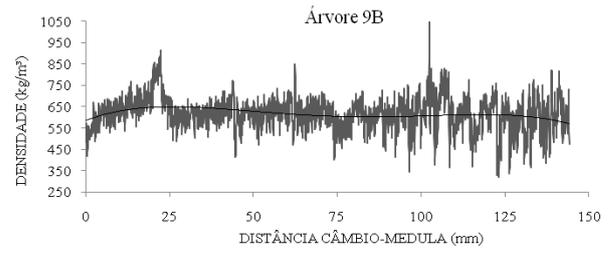
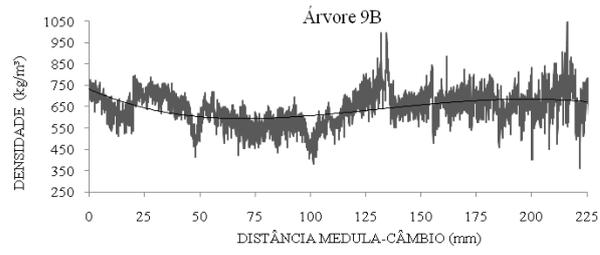
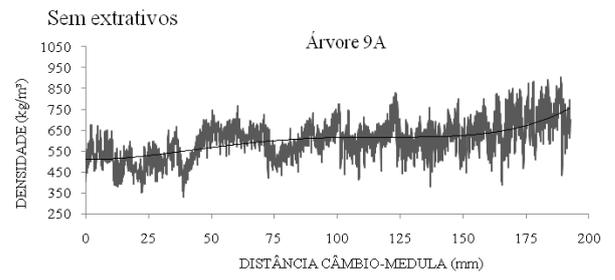
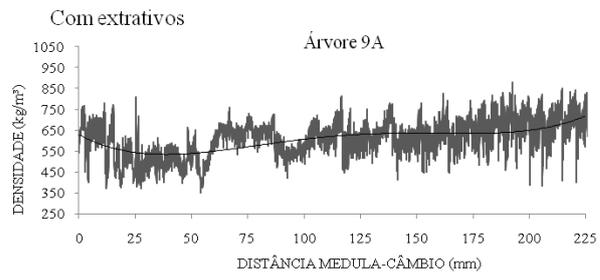
Árvore 7



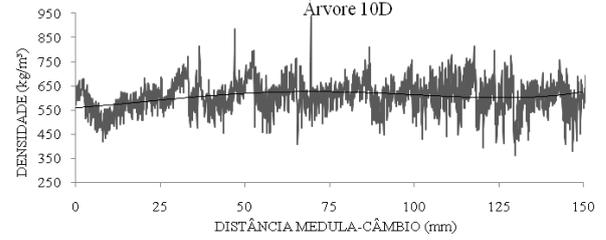
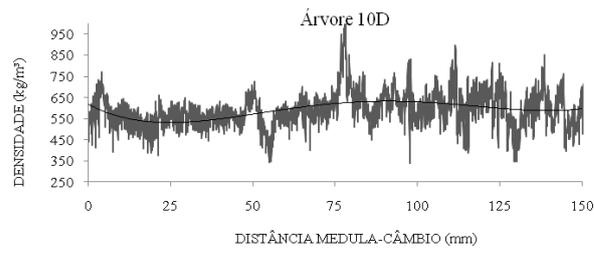
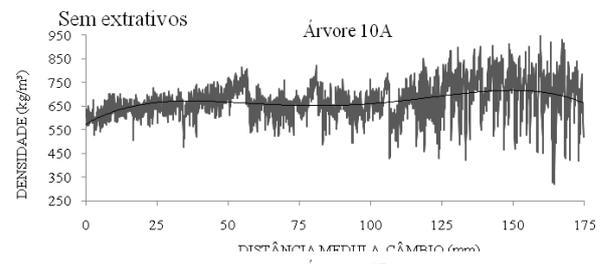
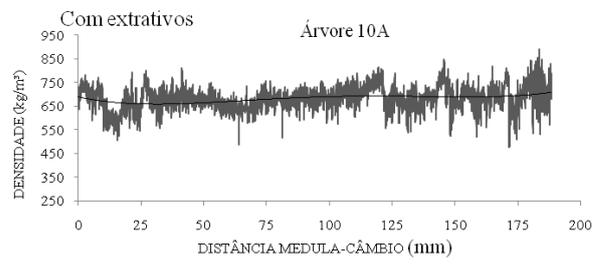
Árvore 8



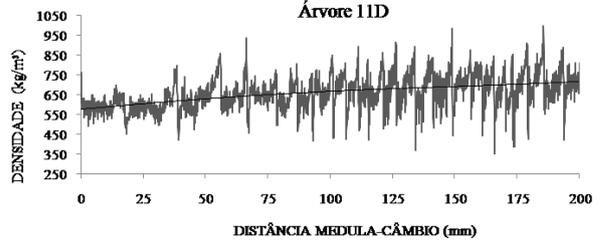
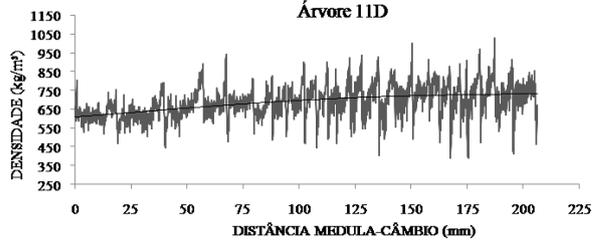
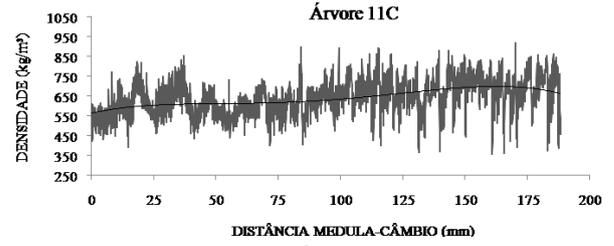
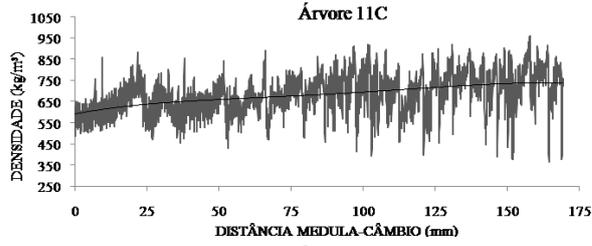
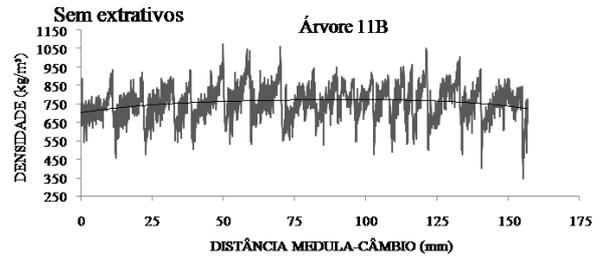
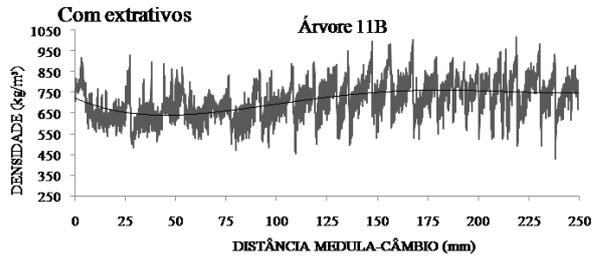
Árvore 9



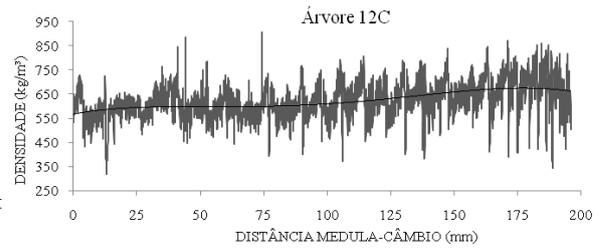
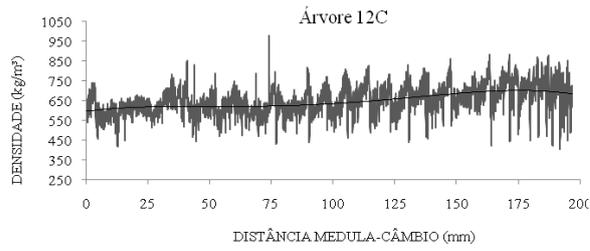
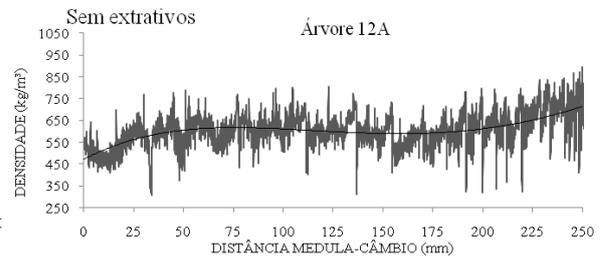
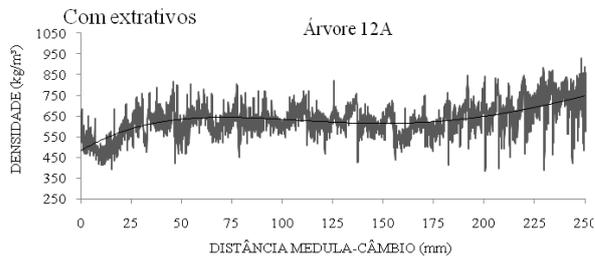
Árvore 10



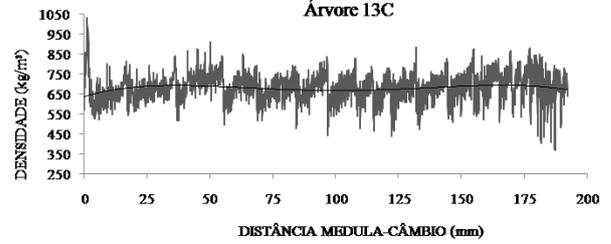
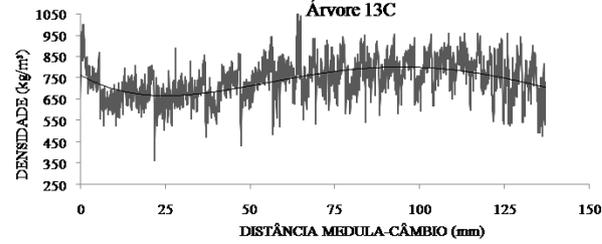
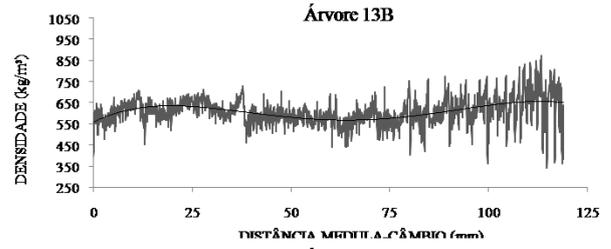
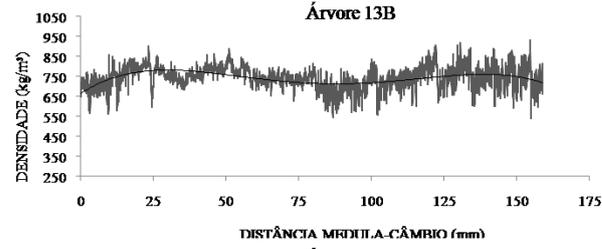
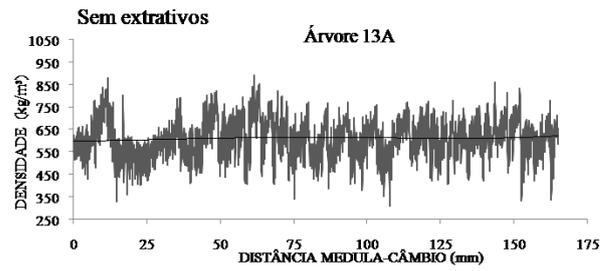
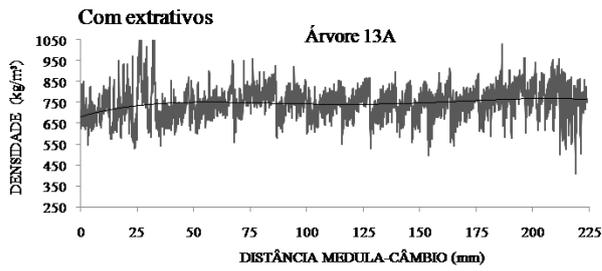
Árvore 11



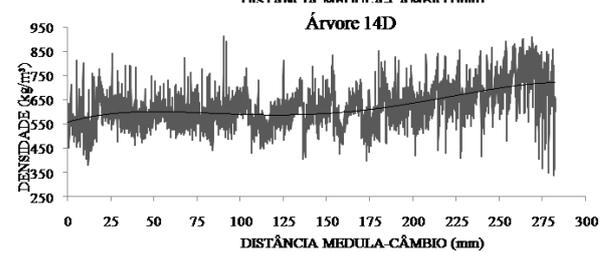
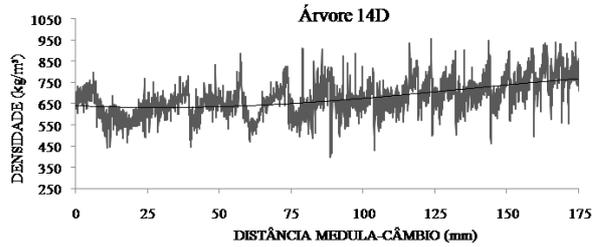
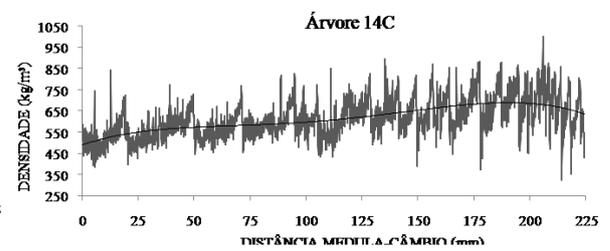
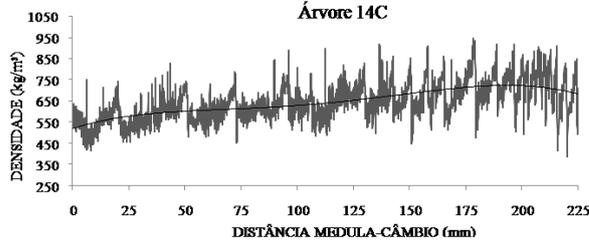
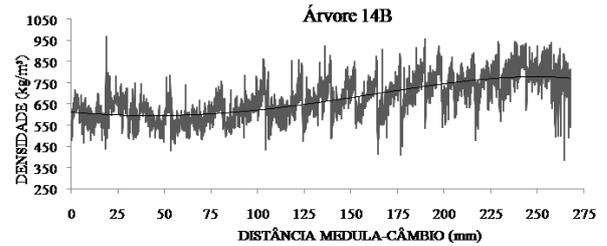
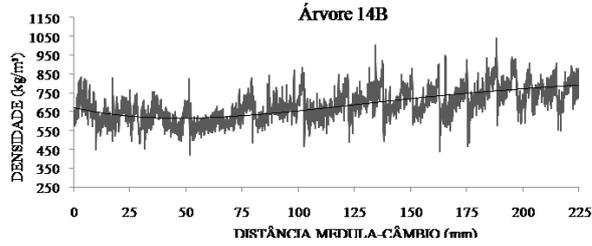
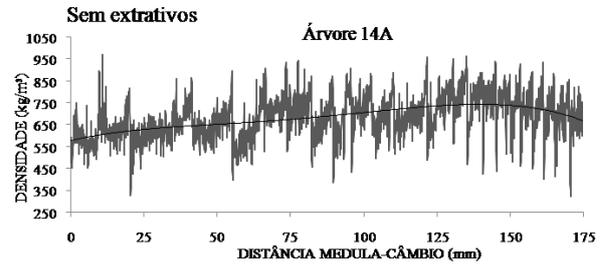
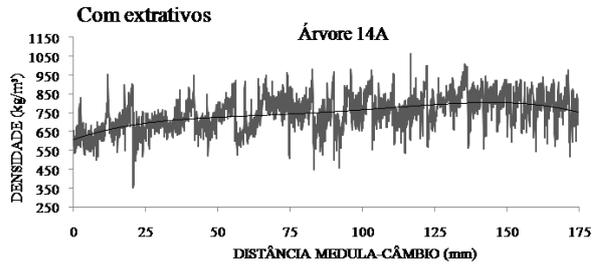
Árvore 12



Árvore 13



Árvore 14



Árvore 15

