UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

ANATOMIA COMPARADA DA MADEIRA DE *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (BORAGINACEAE) PROVENIENTE DE SEMENTES DE DUAS PROCEDÊNCIAS E ANÁLISE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

CAROLINE CAUM

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP
Julho - 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

ANATOMIA COMPARADA DA MADEIRA DE *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (BORAGINACEAE) PROVENIENTE DE SEMENTES DE DUAS PROCEDÊNCIAS E ANÁLISE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

CAROLINE CAUM

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Regina Marcati

Coorientador: Dr. Eduardo Luiz Longui

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP
Julho – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Caum, Caroline, 1987-
C373a Anatomia comparada da madeira de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud (Boraginaceae) proveniente de sementes de duas procedências e análise dos anéis de crescimento / Caroline Caum. - Botucatu : [s.n.], 2013
ix, 89 f. : tabs., ils., grafs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Carmen Regina Marcati
Coorientador: Eduardo Luiz Longui
Inclui bibliografia

1. Árvores - Anéis de crescimento. 2. Madeira - Anatomia. 3. Louro-pardo (Planta). 4. Plantas - Efeitos da precipitação e temperatura. I. Marcati, Carmen Regina. II. Longui, Eduardo Luiz. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **"ANATOMIA COMPARADA DA MADEIRA DE Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. ex Steud. (BORAGINACEAE) PROVENIENTE DE SEMENTES DE DUAS PROCEDÊNCIAS E ANÁLISE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO"**

ALUNA: CAROLINE CAUM

ORIENTADORA: PROFA. DRA. CARMEN REGINA MARCATI
COORIENTADOR: PROF. DR. EDUARDO LUIZ LONGUI

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROFA. DRA. CARMEN REGINA MARCATI

PROF. DR. CLAUDIO SERGIO LISI

PROF. DR. TATIANE MARIA RODRIGUES

Data da Realização: 29 de julho de 2013.

Dedico este trabalho aos meus pais, **Teresinha** e **José Mário,**

pela vida, por todo amor, pela educação, pelos ensinamentos, pelo

carinho, apoio e por jamais medirem esforços para eu chegar até aqui.

Vocês são meu porto-seguro!!! E a minha irmã **Catarine**,

por todo amor, conversas, abraços, risos, choros e por sempre me defender.

Ofereço ao meu marido **Lucas** por todo incentivo, carinho, amor, compreensão, força,

paciência e por sempre estar ao meu lado em todos os momentos.

AMO VOCÊS!!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pela vida maravilhosa que me concede e por estar sempre a minha frente em todos os momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida.

À professora Dra. Carmen Regina Marcati, minha querida orientadora, por toda a orientação, ensinamentos, pela paciência comigo, pelas conversas, pelo apoio e por sempre acreditar em mim mesmo eu não acreditando. Convivendo com a senhora por esses seis anos aprendi a ter responsabilidade, ética e amor pela pesquisa. Agora vou voar, mas em minhas asas vou levar tudo o que me ensinou. Te admiro muito. OBRIGADA por tudo!

Ao Pesquisador do Instituto Florestal Dr. Eduardo Luiz Longui, meu coorientador, por todo apoio e pelo material de estudo cedido.

À todos os professores da FCA/UNESP – Botucatu/SP, em especial aos da Eng. Florestal, por ajudarem de alguma maneira na minha formação.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da FCA/UNESP – Botucatu/SP, em especial à Taynan, por sempre esclarecer minhas inúmeras dúvidas.

Ao Pesquisador Argentino Dr. Fidel A. Roig uma das peças principais deste trabalho, pois sem suas explicações jamais chegaria aonde cheguei. Obrigada pela paciência, por toda ajuda, pelos ensinamentos e pelas conversas.

Ao Prof. Dr. Mário Tomazello Filho da Esalq/USP de Piracicaba/SP por ter me recebido tão bem em seu laboratório e por ter me dado a oportunidade de cursar uma disciplina fundamental para a minha formação.

Ao Prof. Dr. Hernando Alfonso Lara Palma por ter me recebido de braços abertos quando precisei utilizar o seu laboratório.

Às Professoras Dra. Silvia Rodrigues Machado e Dra. Tatiane Maria Rodrigues do Instituto de Biociências, UNESP – Botucatu/SP pela confiança em abrir as portas do laboratório na parte final do meu trabalho.

Aos amigos de pós-graduação do Laboratório de Anatomia da Madeira da FCA/UNESP – Botucatu/SP Larissa Chacon Dória (minha ‘roommate’ – obrigada por tudo!), Natália Totti, Fábio Bósio, Paula Vergílio e Marcela Blagitz pelas inúmeras conversas, amizade, risadas, ajudas, disponibilidade e por sempre me incentivar no trabalho, afinal meus anéis nunca cresciam. Vou sentir muita falta de vocês!

Aos antigos alunos e colegas do Laboratório de Anatomia da Madeira da FCA/UNESP – Botucatu/SP, em especial à Talita dos Santos Angélico (Tixa) e Júlia Sonsin por terem me recebido tão bem quando entrei ainda no segundo ano da graduação, pela paciência em me ensinar e por todas as horas de conversas que tivemos. Sinto saudades!

À minha amiga e técnica do Laboratório de Anatomia da Madeira da FCA/UNESP – Botucatu/SP Liliane Catarina Pereira por sua amizade, por me ensinar tudo no laboratório (inclusive a usar o apontador que me encantou na primeira visita), pelas conversas, por sempre me ajudar em tudo e por ser essa pessoa tão especial.

À Engenheira Florestal Rafaela Prosdocini Parmeggiani pela imensa ajuda em toda parte anatômica deste estudo.

Ao Engenheiro Florestal Danilo Scorzoni Ré pela ajuda na parte estatística do trabalho.

Aos colegas do laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em Madeira da Esalq/USP de Piracicaba/SP, na pessoa de Matheus Chagas por toda ajuda e paciência em me ensinar a desvendar os programas de dendrocronologia.

Aos colegas da Disciplina de Dendrocronologia da Esalq/USP – Piracicaba/SP maio de 2012, em especial à Tahysa Macedo do Rio de Janeiro/RJ minha dupla, pelas conversas e risadas. Com certeza a disciplina foi bem melhor ao seu lado, foi muito bom te reencontrar. Saudades!

À todos os amigos que Botucatu/SP me trouxe, em especial à Maria Letícia Santarosa por ser minha amiga, moramos juntas durante 4 anos, por toda ajuda, pelo carinho, por ser super prestativa; e a Fabiana Denipote (Mais Uma) pelas inúmeras conversas, ajuda e risadas nesta fase conturbante.

Aos amigos da 19° turma de Engenharia Florestal da FCA/UNESP – Botucatu/SP que serão eternamente especiais em minha vida.

Às todas as amigas do Ballet da Academia Sueli pelas conversas, risadas e por todo apoio. O Ballet foi uma das minhas forças de inspiração nesta caminhada, aprendi muito com a dança, principalmente concentração.

À toda minha família, Vó Nair, por todo carinho e aos avós que estão em outro mundo (Vô Zé, Vô Cesarim e Vó Mercedes - que saudades!), tios, tias, primos, primas e em especial à César Henrique Fernandes Filho, o meu eterno bebê, desde que nasceu ele é uma alegria e mesmo ele nunca imaginando, o seu sorriso, suas palavras enroladas e seus abraços me forneceram tanta energia nesta caminhada.

Aos meus pais, Teresinha e José Mário, pela vida, por todo amor, paciência, carinho, ajuda, educação. Obrigada por nunca medirem esforços para eu estudar, para dar o melhor para as filhas, por sempre pensarem em suas filhas em primeiro lugar e por sempre apoiar minhas decisões. Nunca vou me esquecer o dia que me trouxeram à Botucatu pela primeira vez, foi difícil, mas conseguimos. Muito obrigada por TUDO, vocês são meu porto-seguro. AMO VOCÊS!

À minha irmã Catarine, por tudo - ”Que amor é esse tão grande assim, amor de anjos que existe em mim, se você sai, basta estar longe, tudo é deserto, é triste sim. Que amor é esse que a gente sente, não tem maior não, é diferente. Dias e noites mesma paixão, só sei te amar sempre, sou sua irmã. Dentro da alma eu sinto o mesmo, nem mais nem menos AMO você, a gente briga, mas sou sua fã, sem ressentimento sou sua irmã... Dias e noite, mesma paixão... Que amor é esse tão incrível, que a natureza faz tão simples. Se você sai, basta estar longe, que dói demais. Dias e noites, é bom viver, somos irmãs, assim será sempre, EU e VOCÊ!”

Ao meu amado marido Lucas Perim por todo amor, paciência, ajuda, carinho, conversas, risadas, choros e por me amparar e apoiar em todos os momentos. Os melhores anos da minha vida foram ao seu lado você, e com certeza será para o resto de nossas vidas. Você é um anjo na minha vida, nossos olhos ao se encontrarem sabem o que queremos. Obrigada por existir, obrigada por me amar, obrigada por tudo. TE AMO!

À minha outra família, minha sogra Rosângela e meu sogro Roberto, aos meus cunhados Natália, Felipe, Priscila e a pequena Maria Luiza, por me receberem de braços abertos durante o tempo que ‘morei’ em Piracicaba com eles para cursar uma disciplina, por todo apoio e carinho sempre.

A todos que, direta ou indiretamente, mesmo que não citados, mas que me ajudaram e apoiaram nesta caminhada, meus sinceros agradecimentos.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS..... VII
LISTA DE FIGURAS..... VIII
RESUMO..... 01
SUMMARY..... 03
INTRODUÇÃO GERAL..... 05
REVISÃO BIBLIOGRÁGICA..... 09
1. Anatomia comparada da madeira..... 09
2. Anéis de crescimento..... 11
3. Dendrocronologia e dendroclimatologia..... 14
DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE..... 18
OBJETIVOS..... 20
MATERIAL E MÉTODO..... 21
1. Área de coleta do material do estudo..... 21
2. Locais da procedência do material do estudo..... 22
2.1 Bauru..... 22
2.2 Piracicaba..... 23
3. Material do estudo..... 24
4. Estudo anatômico do lenho..... 27
5. Estudo dos anéis de crescimento..... 28
5.1 Terminologia utilizada para anéis de crescimento..... 32
CAPÍTULO I - Anatomia da madeira de árvores *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (Boraginaceae) provenientes de sementes de duas procedências..... 35
Resumo..... 35
Summary..... 37
Introdução..... 38
Material e Métodos..... 39
Resultados..... 43
Discussão..... 46
Agradecimentos..... 53
Referências bibliográficas..... 53

CAPÍTULO II - Análise dos anéis de crescimento do lenho de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (Boraginaceae) e correlação com temperatura e precipitação..... 58
Resumo..... 58
Summary..... 60
Introdução..... 61
Material e Métodos..... 62
Resultados e Discussão..... 64
Agradecimentos..... 74
Referências bibliográficas..... 74
CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura das seis árvores *Cordia trichotoma* de cada procedência..... 25
Tabela 2. Características físico-químicas do solo da área de estudo..... 40
Tabela 3A. Características anatômicas quantitativas do lenho das procedências de Bauru e Piracicaba..... 44
Tabela 3B. Tabela 3B - Média de vasos por grupo de cada procedência Bauru (B) e Piracicaba (P) e a média final (M)..... 45
Tabela 3C. Média da área do parênquima axial por mm^2 de cada Procedência Bauru (B) e Piracicaba (P) e a média final (M)..... 45
Tabela 4. Análise estatística (Teste F) para o lenho das duas procedências de *Cordia trichotoma*..... 45
Tabela 5. Dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura das seis árvores *Cordia trichotoma* de cada procedência..... 63
Tabela 6. Características físico-químicas do solo da área de estudo..... 63
Tabela 7. Resultados da sincronização no software COFECHA entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento das duas procedências de *Cordia trichotoma*..... 67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama climático geral da cidade de Luiz Antônio..... 22
Figura 2. Diagrama climático geral da cidade de Bauru..... 23
Figura 3. Diagrama climático geral da cidade de Piracicaba..... 24
Figura 4. Localização das áreas de coleta das sementes e local de coleta das árvores..... 25
Figura 5. Vista geral da área do plantio na Estação Experimental de Luiz Antônio,SP..... 26
Figura 6. Aspecto da casca de *Cordia* trichotoma..... 26
Figura 7. Aspecto geral da copa da árvore de *Cordia trichotoma*..... 26
Figura 8. Disco do caule de *C. trichotoma* com a demarcação dos limites dos anéis de crescimento..... 29
Figura 9. Imagem de parte de um disco mostrando a secção transversal do lenho de *Cordia trichotoma* com os limites dos anéis de crescimento demarcados a lápis a partir da medula, pronto para a mensuração no software Image Pro Plus..... 30
Figura 10. A janela sobre a imagem mostra parte das medições de um dos raios do disco com auxílio do programa Image Pro-Plus..... 30
Figura 11. Tela inicial do Programa COFECHA..... 32
Figura 12. Tela inicial do Programa ARSTAN..... 32
Figura 13. Diagrama climático geral da cidade de Luiz Antônio..... 41
Figura 14. Diagrama climático geral da cidade de Bauru..... 41
Figura 15. Diagrama climático geral da cidade de Piracicaba..... 42
Figura 16A. Secção transversal da procedência de Piracicaba indicando o limite do anel de crescimento em linhas marginais de parênquima com vasos pequenos no fim e vasos grandes no início do anel e a formação de cachos 'clusters'..... 50
Figura 16B. Secção transversal da procedência de Bauru indicando o limite do anel de crescimento em linhas marginais de parênquima, parênquima paratraqueal aliforme losangular e confluente curto e longo, e difuso 50
Figura 16C. Secção longitudinal tangencial da procedência de Bauru mostrando a presença de um vaso geniculado..... 50
Figura 16D. Secção longitudinal radial da procedência de Bauru mostrando placa

de perfuração simples..... 50
Figura 16E. Secção longitudinal tangencial da procedência de Bauru mostrando pontoações intervasculares areoladas alternas..... 50
Figura 16F. Secção longitudinal tangencial da procedência de Piracicaba mostrandoos raios multisseriados e a célula envolvente do raio..... 52
Figura 16G. Secção longitudinal tangencial da procedência de Bauru mostrando os raios multisseriados..... 52
Figura 16H. Secção longitudinal radial da procedência de Piracicaba mostrando raio composto por células eretas, quadradas e procumbentes..... 52
Figura 16I. Secção longitudinal radial da procedência de Piracicaba mostrando raio composto por células eretas e/ou quadradas nas margens e células procumbentes no corpo..... 52
Figura 16J. Secção longitudinal radial da procedência de Bauru com a presença de cristais prismáticos..... 52
Figura 16K. Elemento de vaso com apêndices em uma das extremidades..... 52
Figura 17. Diagrama climático geral da cidade de Luiz Antônio..... 62
Figura 18. Secção transversal de *C. trichotoma* indicando o limite do anel de crescimento..... 65
Figura 19. Sincronização dos raios..... 66
Figura 20. Série máster formada pelo programa COFECHA..... 67
Figura 21A. Cronologia padrão de largura do anel de crescimento de *Cordia trichotoma* gerada pelo software ARSTAN..... 69
Figura 21B. Número de amostras (raios) utilizados na formação da cronologia por período..... 69
Figura 22. Correlação da temperatura média mensal com a série dos índices de largura dos anéis de crescimento dos indivíduos de *Cordia trichotoma*..... 71
Figura 23. Fotoperíodo..... 71
Figura 24. Correlação da precipitação mensal acumulada com a série dos índices de largura dos anéis de crescimento dos indivíduos de *Cordia trichotoma*..... 73
Figura 25. Precipitação média acumulada..... 73

ANATOMIA COMPARADA DA MADEIRA DE *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (BORAGINACEAE) PROVENIENTE DE SEMENTES DE DUAS PROCEDÊNCIAS E ANÁLISE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO. Botucatu, 2013. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autora: CAROLINE CAUM
Orientadora: DRA. CARMEN REGINA MARCATI
Coorientador: DR. EDUARDO LUIZ LONGUI

RESUMO

As características estruturais do lenho são influenciadas diretamente pelos fatores ambientais e genéticos. Algumas características possuem alta herdabilidade genética, baixa plasticidade fenotípica e independem das condições ambientais em que estão inseridas. Neste trabalho comparamos a anatomia da madeira de árvores adultas de *Cordia trichotoma* que foram plantadas em mesmo local com sementes de duas procedências (Bauru e Piracicaba) e dados de largura dos anéis de crescimento foram correlacionados com a precipitação e a temperatura. Foram coletados discos de doze árvores desta espécie, na Estação Experimental de Luiz Antônio, SP sendo seis de cada procedência (Bauru e Piracicaba). Para a análise microscópica do lenho foram realizados cortes histológicos nos três planos convencionais (transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial), e lâminas permanentes foram confeccionadas segundo técnicas usuais em anatomia da madeira. O material lenhoso foi dissociado e foram preparadas lâminas semipermanentes. Foram analisadas as características anatômicas qualitativas e quantitativas do lenho. Para análise dos anéis de crescimento, os doze discos de madeira tiveram suas secções transversais polidas manualmente em uma série de lixas e os anéis de crescimento foram demarcados com o auxílio de um estereomicroscópio. A medição da largura dos anéis de crescimento foi feita com auxílio do software de análises de imagem Image-Pro-Plus. Para verificação da qualidade e correção dos dados realizou-se a datação cruzada das mensurações com o auxílio do software livre COFECHA; a largura dos anéis foi transformada em séries permitindo a sincronização e melhor interpretação dos dados. Após a sincronização, os dados foram analisados com uso do software livre ARSTAN, para

eliminação das tendências de crescimento e obtenção da cronologia residual. As análises com precipitação e temperatura foram realizadas por meio da correlação de Pearson através do Microsoft Office Excel. Qualitativamente, a anatomia do lenho foi similar entre as duas procedências, sendo apenas a presença de vasos geniculados na procedência de Bauru o que diferenciou da de Piracicaba. Quantitativamente, houve diferença significativa para diâmetro de vasos, diâmetro de fibras, diâmetro do lume das fibras e quantidade de parênquima por mm^2, sendo as médias maiores para a procedência de Piracicaba, e número de vasos por grupo que foi significativamente maior em Bauru. A presença de vasos geniculados, menor diâmetro de vasos e maior número de vasos por grupo na procedência de Bauru sugerem maior segurança hídrica no lenho dessas árvores e, possivelmente, as informações genéticas do local de origem da semente estejam relacionadas a estas variações. De uma forma geral, com relação à análise dos anéis de crescimento, houve correlação significativa e positiva entre a largura dos anéis de crescimento e a variável temperatura nos meses de agosto a outubro (inverno e início da primavera), época em que a temperatura se encontra mais amena e uma correlação significativa e negativa entre a largura dos anéis de crescimento e a variável precipitação no mês de abril, mês que os níveis de chuva diminuem bruscamente.

Palavras-chave: anatomia comparada, anéis de crescimento, louro-pardo, precipitação, temperatura.

COMPARATIVE WOOD ANATOMY OF *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (BORAGINACEAE) FROM SEEDS OF TWO PROVENANCES AND ANALYSIS OF GROWTH RINGS. Botucatu, 2013. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CAROLINE CAUM
Adviser: DRA. CARMEN REGINA MARCATI
Co-Adviser: DR. EDUARDO LUIZ LONGUI

SUMMARY

Wood characteristics are directly influenced by environmental and genetic factors. However, some genetic features have high heritability, low phenotypic plasticity and are independent of the environmental conditions in which they operate. This study aimed to compare the wood anatomy of *Cordia trichotoma* that were planted in the same place, but with seeds of two provenances (Bauru e Piracicaba), and to correlate growth rings width with precipitation and temperature. Twelve discs were collected of this species in the Experimental Station of Luiz Antônio, SP, and six from each provenance (Bauru and Piracicaba). For microscopic analysis of the stem histological sections were made in the conventional three planes (cross, tangential longitudinal and radial longitudinal) were obtained and permanent histological slides were made according to standard techniques in wood anatomy. Woody fragments were dissociated and with it slides were made. We analyzed the qualitative and quantitative anatomical wood features. For analysis of growth rings, the twelve disks had their cross sections polished manually on a series of sandpaper and the growth rings were marked with the stereomicroscope. The measurement of the growth rings width was achieved using the image analysis software Image-Pro Plus. To check the quality and accuracy of the data held on the cross-dating measurements with the help of free software COFECHA and, the rings width was transformed into series allowing synchronization and better interpretation of the data. After synchronization, the data were analyzed with the use of free software ARSTAN for disposal of the growing trends and getting the residual chronology. Precipitation and temperature analyses were performed using Pearson's correlation in Microsoft Office Excel. Qualitatively, the wood anatomy was similar between the two provenances, and the only difference between then was the presence of geniculate vessel in Bauru. Quantitatively, there was significant difference in

vessel diameter, fiber diameter, lumen diameter of fibers and parenchyma per mm^2, and the averages were higher for provenance Piracicaba. The number of vessels per group was significantly higher in Bauru. The presence of geniculate vessels, smaller vessels diameter and larger number of vessels per group in the provenance of Bauru suggest greater water security in the wood of these trees, or possibly genetic information of the place of origin of the seed are related to these variations. Growth rings analysis, there was a significant positive correlation between the growth rings widths and the variable temperature in the months from August to October (winter and early spring), at which time the temperature is milder and a negative and significant correlation between the growth rings widths and variable rainfall in April, the month the levels of rainfall decreases sharply.

Key words: comparative wood anatomy; growth rings; louro-pardo; rainfall; temperature

INTRODUÇÃO GERAL

A anatomia da madeira constitui-se no estudo dos diversos tipos de células que compõem o lenho, bem como suas funções e organizações (BURGER e RICHTER, 1991). Sabe-se que os padrões anatômicos da madeira são resultado da combinação genética, do hábito da planta e de fatores como: precipitação, temperatura, fotoperíodo, condições do solo, altitude, latitude (KLAASSEN, 1999).

A influência dos fatores ambientais na diversidade anatômica da madeira há muito já foi apontada e se encaixa dentro da linha de pesquisa de anatomia ecológica (DICKISON, 2000). Os estudos anatômicos da madeira têm importância na anatomia ecológica, para a compreensão das adaptações das plantas ao ambiente em que ocorrem (PINHO *et al.*, 1992; NISGOSKI *et al.*, 1998; ALVES e ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000).

Variações ambientais e genéticas refletem na estrutura do lenho, principalmente quanto às dimensões e frequência dos elementos celulares, tais como: diâmetro e frequência dos vasos, comprimento dos elementos de vaso; espessura da parede, diâmetro e comprimento de fibras; e altura, largura e frequência dos raios (BAAS *et al*., 1983; CARLQUIST e HOEKMAN, 1985; BAAS e SCHWEINGRUBER, 1987; KLAASSEN, 1999; DICKISON, 2000; MARCATI *et al.*, 2001; LUCHI, 2004; DENARDI e MARCHIORI, 2005; BARROS *et al.*, 2006; MARCATI *et al.*, 2006). Estudos que

comparam a anatomia da madeira de árvores de um mesmo local, mas oriundas de sementes de procedências distintas, têm demonstrado que algumas das características anatômicas são conservadas geneticamente pelas procedências, e outras são modificadas pelo ambiente (LIMA *et al.*, 2011a, b; LONGUI *et al.*, 2011).

Segundo Dickison (2000), o que mais se reconhece da influência das variações climáticas na estrutura da madeira, principalmente nas regiões temperadas, é o efeito encontrado nos anéis de crescimento. Os anéis variam em largura devido às variações ambientais ano a ano (DICKISON, 2000) e estão relacionados à periodicidade da atividade do câmbio vascular. A atividade cambial é sazonal, e essa sazonalidade está associada principalmente ao fotoperíodo e temperatura nas regiões temperadas, produzindo incrementos de crescimento ou anéis de crescimento (EVERT, 2006).

Cada vez que o câmbio retoma sua atividade antes interrompida, deixa um sinal representado pela diferença entre as células formadas antes da dormência e as que se desenvolvem após a reativação (COSTA *et al.*, 2006). Se esse conjunto de células formadas antes da dormência e após a reativação representar uma estação de crescimento (lenho inicial e lenho tardio) ele é chamado de anel anual de crescimento (COSTA *et al.*, 2006; EVERT, 2006). Nas regiões tropicais, períodos prolongados de seca ou chuva podem contribuir para a interrupção temporária da atividade cambial (COSTA *et al.*, 2006).

De acordo com Zobel e Talbert (1984), árvores que já atingiram sua maturidade possuem os anéis de crescimento localizados próximos à medula (lenho juvenil) com características anatômicas muito diferentes daqueles próximos ao câmbio vascular, pois foram formados num período em que o ritmo de crescimento da planta era mais acentuado. Já, os anéis localizados próximos ao câmbio (lenho adulto) foram formados durante o período de maturidade da árvore. Além das diferenças anatômicas entre os lenhos juvenil e adulto, outros fatores como a idade, o vigor, as características genéticas do indivíduo e os fatores climáticos podem influenciar na variação da largura dos anéis de crescimento (VYSOTSKAYA e VAGANOV, 1989).

O conhecimento sobre os anéis de crescimento remonta ao século XVI na região da Toscana na Itália, quando Leonardo da Vinci observou a madeira de árvores de *Pinus* e relatou a existência de anéis anuais pela primeira vez e também que esses anéis possibilitavam estimar o número de anos, bem como, em função da sua largura, indicar os anos mais ou menos secos (CORONA, 1986). Após este relato, algumas

pesquisas começaram a ser realizadas nas regiões temperadas, mas somente no século XIX, estudos com essa abordagem se consolidaram e demonstravam que as baixas temperaturas do inverno nas regiões temperadas eram um fator limitante ao crescimento das árvores (WORBES, 1995).

Somente no início do século XX começaram as pesquisas e a descoberta da existência de anéis anuais no lenho das espécies de regiões tropicais (COSTER, 1927; SCHWEINGRUBER, 1988, WORBES e JUNK, 1999). Entretanto, os estudos sobre anéis de crescimento em espécies dessas regiões ainda são incipientes comparados aos de regiões temperadas, pois durante muito tempo acreditou-se na ideia de que nas regiões tropicais as variações climáticas não seriam bem definidas e regulares como as das regiões temperadas para produzir ciclos anuais de atividade cambial (SCHWEINGRUBER, 1996; WORBES, 2002).

A dendrocronologia é uma área da ciência que estuda e analisa os anéis de crescimento anuais no lenho e que inicialmente foi desenvolvida para estudos com espécies de origem temperada (SCHWEINGRUBER, 1988; 1993). Ainda pode ser definida como o estudo da sequência cronológica de formação de anéis de crescimento em espécies lenhosas (STOKES e SMILEY, 1996). Possui várias ramificações, sendo uma delas a dendroclimatologia, que consiste na análise das relações entre o crescimento das árvores e o clima (SCHWEINGRUBER, 1996). Foi observado que os anéis de crescimento são uma ótima fonte de informações paleoclimáticas e podem ser usados para reconstruir e compreender climas passados por meio da relação entre o crescimento das árvores, condições climáticas e a sazonalidade (FRITTS, 1976; STOKES e SMILEY, 1996).

Atualmente, é consenso de muitos pesquisadores que muitas espécies tropicais apresentam anéis de crescimento anuais no lenho (WORBES, 1989, 1995; DEVALL *et al.*, 1995; ALVES e ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000; CORADIN, 2000; MARCATI, 2000; CALLADO *et al.*, 2001a, 2004; MARCATI *et al.*, 2006; SOLIZ-GAMBOA *et al.*, 2011), o que facilita os estudos em dendrocronologia. Segundo Worbes (1988; 1989), a presença de anéis de crescimento no lenho de espécies de regiões tropicais não estão relacionados somente à precipitação, mas também a vários outros fatores ambientais sazonais, bem como fatores genéticos e endógenos.

Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. *ex* Steud. (nome popular louro-pardo), espécie nativa da família Boraginaceae (CARVALHO, 2003), possui madeira com interessante valor comercial devido a suas propriedades físicas (alta densidade) e

mecânicas (resistência mecânica média) (MANTOVANI *et al*., 2001), pode ser empregada na confecção de mobiliários, para revestimentos decorativos e na fabricação de portas e janelas (LORENZI, 1998). A espécie é utilizada em reflorestamentos heterogêneos destinados à recomposição de áreas degradadas (LORENZI, 1998). Possui uma ampla ocorrência que abrange o nordeste da Argentina, o leste do Paraguai e o Brasil (RIZZINI, 1971).

Estudo realizado por Amano (2002) demonstrou que a madeira de *C. trichotoma* apresenta anéis de crescimento anuais apresentando dois marcadores de crescimento, caracterizados por vasos grandes associados a um parênquima marginal inicial, e outro caracterizado por vasos pequenos, que se distribuem tangencialmente no final do anel de crescimento, o que a torna conveniente para estudos que abordam correlações das larguras dos anéis de crescimento com o clima.

Neste estudo a hipótese foi a de que plantas da mesma espécie, crescidas nas mesmas condições de solo e clima, podem apresentar variações na anatomia da madeira e também nos anéis de crescimento devido à origem de suas sementes, evidenciando a influência das características genéticas. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar comparativamente a anatomia da madeira de árvores adultas de *Cordia trichotoma* plantadas em mesmo local a partir de sementes de duas procedências distintas, bem como correlacionar dados climáticos (precipitação e temperatura) com a largura dos anéis de crescimento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Anatomia comparada da madeira

A anatomia da madeira por muitos anos tem sido um importante campo na ciência das plantas (HERENDEEN e MILLER, 2000). Estudos anatômicos do xilema secundário têm grande importância na taxonomia, na filogenia vegetal, para a identificação de espécies, para a interpretação da evolução das plantas vasculares e na anatomia ecológica, para a compreensão das adaptações particulares ao ambiente em que a planta ocorre (PINHO *et al.*, 1992; NISGOSKI *et al*., 1998; ALVES e ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000; MARCHIORI, 2004).

Sabe-se que os diferentes tipos de ambiente, os fatores geográficos e ambientais, tais como precipitação, temperatura, disponibilidade hídrica e fatores genéticos estão envolvidos na formação do lenho, e que as características anatômicas e, consequentemente, as suas propriedades físico-mecânicas são influenciadas em diferentes níveis por esses fatores (BAAS *et al.*, 1983; BARAJAS-MORALES, 1985; YANCHUK e MICKO, 1990; MARCATI *et al*., 2001 e COSMO, 2008).

Baas (1973) e Metcalfe e Chalk (1983) citam que um dos maiores desafios do estudo da anatomia ecológica é o estabelecimento de um elo seguro entre o que são as mudanças anatômicas relacionadas aos fatores ambientais e quais são as características hereditárias da espécie. Entretanto, é possível afirmar que o clima,

juntamente com a genética da espécie, tem peso maior na estrutura do xilema (METCALFE e CHALK, 1950; BAAS, 1973; GOMES e MUÑIZ, 1986). Shelbourne (1972) define a interação genótipo x ambiente como a variação entre genótipos em sua resposta a diferentes condições ambientais.

Alguns estudos apontam que existe uma ocorrência de variação intraespecífica na anatomia da madeira em espécies de distribuição restrita (de ocorrência somente no hemisfério Norte ou Sul), enquanto as de ampla distribuição (que ocorrem em todos os continentes, em diferentes condições ambientais) não apresentam essa variação (LIU e NOSHIRO, 2003). Desta forma, os autores supõem que algumas espécies provavelmente são geneticamente variáveis com a mudança de ambiente, enquanto outras possuem um plano mais rígido em sua estrutura. Orlovic *et al.* (1998) analisaram três plantios distintos com dois clones de *Populus* e verificaram alta interação do genótipo com o ambiente, mostrando que esta interação tem que ser considerada na seleção da planta para um determinado fim.

Em um estudo comparativo da anatomia da madeira de oito espécies do gênero *Eucalyptus* realizado por Tomazello-Filho (1985) foi observado que os *Eucalyptus saligna* oriundos de duas procedências (Austrália e Mairinque) e plantados em um mesmo local, se diferenciaram anatomicamente, indicando uma variabilidade genética dentro da mesma espécie pelos parâmetros estudados.

A anatomia da madeira de duas procedências de *Blepharocalyx salicifolius* (Myrtaceae) foi estudada por Denardi e Marchiori (2005) em duas regiões distintas do estado do Rio Grande do Sul, mas com o mesmo tipo climático. Foi observado que com relação às características qualitativas não houve diferença entre os indivíduos, entretanto, houve diferença com relação às características quantitativas nos aspectos de estrutura de vasos, parênquima axial, raios e fibras. Embora essas características sejam significativas, os autores consideraram como pouco expressivas sob o ponto de vista taxonômico.

Com relação aos estudos que comparam a anatomia da madeira de árvores de um mesmo local, mas oriundas de sementes de procedências distintas, observou-se que algumas das características anatômicas são conservadas geneticamente pelas procedências, entretanto outras são modificadas pelo ambiente (LIMA *et al.*, 2011a, b; LONGUI *et al.*, 2011). Lima *et al.* (2011a) comparando árvores oriundas de três procedências distintas de *Cariniana legalis* e plantadas no mesmo local observaram que

densidade básica, comprimento de fibras, a espessura da parede da fibra, comprimento dos elementos de vaso, altura e largura dos raios se diferiram entre as procedências, o que foi interpretado como forte influência genética dessas características na estrutura da madeira. Longui *et al.* (2011) na mesma linha de pesquisa, encontraram diferenças significativas nas propriedades da madeira de três procedências de *Gallesia integrifolia* plantadas em um mesmo local, observando também uma forte conservação genética de algumas características anatômicas do lenho.

Entretanto, estudos que comparam a anatomia da madeira de diferentes procedências de sementes plantadas em um mesmo local ainda são poucos, e portanto, esse trabalho irá ajudar a complementar estes estudos, além do que os resultados anatômicos obtidos podem facilitar a seleção do material genético para posterior uso da madeira.

2. Anéis de crescimento

Anéis de crescimento anuais são camadas de células (incrementos), formados durante uma estação de crescimento no xilema ou floema secundário do tronco ou raízes de espécies que apresentam crescimento secundário e podem ser vistos em secção transversal (KAENNEL E SCHWEINGRUBER, 1995; EVERT, 2006). Esses incrementos formados durante um ano no lenho podem ser chamados de anel ou camada de crescimento anual (SCHWEINGRUBER, 1996).

Um anel de crescimento é considerado anual quando composto pelo lenho inicial, produzido durante o período de condições ambientais favoráveis, com células com paredes celulares mais finas e consequentemente menos densas e, e pelo lenho tardio, que é formado durante o período em que o crescimento é restringido por algum fator ambiental limitante, com células com paredes celulares mais espessas e consequentemente mais densas (SCHWEINGRUBER, 1988; 1993; 1996). A formação dos anéis de crescimento é resultado das mudanças da atividade cambial devido a temperatura, fotoperíodo, precipitação e fatores endógenos que controlam o ritmo de crescimento de uma árvore (FAHN *et al.*, 1981).

Em regiões tropicais durante muito tempo acreditava-se na idéia de que as variações climáticas não seriam bem definidas e regulares como as das regiões temperadas para produzir ciclos anuais de atividade cambial (SCHWEINGRUBER, 1996; WORBES, 2002). Pensava-se que os anéis de crescimento nessas regiões estariam

relacionados com algumas restrições ambientais ou ciclos endógenos específicos das plantas (SCHWEINGRUBER, 1996; WORBES, 2002; COSTA *et al.*, 2006). Anéis anuais em espécies de regiões tropicais foram vistos primeiramente por Coster (1927) que estudou 85 espécies tropicais da ilha de Java na Indonésia e, após esse relato vários estudos foram realizados para testar e comprovar a existência de anéis anuais em espécies tropicais (WORBES, 1995, 1999; ALVES e ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000; SCHÖNGART *et al.*, 2002; CALLADO *et al.*, 2001a, 2001b, 2004; MARCATI *et al.*, 2006). Para determinadas espécies de regiões tropicais, existe a dificuldade de se determinar, com exatidão, a idade das árvores por meio dos anéis de crescimento pois, muitas vezes, esses anéis são indistintos e, mesmo quando aparentes, podem não expressar a idade real da árvore (PALERMO *et al.*, 2002).

Uma estação seca no ano, o que é mais comum na maioria dos biomas, pode induzir a formação dos anéis de crescimento (COSTER, 1927; BAAS, 1973; WORBES, 1999; DÜNISCH *et al.*, 2002). Détienne (1989) estudou os marcadores anatômicos e a periodicidade dos anéis de crescimento em caules de 30 espécies de 16 famílias da África e da Guiana Francesa e observou que os marcadores dos anéis de crescimento nessas espécies são sempre formados durante o período mais seco da estação. Worbes (1985, 1995) estudou a dinâmica de crescimento de 60 espécies de árvores tropicais na Amazônia, demonstrando a formação dos anéis de crescimento induzida pela ocorrência de períodos de seca ou de inundação anuais.

Marcati *et al.* (2006) analisaram 48 espécies do cerrado paulista e dentre as espécies analisadas 61% apresentaram anéis de crescimento bem distintos fato relacionado também a uma estação seca distinta durante o ano. Luchi (2004) comparando *Croton urucurana* em ambiente úmido e seco relatou que os anéis de crescimento só estavam presentes e bem demarcados nos espécimes da área mais seca, o que evidencia que uma estação seca durante o ano pode induzir a formação de um anel anual. Um estudo realizado por Mainieri (1959) em floresta tropical no Brasil constatou que 35% das árvores estudadas apresentaram anéis de crescimento relacionados com uma estação seca no ano. Segundo Worbes (1995), uma estação seca durante o ano, com duração de dois a três meses e com precipitação mensal menor que 60 mm, pode induzir a formação de um anel de crescimento distinto por ano em árvores tropicais.

Alves e Angyalossy-Alfonso (2000) estudaram 491 espécies (133 gêneros; 22 famílias) da flora brasileira quanto à ocorrência de anéis de crescimento e sua

relação com os fatores macro-ambientais (clima, vegetação, altitude e região geográfica). Das espécies analisadas, 48% apresentaram anéis de crescimento. A ocorrência dos anéis esteve diretamente relacionada a condições de sazonalidade térmica, baixas temperaturas durante o ano e inversamente a condições de pouca variação intra-anual de precipitação e temperatura.

Outros estudos observaram e relataram anéis de crescimento distintos em espécies tropicais como: Esemann-Quadros (2001); Callado *et al.* (2001a, 2001b); Barros *et al.* (2006); Lisi *et al.* (2008). Já, no trabalho de Aguilar-Rodríguez e Barajas-Morales (2005) no México com 29 espécies arbóreas de uma floresta mesófila de montanhas, os autores observaram que apenas 38% das espécies apresentaram anéis de crescimento evidentes e essa baixa porcentagem pode estar relacionada com a alta homogeneidade climática presente na área.

A formação de anéis anuais também pode ser causada por inundação de grandes rios nos trópicos, tais como Rio Amazonas e Rio Negro. Um longo período de duração da inundação e elevação do nível do espelho d'água resulta em condições de anoxia sobre os sistemas radiculares das plantas e, a redução da atividade da raiz pode provocar dormência cambial e consequentemente a formação dos anéis de crescimento (WORBES, 1985; 1989). Em florestas tropicais pluviais, regimes estacionais de precipitação ou de inundação são apontados como um dos principais determinantes da sazonalidade de crescimento (WORBES, 2002). Por exemplo, em uma floresta de inundação, as árvores mais jovens de *Piranhea trifolia* (Euphorbiaceae) apresentaram anéis de crescimento distintos, enquanto as árvores mais velhas de uma floresta de terra firme não apresentaram essa distinção, o que ressalta que a estrutura anatômica da madeira varia dentro de uma mesma espécie dependendo das condições de crescimento e da idade dessas árvores (WORBES, 1989).

Para *Cordia trichotoma*, Boninsegna *et al*. (1989) e Amano (2002) analisaram os anéis de crescimento e encontraram periodicidade anual de crescimento nesta espécie. Entretanto, em espécies que não têm uma periodicidade de crescimento conhecida, o estudo dos anéis de crescimento é mais complicado, pois há a formação de anéis falsos (WORBES, 1995). Esses anéis falsos podem formar-se em períodos prolongados de seca ou chuva, além de outros fenômenos climáticos nas regiões tropicais, que contribuem para interrupção temporária da atividade cambial, propiciando a formação de mais de um anel de crescimento no intervalo de um ano (COSTA, *et al.*, 2006). Em

estudo com madeiras tropicais, Sass *et al.* (1995) encontraram a formação de anéis irregulares; outro exemplo de irregularidades de anéis de crescimento foi visto em trabalho realizado com dez espécies do Cerrado Central do Brasil por Coradin (2000) em que duas das dez espécies (*Miconia ferruginata* - Melastomataceae e *Vochysia elliptica* - Vochysiaceae) apresentaram além de anéis de crescimento distintos, dois marcadores de crescimento em uma mesma estação de crescimento.

Worbes (1995) relata ainda a possibilidade de existência de dois anéis de crescimento ao ano, o que está relacionado com duas estações secas no mesmo período. Gourlay (1995) documentou a existência de dois anéis de crescimento em árvores de *Acacia* de regiões no Leste da África onde ocorrem duas estações secas no ano. Além de uma estação seca durante o ano, a variação anual da temperatura pode também ter grande influência sobre a regulação da atividade cambial e na formação dos anéis anuais (WORBES, 2002).

3. Dendrocronologia e dendroclimatologia

Dendrocronologia (*dendron*=madeira; *chronos*=tempo; e *logus*=estudo) é definida como a ciência que estuda a idade das plantas por meio de análises dos anéis de crescimento do xilema secundário (FRITTZ, 1976; SCHWEINGRUBER, 1996). De acordo com Abrams e Copenheaver (1999), trata-se de uma ciência que através das análises dos anéis de crescimento reproduz as alterações do crescimento de plantas lenhosas durante longo período de tempo.

Para qualquer análise dendrocronológica é indispensável ter plantas com anéis de crescimento formados com periodicidade conhecida. Contudo, uma datação total só é possível se for conhecido o ritmo da atividade cambial, pois a existência de anéis de crescimento no lenho de uma espécie não indica, necessariamente, que os anéis têm periodicidade anual (ROIG, 2000). O cruzamento de dados dos anos do calendário com as informações do lenho das árvores permite assim, determinar o ano em que um anel de crescimento foi formado (BROWN, 2003).

A dendrocronologia se ramifica em diversas áreas e a área que estuda a reconstrução do clima de uma determinada região por meio da cronologia da largura dos anéis de crescimento é chamada de dendroclimatologia (SCHWEINGRUBER, 1988; 1993). Segundo Jacoby (1989), a aplicação da dendrocronologia é difícil principalmente em espécies tropicais, pois, na maioria das vezes, os anéis de crescimento

não estão perfeitamente visíveis ou são inexistentes, por isso é de grande valia que as estações do ano sejam bem definidas, com condições que induzam a sazonalidade da atividade cambial. Entretanto, desde o final do século XIX são conhecidos trabalhos na região tropical, que demonstram a periodicidade anual de crescimento secundário e aplicam métodos dendroclimatológicos em espécies arbóreas (WORBES, 2002).

Os anéis de crescimento podem ser usados para estudar as variações climáticas anuais do passado, permitindo reconstruções e prognósticos climáticos (FRITTZ, 1976), e são considerados verdadeiros bancos de dados naturais que podem armazenar informações ecológicas e históricas (KOZLOWSKI *et al*., 1991, KITZBERGER *et al*., 2000). Nos últimos anos muita atenção tem sido dada aos estudos das correlações do clima com a largura dos anéis de crescimento para formação de cronologias (BUCKLEY *et al.*, 1995; PUMIJUMNONG *et al.* 1995; STAHLE *et al.*, 1999; ENQUIST e LEFFLER, 2001).

Nos estudos dendrocronológicos há um princípio fundamental denominado datação-cruzada (‘cross-dating’). Por exemplo, em uma região em que o crescimento das plantas é limitado pela disponibilidade hídrica do ano corrente, espera-se que a maioria das espécies lenhosas forme anéis estreitos em anos com baixa pluviosidade e anéis largos em anos com maior quantidade de chuva (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 1988; STHALE, 1999). Desta forma, árvores de diferentes povoamentos que se desenvolveram em condições semelhantes ao longo de um período de anos devem apresentar sincronismo na variação da largura dos seus anéis de crescimento, permitindo a datação cruzada (CHAGAS, 2009). Nestes casos, comparando séries temporais de anéis de crescimento entre árvores pode-se comparar e corrigir a datação destes anéis. Assim, por meio da datação-cruzada pode-se inferir se uma dada população de plantas forma anéis de crescimento com periodicidade anual (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 1988; STHALE, 1999). Três programas estatísticos são bastantes utilizados nos estudos dendrocronológicos, COFECHA, ARSTAN e RESPO, que foram criados pela Universidade do Arizona (HOLMES, 1983; HOLMES *et al.*, 1986), sendo que o COFECHA tem a função de checar estatisticamente a datação realizada, identificando as amostras ou segmentos das amostras que apresentam problemas de demarcação ou de mensuração dos anéis de crescimento, realizando o princípio fundamental da dendrocronologia que é a datação-cruzada. O programa ARSTAN tem por função através do ajuste de uma função de regressão dos dados de largura dos anéis de crescimento a

formação de uma cronologia da espécie para posterior comparação com o clima. Já, o RESPO tem a função de correlacionar a cronologia formada pelo ARSTAN com as variáveis climáticas.

Com relação aos estudos dos anéis de crescimento e clima, vários trabalhos mostraram que a influência da precipitação no crescimento de espécies lenhosas está relacionada de forma positiva com a taxa de precipitação no local, acarretando um maior crescimento da espécie, e o contrário é verdadeiro, se ocorrer uma diminuição brusca das chuvas ou o solo saturar de água, a taxa de crescimento das espécies irá reduzir (PUMIJUMNONG *et al.*, 1995; LUCHI, 1998; WORBES, 1999; BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001; ENQUIST e LEFFER, 2001; SCHÖNGART *et al.*, 2002; BRIENEN e ZUIDEMA, 2005; LISI *et al.*, 2008; BOGINO *et al.*, 2009; BHATTACHARYYA e SHAH, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2011; SOLIZ-GAMBOA *et al.*, 2011). A explicação para essa redução de crescimento é que em períodos de baixa precipitação há menor disponibilidade de água para o crescimento; já, a saturação de água no solo leva a raiz a um estado de anoxia, reduzindo sua atividade e, consequentemente, gerando um déficit hídrico (BORCHERT, 1999; SCHÖNGART *et al.*, 2002).

Com relação à temperatura, poucas pesquisas mostraram uma relação do aumento do crescimento das espécies com temperaturas mais altas, como por exemplo, Devall *et al.* (1995); Nikolaev (1999); Savva *et al.* (2003); Yadav *et al.* (2004). Entretanto, a temperatura é considerada um fator limitante no crescimento de algumas espécies lenhosas, principalmente as coníferas, como foi registrado por alguns trabalhos Gouver *et al.* (2001); Kharuk *et al.* (2004); D'Arrigo *et al.* (2007); Ahmed *et al.* (2012).

Para as espécies tropicais, diversas pesquisas mostraram a influência da precipitação e da temperatura, positiva ou não, na taxa de crescimento dessas espécies (PUMIJUMNONG *et al.*, 1995; LUCHI, 1998; WORBES, 1999; ENQUIST e LEFFER, 2001; BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001; SCHÖNGART *et al.*, 2002; 2006; BRIENEN e ZUIDEMA, 2005, 2006; LISI *et al.*, 2008; BHATTACHARYYA e SHAH, 2009; SOLIZ-GAMBOA *et al.*, 2011).

A influência das variações climáticas no crescimento das plantas não depende somente da precipitação e da temperatura, mas também das condições do local onde estão inseridas (COOK *et al.*, 2001), contudo é reconhecido que essas duas variáveis climáticas possuem grande influência no crescimento das espécies arbóreas e que nos últimos anos vêm sendo bastante estudadas.

As condições locais e a genética da planta atuam diretamente no desenvolvimento das espécies e, em face da importância dos trabalhos relatados, estudos que abordam a anatomia comparada da madeira de diferentes genótipos são escassos, entretanto, de grande importância para melhor entendimento das adaptações das plantas ao local em que estão inseridas e sua conservação genética. As diferentes variações na estrutura anatômica do lenho das procedências ajudam a compreender algumas das mudanças estruturais da madeira em resposta às mesmas condições ambientais, e, consequentemente, esses estudos mostram o que é fixado geneticamente ou não para a espécie. Assim sendo, o conhecimento do melhor material genético para uso futuro da espécie é de grande importância para uma melhor qualidade da madeira.

DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

A espécie em estudo pertence a família Boraginaceae *sensu lato*. Esta família reúne cerca de 2.500 espécies em 130 gêneros, com seus representantes distribuídos nas regiões tropicais, subtropicais e temperadas, poucas espécies dessa família encontram-se nas zonas temperadas do hemisfério Norte (AL-SHEHBAZ, 1991). Nos trópicos, a maior diversidade de espécies foi registrada no México, América Central e América do Sul, sendo que esta última localidade concentra cerca de 25 gêneros, dos quais dez são endêmicos (AL-SHEHBAZ, 1991). Esta família encontra-se representada no Brasil por aproximadamente 120 espécies em nove gêneros, sendo que os gêneros *Cordia*, *Heliotropium* e *Tournefortia* constituem-se nos mais significantes (MELO e ANDRADE, 2005).

O gênero *Cordia* foi descrito por Linnaeus em 1753 (TARODA, 1984), e é um dos mais representativos da família Boraginaceae, constituindo de aproximadamente 320 espécies, o que inclui ervas, arbustos e árvores (JUDD *et al.*, 1999). Uma característica ecológica presente na família Boraginaceae é a capacidade de muitas de suas espécies se estabelecerem em áreas perturbadas. É comum encontrar representantes de *Cordia* ocupando áreas próximas a rodovias, onde é possível observar processo de degradação, portanto, é um gênero útil para o reflorestamento de áreas onde a ação antrópica é evidente (BARROSO *et al.*, 2009).

Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. *ex* Steud. é uma espécie conhecida comumente por louro-pardo, e tem ampla distribuição geográfica, ocorrendo

desde o nordeste até o sul do Brasil, no nordeste da Argentina, leste do Paraguai e sul da Bolívia (REITZ *et al*., 1988; CARVALHO, 2003). Carvalho (1994) cita que no Brasil o crescimento dessa espécie é considerado de lento a moderado, pois em plantios com dez anos de idade foram registrados incrementos volumétricos de 9,65 m^3 $hectare^{-1}$ ano^{-1}. Já, na Argentina essa espécie tem crescimento rápido, com média de 23 m^3 $hectare^{-1}$ ano^{-1} aos 13 anos de idade. Em rotação de 30 a 40 anos, no estado do Rio Grande do Sul, as árvores forneceram excelente madeira para tabuado (REITZ *et al.,* 1988). Em solos de médio-alta fertilidade, associado a bons tratos silviculturais, é possível uma rotação inicial já aos 15 anos (CARVALHO, 2003).

Segundo Lorenzi (2008), *C. trichotoma* é uma espécie pioneira comum e facilmente encontrada em capoeiras no Sul do país. Carvalho (1994) cita que *C. trichotoma é* espécie heliófila e possui uma exigência luminosa, no entanto quando jovem pode suportar meia sombra. Na descrição morfológica, o louro-pardo é caracterizado por Reitz *et al.* (1988) como árvore decidual de 25 até 35 metros de altura e de até 100 cm de diâmetro na altura do peito. Segundo o mesmo autor, o tronco é caracterizado como sendo geralmente bastante reto e cilíndrico; fuste comprido de dez a quinze metros, casca cinza-clara com sulcos rasos longitudinais.

A madeira de *C. trichotoma* é amplamente empregada na confecção de mobiliário, para revestimentos decorativos e na fabricação de portas e janelas. Sua utilização em tornearia permite obter valiosas peças, como também em esculturas. Na construção naval encontra importantes aplicações nos interiores e estrutura sobre a linha de flutuação (LORENZI, 1998). A árvore também apresenta qualidades ornamentais e pode ser utilizada no paisagismo em geral (LORENZI, 1998). Moderadamente pesada e dura, essa madeira é facilmente trabalhada inclusive para móveis vergados, sendo ainda de boa durabilidade em ambientes secos (LORENZI, 1992). O alburno apresenta coloração amarelo-pardo e o cerne é pardo-claro-amarelado, uniforme ou com listas levemente escurecidas (REITZ *et al.*,1988).

A espécie *C. trichotoma* vem sendo muito utilizada em plantios de recuperação de áreas degradadas e, desta forma, estudos da estrutura anatômica são de grande importância para o melhor entendimento do crescimento e desenvolvimento, e posterior uso comercial dessa espécie.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi comparar a anatomia da madeira de árvores adultas de *Cordia trichotoma* oriundas de sementes de duas procedências bem como correlacionar as larguras dos anéis de crescimento com dados de precipitação e temperatura. Especificamente, pretendeu-se responder as seguintes questões:

- Houve diferença anatômica no lenho de *C. trichotoma* quando comparadas as árvores de sementes de diferentes procedências?
- Houve influência da precipitação e da temperatura na largura dos anéis de crescimento no lenho de *C. trichotoma*?
- É possível a formação de cronologia com os anéis de crescimento de *C. trichotoma*?
- Em que meses houve uma sensibilidade, ou seja, uma maior influência das variações climáticas no crescimento das árvores de *C. trichotoma*?

MATERIAL E MÉTODOS

1. Área de coleta do material do estudo

A área de coleta do material estudado foi a Estação Experimental de Luiz Antônio, SP, administrada pelo Instituto Florestal de São Paulo (IF).

A Estação Experimental de Luiz Antônio, SP está localizada nas coordenadas 21°40'S, 47°49'W, na cidade de Luiz Antônio, SP, altitude de 550 m, precipitação média anual de 1.280 mm. O relevo do local é plano, com declividade em torno de 5% (FREITAS *et al.*, 2006).

O solo da área de coleta é do tipo Latossolo Roxo e, segundo a classificação de Köepen (1948), o clima é tropical (Cwa) e inverno seco, com temperatura média anual do mês mais quente de 22,7º C e do mês mais frio de 17,2º C (FREITAS, *et al.*, 2006 – Figura 1).

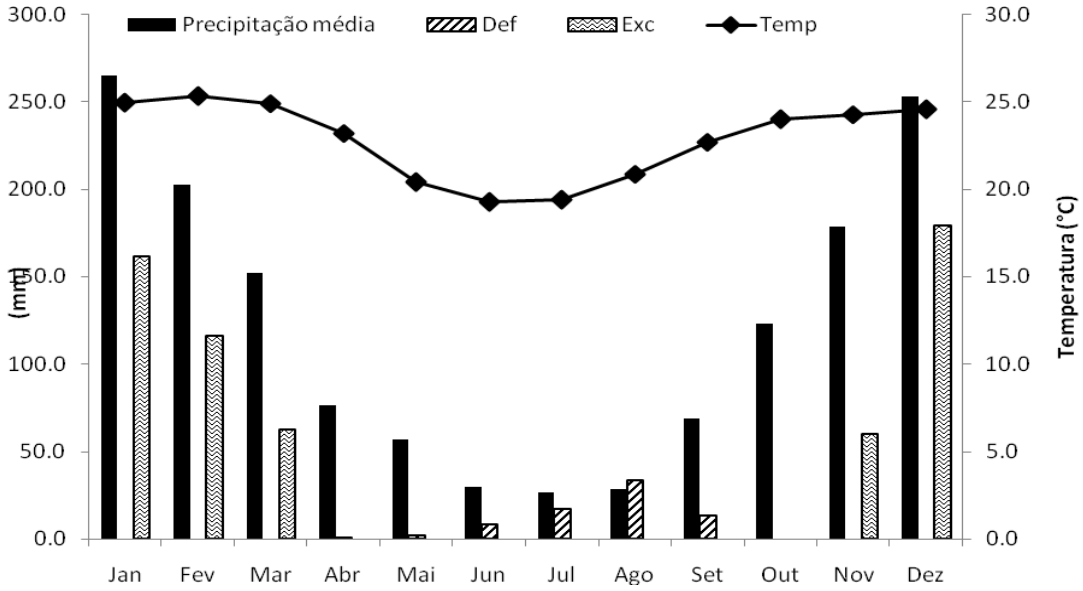


Figura 1. Diagrama climático geral da cidade de Luiz Antônio apresentando a média mensal da precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura média da cidade (INMET, 2012).

2. Locais da procedência do material do estudo

2.1 Bauru

No município de Bauru, podem-se identificar os seguintes tipos de vegetação nativa: floresta estacional semidecídua, floresta ribeirinha e cerrado (CAVASSAN, 2006). O cerrado é a vegetação predominante e ocorre principalmente na região sudeste do centro do município totalizando aproximadamente 500 ha (CAVASSAN, 2006).

Segundo a classificação de Köeppen (1948), o clima da cidade é tropical de altitude (Cwa) com inverno seco, e temperatura média anual de 22,6 °C e do mês mais frio de 19º C. A precipitação anual é de aproximadamente 1.170 mm (Banco de Dados, Embrapa, 2013 - Figura 2).

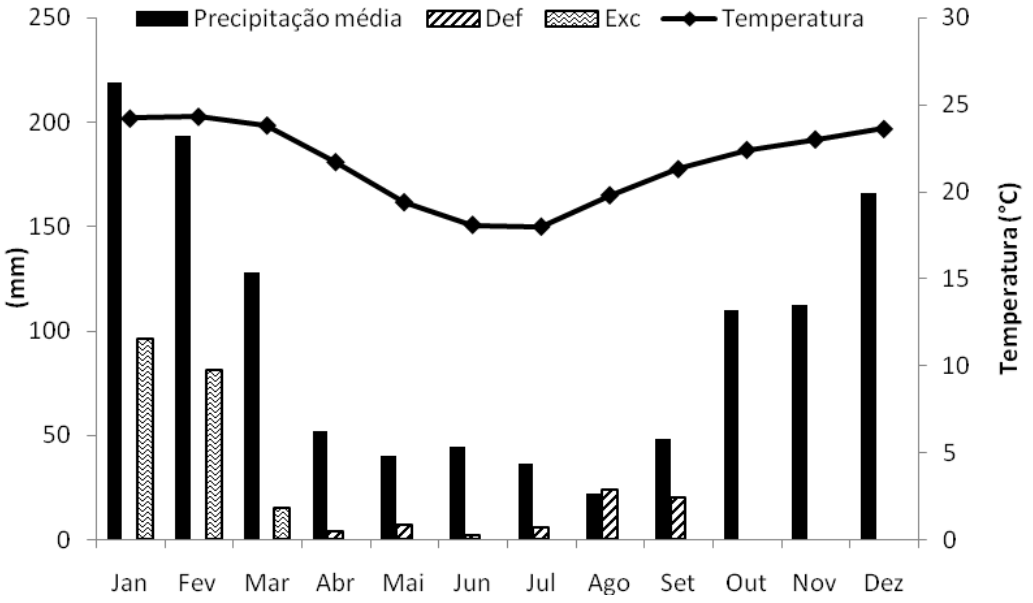


Figura 2. Diagrama climático geral da cidade de Bauru apresentando a média mensal da precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura média da cidade entre 1941 – 1970 (Banco de Dados, Embrapa, 2013).

2.2 Piracicaba

A região de Piracicaba apresenta aproximadamente 27.599,49 ha de florestas distribuídas em 16 municípios e, apresenta fragmentos remanescentes de diferentes unidades fitogeográficas como: Floresta Estacional Semidecidual (aluvial e não aluvial), Floresta Paludosa, Floresta Estacional Decidual e diversas fisionomias de Cerrados (RODRIGUES, 1999). A vegetação original e predominante no município de Piracicaba é a Mata Atlântica (principalmente Florestal Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual),

Segundo a classificação de Köeppen (1948), o clima da cidade é do tipo Cwa, com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 23,9°C, tendo invernos secos e amenos e verões chuvosos com temperaturas moderadamente altas. A precipitação anual é de aproximadamente 1.230mm (Banco de Dados, Embrapa, 2013 - Figura 3).

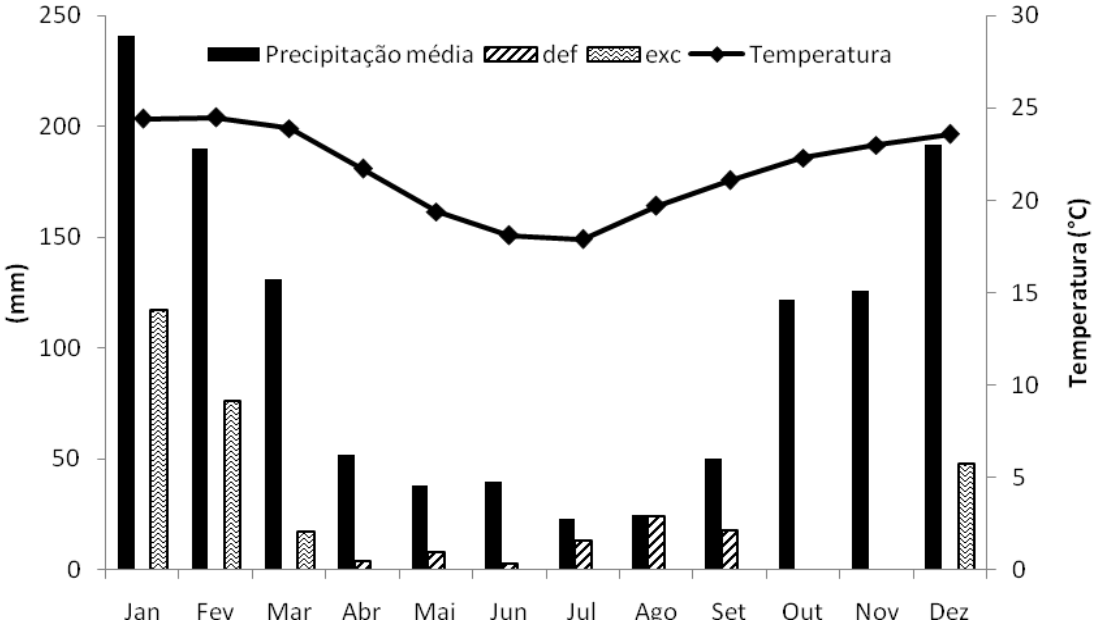


Figura 3. Diagrama climático geral da cidade de Piracicaba apresentando a média mensal da precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura média da cidade entre 1918 – 1998 (Banco de Dados, Embrapa, 2013).

3. Material do estudo

Árvores adultas de um plantio de 25 anos de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. *ex* Steud. (Boraginaceae) da Estação Experimental de Luiz Antonio, SP, foram estudadas. Foram abatidas doze árvores ao acaso, sendo seis das sementes oriundas de Bauru e seis das sementes de Piracicaba (Tabela 2 e Figura 4), e retirados discos à altura do peito (1,30 m do solo) com espessura de 3 cm de cada uma delas. Os discos do caule de *C. trichotoma* foram retirados em maio de 2011. A Figura 5 mostra as árvores no plantio e as Figuras 6 e 7 mostram detalhes do caule e das folhas, respectivamente.

Os discos foram levados ao Laboratório de Anatomia da Madeira do Departamento de Ciência Florestal, da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Botucatu/SP para as posteriores análises.

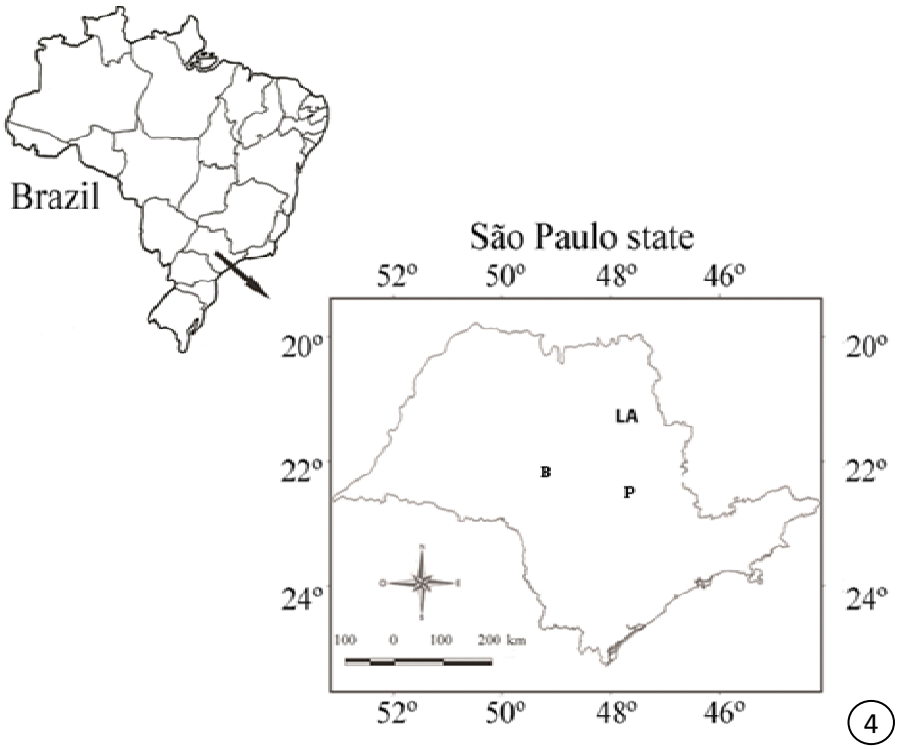


Figura 4. Localização das áreas Bauru (B) e Piracicaba (P), e local de coleta das árvores, Luiz Antônio (LA).

Tabela 1. Dados do diâmetro à altura do peito (DAP) e altura das doze árvores de *Cordia trichotoma*.

Bauru			**Piracicaba**		
Árvore	DAP (cm)	Altura (m)	Árvore	DAP (cm)	Altura (m)
1	15,5	17,4	1	16,0	16,2
2	15,5	16,3	2	18,0	16,0
3	17,5	15,2	3	17,0	16,5
4	14,5	14,1	4	17,5	16,6
5	13,0	13,1	5	14,0	16,1
6	18,0	13,7	6	11,0	14,0
Média	**15,6**	15,0	**Média**	**15,6**	15,9

Figuras 5 - 7. Árvores de *C. trichotoma* na Estação Experimental de Luiz Antônio, SP. **5.** Vista geral da área do plantio. **6.** Aspecto da casca da espécie. **7.** Parte da copa da árvore.

4. Estudo anatômico do lenho

Para a análise microscópica do lenho foram retiradas amostras de aproximadamente 1 cm^3 de duas partes dos disco (i) cerne, na transição com o alburno; (ii) e alburno, em uma região mais próxima da casca. A amostra da primeira região citada foi utilizada somente para a observação dos conteúdos orgânicos e minerais. Já, na segunda região foram retiradas amostras para as características anatômicas qualitativas e quantitativas. As amostras foram seccionadas em micrótomo de deslize e obtidos cortes com cerca de 15µm de espessura, nos três planos convencionais (tranversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial), segundo as técnicas de Johansen (1940).

Os cortes histológicos foram clarificados com hipoclorito de sódio 50%, em seguida lavados em água acética 1% e corados com safranina aquosa 1% (BUKATSCH, 1972) e azul de astra 1 % (ROESER, 1972), para o contraste das estruturas celulares. Após a coloração, os cortes foram desidratados em série gradual de concentração de álcoois (30% - 50% - 70% - 90% - 95% - 100%). A fixação do corante foi feita com acetato de butila e as lâminas foram montadas permanentemente com Entellan®.

Para a dissociação dos elementos celulares foram retirados pequenos palitos de cada amostra de madeira do alburno e que foram colocados em frascos de vidro contendo solução de ácido acético glacial e água oxigenada 30 volumes, na proporção 1:1, seguindo o método de Franklin (1945, modificado por KRAUS e ARDUIM, 1997). Cada frasco foi vedado e levado à estufa a 60ºC por cerca de 20 horas, ou até que a solução se apresente transparente e os palitos esbranquiçados. Após esfriar, o material foi cuidadosamente lavado em água corrente. Para a montagem de lâminas semipermanentes, o material foi corado com safranina 1% em etanol 50% (BERLYN e MIKSCHE, 1976). Essas lâminas foram montadas em glicerina diluída em água destilada (50%).

Os tipos celulares do lenho, bem como a variação de suas formas e dimensões, foram descritos qualitativa e quantitativamente com o auxílio das recomendações propostas pelo IAWA Committee (1989). O número de vasos por grupo analisados no presente estudo foi analisado segundo a descrição e recomendação de Carlquist (2001). A análise de área de parênquima por mm^2 foi realizada medindo a área de parênquima axial nas duas procedências em quadrado de 1 mm^2 com o com auxílio do programa Axiovision®. Os dados quantitativos foram obtidos com auxílio de um sistema de análises de imagens, programa Axiovision®, capturadas por câmera acoplada em um

microscópio de luz da Zeiss®, e transferidos para o programa Microsoft Office Excel para serem efetuados os cálculos de média e desvio padrão para cada um dos parâmetros analisados. O teste F foi realizado para observar se as médias das procedências se diferiram estatisticamente.

5. Estudo dos anéis de crescimento

Para a análise dos anéis de crescimento os discos tiveram a sua secção transversal polida manualmente com uma série de lixas, desde as secas (100 e 150) até as lixas d'água (220, 320, 400, 600 e 1200). Esse polimento facilitou a observação dos anéis de crescimento. Em seguida, os discos foram divididos com um transferidor em cinco raios para a marcação dos anéis de crescimento (Figura 8). Essa divisão foi feita para uma observação completa mais precisa dos anéis de crescimento nos discos.

A marcação dos limites dos anéis de crescimento ao longo dos cinco raios foi realizado com o uso de um estereomicroscópio de 10x de aumento. Após esta etapa, os discos foram digitalizados em um scanner de marca HP Scanjet 4470c (resolução 1200 dpi - com uma escala), com auxílio do programa HP Precision Scan Pro 3.1. Na sequência, as medições das larguras dos anéis de crescimento foram determinadas com auxílio do software de análise de imagem Image Pro-Plus (Figura 9 e 10), e os dados obtidos foram exportados para o Microsoft Office Excel.

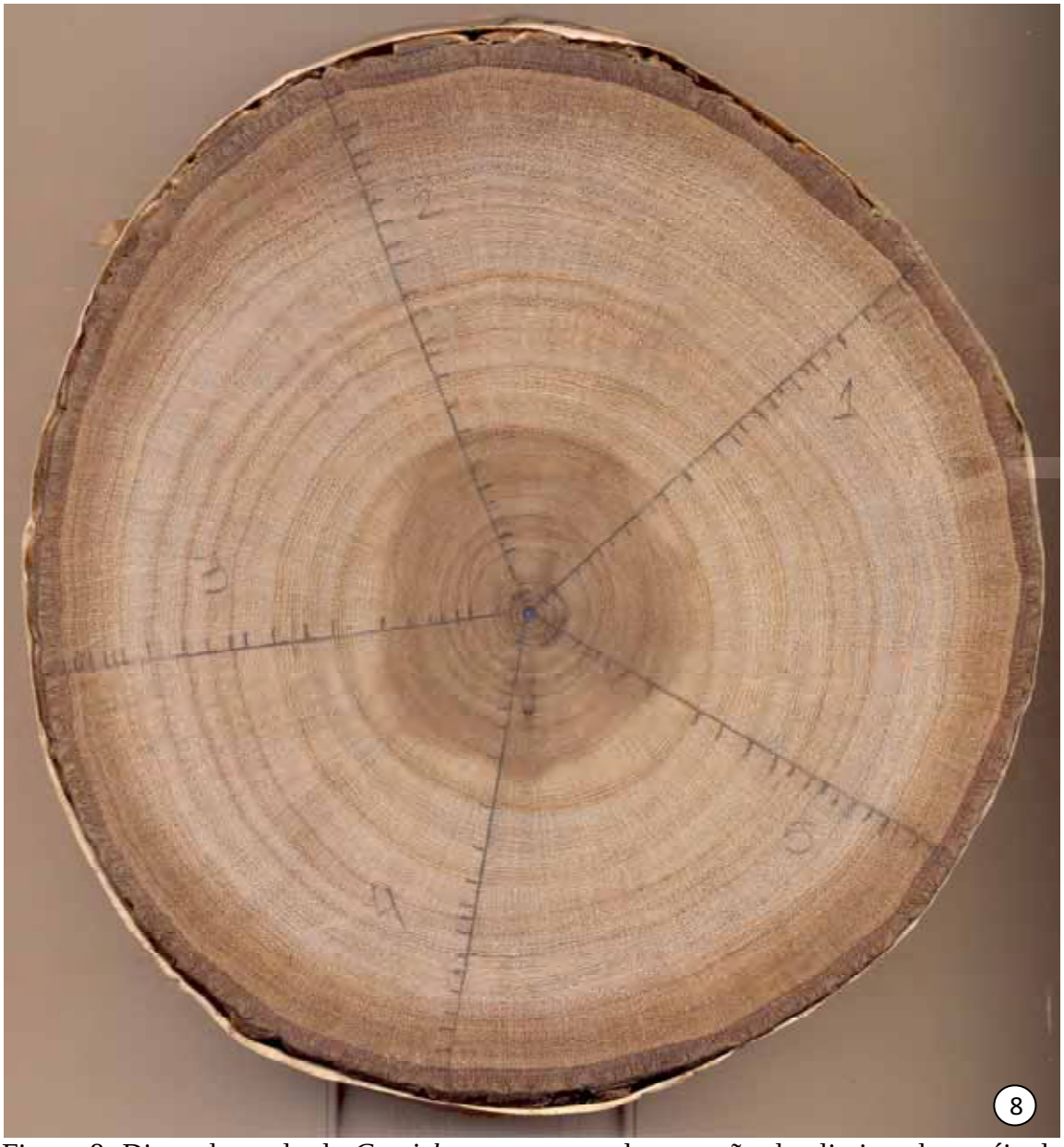


Figura 8. Disco do caule de *C. trichotoma* com a demarcação dos limites dos anéis de crescimento.

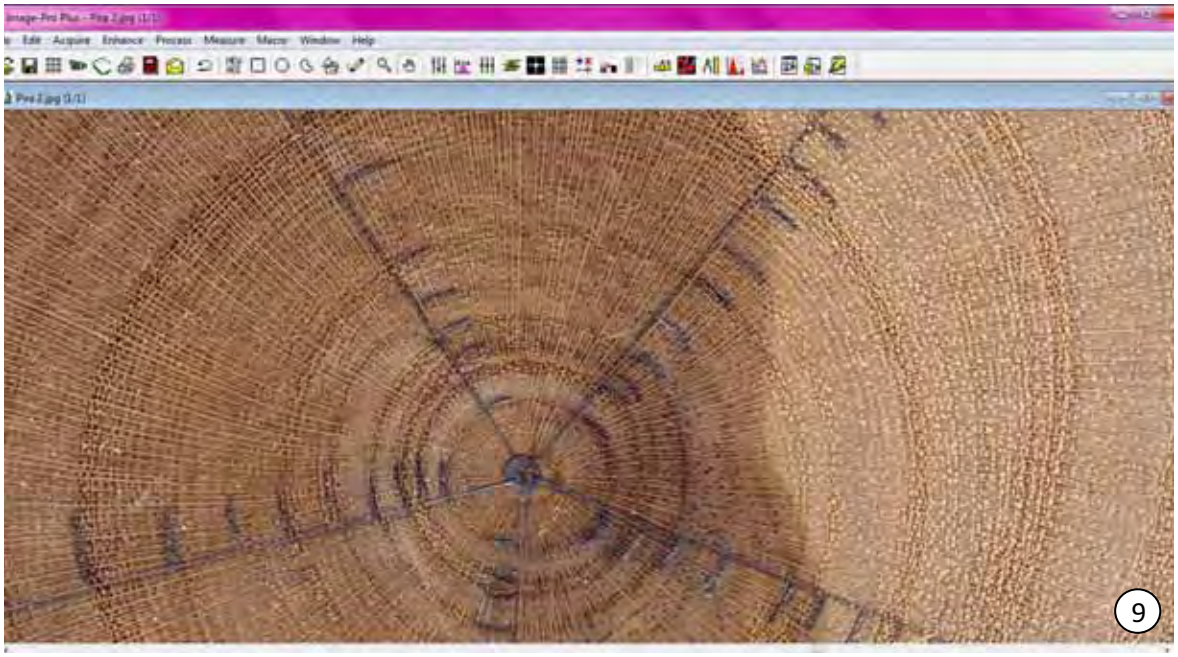


Figura 9. Imagem de parte de um disco mostrando a secção transversal do lenho de *Cordia trichotoma* com os limites dos anéis de crescimento demarcados a lápis a partir da medula, pronto para a mensuração no software Image Pro Plus.

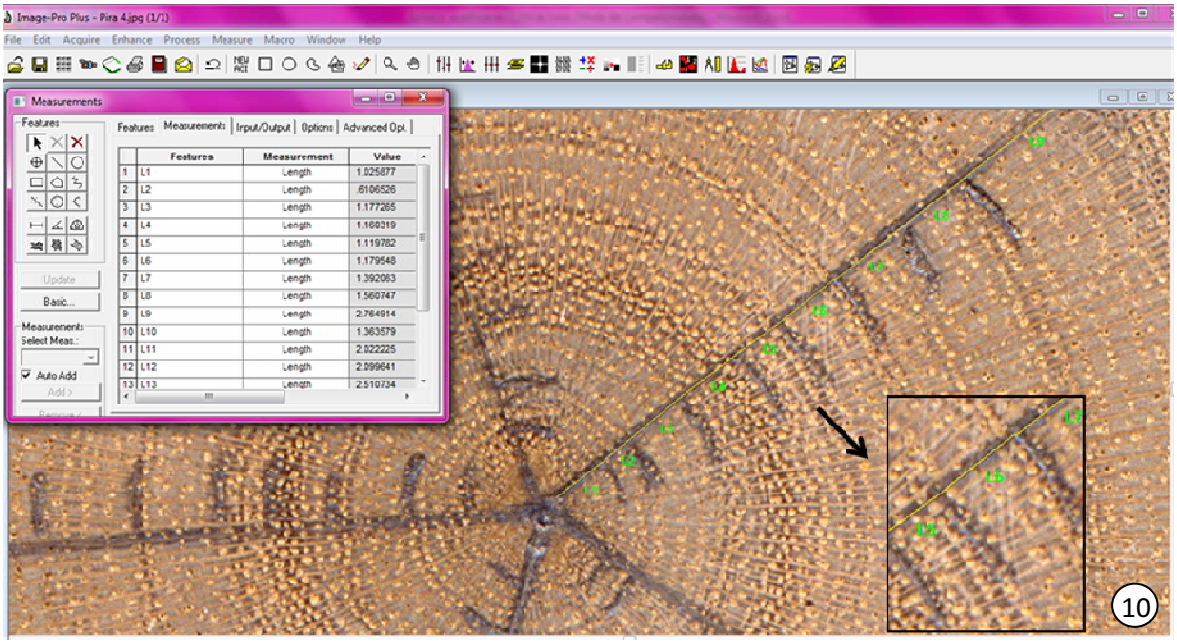


Figura 10. A janela sobre a imagem mostra parte das medições de um dos raios do disco com auxílio do programa Image Pro-Plus. Em destaque um anel de crescimento após a medição.

Depois de obtidas as medições das larguras dos anéis de crescimento no Microsoft Office Excel nos cinco raios de cada disco procedeu-se a organização dos dados em arquivos compatíveis com o programa de sincronização dos anéis de crescimento. A sincronização foi realizada com auxílio do COFECHA (Figura 11), software livre de dendrocronologia criado pela Universidade do Arizona (HOLMES, 1983). O programa verifica estatisticamente a datação realizada, identificando as amostras ou segmentos das amostras que apresentam problemas de demarcação ou de mensuração dos anéis de crescimento, indicando a possível existência de um anel falso ou ausente. O COFECHA não corrige os erros de marcação do anel, cabe ao mensurador tomar a decisão a partir dos resultados obtidos e verificar onde pode haver possíveis erros de marcação. Durante o processo de sincronização, que durou cerca de seis meses, erros de medição como a demarcação de anéis falsos e a presença de anéis ausentes foram corrigidos e, em seguida, os novos dados das séries dos anéis de crescimento foram sincronizadas em operações sucessivas, até a obtenção de uma série sincronizada para a espécie.

Com as séries sincronizadas foram removidas as tendências dos dados de largura dos anéis de crescimento da espécie com auxílio do software ARSTAN (‘Auto Regressive Standardization’) (Figura 12) (HOLMES *et al.*, 1986), foi aplicada o processo de dupla retirada de tendência que segundo Holmes (1983) garante a correção das deficiências de cada ajuste e, tendo assim, um bom ajuste final para as duas procedências. Este software ajusta uma função de regressão aos dados de largura dos anéis de crescimento, para a posterior obtenção da cronologia da espécie. A padronização feita pelo programa ARSTAN tem dois objetivos: i) remover as tendências não climáticas relacionadas com a idade das árvores de *C. trichotoma*, e ii) permitir que os valores padronizados das árvores de *C. trichotoma* individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento do tronco, sejam calculados juntos em uma função média.

Após a obtenção das cronologias médias da espécie, dadas pelo programa ARSTAN, elas foram correlacionadas no Microsoft Office Excel por meio de correlação de Pearson com as séries climáticas (precipitação e temperatura), para verificar as influências na largura dos anéis de crescimento da espécie e, consequentemente, no crescimento dessas árvores. O arquivo do Microsoft Office Excel usado para obter as correlações foi desenvolvido com base em outro programa de dendrocronologia RESPO (‘Response Function Analysis’), que é um software que faz a correlação da cronologia obtida e o clima. O software RESPO não foi utilizado neste trabalho, pois a cronologia

gerada é curta (1986-2010), além de que o arquivo utilizado foi criado para facilitar a interpretação dos resultados. Os dados de precipitação e temperatura utilizados neste trabalho foram obtidos a partir da Rede de Dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) da Estação Meteorológica de São Simão/SP, próxima a área de coleta dos discos.

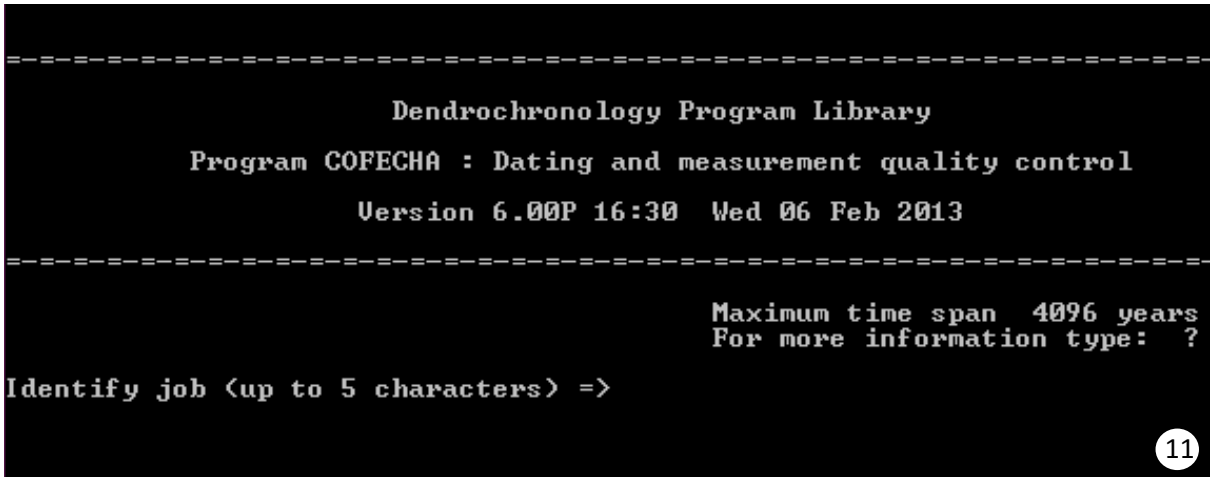


Figura 11. Tela inicial do Programa COFECHA.

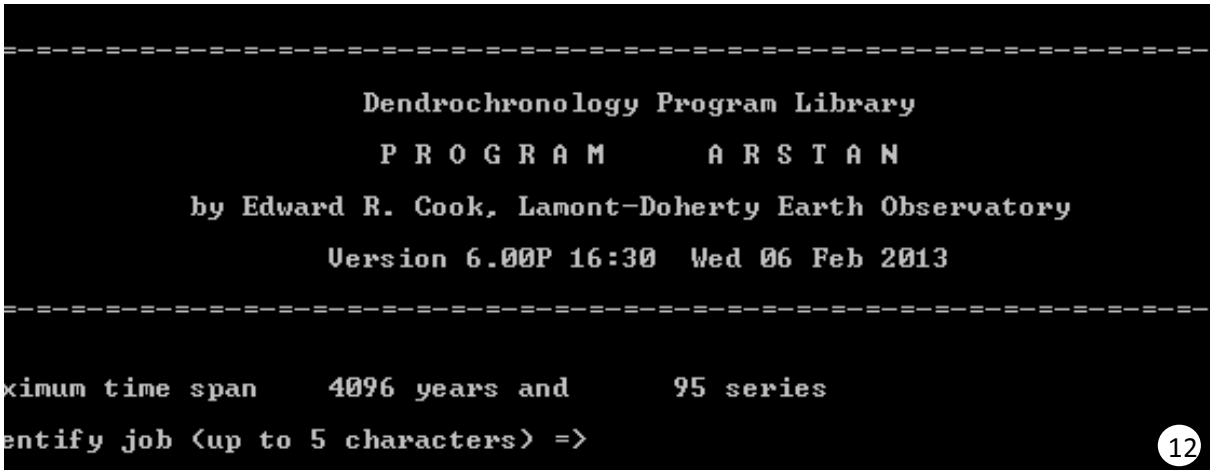


Figura 12. Tela inicial do Programa ARSTAN.

5.1 Terminologia utilizada para anéis de crescimento

A terminologia descrita abaixo foi utilizada para os anéis de crescimento na madeira.

- *anéis de crescimento*: camadas de crescimento; zonas de incremento.

- *anéis anuais*: quando os limites são bem definidos e visualizados em toda a circunferência no disco;

- *anéis falsos*: quando os limites podem ou não ser bem definidos, mas não são visualizados em toda a circunferência do disco.

Os resultados obtidos durante a execução deste projeto de Mestrado foram reunidos em artigos científicos para publicação, redigidos segundo as normas do IAWA Journal.

Capítulo I: Anatomia da madeira de árvores de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (Boraginaceae) provenientes de sementes de duas procedências.

Capítulo II: Análise dos anéis de crescimento do lenho de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (Boraginaceae) e correlação com temperatura e precipitação.

Capítulo I

Anatomia da madeira de árvores *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (Boraginaceae) provenientes de sementes de duas procedências

CAROLINE CAUM[1]*; EDUARDO LUIZ LONGUI[2] e CARMEN REGINA MARCATI[1]

RESUMO

A estrutura anatômica da madeira é resultado da influência direta dos fatores ambientais, como precipitação e temperatura, e dos fatores genéticos. A espécie *C. trichotoma* (Vell.) Arráb. *ex* Steud (Boraginaceae) possui ampla distribuição geográfica e tem grande importância em reflorestamentos heterogêneos destinados à recomposição de áreas degradadas no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a anatomia comparada da madeira de árvores adultas de *Cordia trichotoma* plantadas em mesmo local, mas oriundas de sementes de duas diferentes procedências, Bauru e Piracicaba. Para isto, foram coletados discos a altura do peito de doze árvores da espécie, que cresceram na Estação Experimental de Luiz Antônio, SP, sendo seis árvores de cada procedência. Para a análise microscópica do lenho foram realizados cortes histológicos nos três planos convencionais (transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial), e lâminas permanentes foram confeccionadas. O material lenhoso foi dissociado e foram preparadas lâminas semipermanentes. As características anatômicas qualitativas e quantitativas foram analisadas no lenho da espécie. Qualitativamente houve diferença entre as procedências com relação à presença de vasos geniculados, encontrados somente na procedência de Bauru. Em ambas as procedências o lenho caracteriza-se por: anéis de crescimento demarcados por vasos de maior diâmetro no lenho inicial e linhas de parênquima axial marginal; anel semi-poroso, placas de perfuração simples; pontoações intervasculares areoladas e alternas; pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares; parênquima axial em linhas marginais de uma a três células de largura, paratraqueal aliforme losangular e confluente curto e longo, e difuso; parênquima radial heterogêneo e

[1] Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

[2] Divisão de Dasonomia. Instituto Florestal, São Paulo, SP, Brasil.

*Autor para correspondência: carol_caum@hotmail.com

multisseriado; presença de cristais prismáticos em células do parênquima radial. Quanto às características quantitativas, as diferenças significativas foram encontradas em: diâmetro dos vasos, diâmetro das fibras, diâmetro do lume das fibras, número de vasos por grupo e quantidade de parênquima por mm^2. As médias do diâmetro dos vasos, diâmetro das fibras, diâmetro do lume das fibras e quantidade de parênquima por mm^2 foram significantemente maiores em Piracicaba, e o número de vasos por grupo foi significativamente maior em Bauru. A presença de vasos geniculados, menor diâmetro de vasos e maior número de vasos por grupo na procedência de Bauru sugerem maior segurança hídrica no lenho dessas árvores e, possivelmente as informações genéticas do local de origem da semente estejam relacionadas a estas variações. As variações encontradas na estrutura anatômica do lenho das duas procedências de *C. trichotoma*, como a presença de vasos geniculados e as diferenças anatômicas quantitativas, mostram as diferenças estruturais no lenho de procedências distintas de mesma espécie sob às mesmas condições ambientais.

Palavras–chave: anatomia da madeira; louro-pardo; diferentes procedências de sementes.

SUMMARY

Wood anatomical structure is the result of the influence of environmental and genetic factors. *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud (Boraginaceae) is widely spread and it has an importance paper in reforestation of degraded areas in Brazil. This study aimed to analyze the wood anatomical features of *C. trichotoma* from trees that had been grown in the same area (Luiz Antônio) with seeds of two provenances: Bauru and Piracicaba. We collected twelve discs of *C. trichotoma* (six discs each origin) that grew at the Experimental Station of Luiz Antônio, SP. For microscopic analysis histological sections (cross, tangential longitudinal and radial longitudinal) were obtained and permanent histological slides were made. Woody fragments were dissociated and with it slides were made. The qualitative and quantitative anatomical features were analyzed. Qualitatively, there was difference between the provenances with respect the presence of geniculate vessel, found only in Bauru. Quantitatively, there were significant differences between the two provenances when comparing vessel diameter, fiber diameter, lumen diameter, vessel grouping and area of parênquima.mm^{-2}. Vessel diameter, fiber diameter, lumen diameter of the fibers and parenchyma area per mm^2 was significantly higher in Piracicaba, since the number of vessels per group was significantly higher in Bauru. The presence of geniculate vessels, smaller diameter vessels and a larger number of vessels per group in the origin of Bauru suggest greater water security in the wood of these trees and possibly genetic information of the place of origin of the seed are related to these variations. Both wood is characterized by: growth rings marked by larger diameter vessels in earlywood and lines of marginal axial parenchyma; semi-ring-porous, simple perforation plates; alternate and bordered intervascular pits; ray pits similar to intervascular pits; marginal and aliform confluent axial parenchyma and diffuse; rays are multiseriate and heterogeneous; presence of prismatic crystals in cells of the parenchyma. The different variations found in the wood anatomical structure of the two provenances of *C. trichotoma*, as the presence of geniculate vessels and quantitative anatomical differences help to understand the structural changes in the origin of wood of the same species, in response to the same environmental conditions. Thus, knowledge of the genetic material for future uses of this species is important for the best quality wood.

Key-words: wood anatomy; louro-pardo; different provenances of seeds.

INTRODUÇÃO

Durante o crescimento e desenvolvimento, as plantas têm sua estrutura anatômica influenciada pela genética e pelos fatores ambientais, tais como, precipitação, temperatura, disponibilidade de água no solo e fatores geográficos (Klaassen 1999). Enquanto algumas características da madeira respondem às variações ambientais (Pratt *et al.* 2007), outras características possuem uma alta herdabilidade genética e baixa plasticidade fenotípica e independem das condições ambientais que em estão inseridas (Cornelius 1994).

Pesquisas realizadas em anatomia comparada da madeira comprovam que as plantas respondem em diferentes níveis aos fatores ambientais e que a madeira apresenta fenótipos variados em resposta a esses fatores (Carlquist 1988; Baas 1982; Barajas-Morales 1985). Diversas espécies podem apresentar um mesmo padrão anatômico quando submetidas aos mesmos fatores ambientais limitantes (Baas 1982; Baas & Schweingruber 1987), entretanto elas também podem apresentar mudanças estruturais em função das variações contrastantes dos locais em que estão situadas (Baas 1982; Roig 1986).

Baas (1973) atesta que nem sempre é possível saber se uma diferença na estrutura da madeira que está sendo analisada representa uma modificação instável ou se as modificações correspondem às diferenças genéticas da planta. Entretanto, é possível afirmar que o clima, juntamente com a genética da espécie, tem peso maior na estrutura do xilema (Metcalfe & Chalk 1950; Baas 1973; Gomes & Muñiz 1986).

Trabalhos comparando uma mesma espécie têm demonstrado que as variações ambientais refletem nas variações estruturais do lenho da madeira, principalmente quanto às dimensões dos elementos celulares como: diâmetro, comprimento e frequência dos vasos; espessura da parede celular e comprimento de fibras; e altura e largura dos raios (Baas *et al*. 1983; Carlquist & Hoekman 1985; Baas & Schweingruber 1987; Klaassen 1999; Dickison 2000; Alves & Angyalossy-Alfonso 2000; 2002; Marcati *et al.* 2001; Luchi 2004; 2005; Denardi & Marchiori 2005; Barros *et al.* 2006).

Estudos que comparam a anatomia da madeira de árvores de um mesmo local, mas oriundas de sementes de procedências distintas, têm demonstrado que algumas das características anatômicas são conservadas geneticamente pelas procedências, e outras são modificadas pelo ambiente (Lima *et al.* 2011 a, b; Longui *et al.* 2011).

Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. *ex* Steud. (Boraginaceae) é uma espécie conhecida comumente por louro-pardo, e tem ampla distribuição geográfica, ocorrendo desde o

nordeste até o sul do Brasil, no nordeste da Argentina, leste do Paraguai e sul da Bolívia (Reitz *et al*. 1988; Carvalho 2003). Tem importância em reflorestamentos heterogêneos destinados à recomposição de áreas degradas (Lorenzi 1998).

A madeira de *C. trichotoma* é amplamente empregada na confecção de mobiliário, para revestimentos decorativos e na fabricação de portas e janelas (Lorenzi 1998). Sua utilização em tornearia permite obter valiosas peças, como também em esculturas. Na construção naval encontra importantes aplicações nos interiores e estrutura sobre a linha de flutuação (Lorenzi 1998). A árvore também apresenta qualidades ornamentais e pode ser utilizada no paisagismo em geral (Lorenzi 1998).

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar comparativamente a anatomia da madeira de árvores adultas de *Cordia trichotoma* plantadas em mesmo local, provenientes de sementes de duas procedências distintas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram abatidas doze árvores adultas de um plantio de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. *ex* Steud. (Boraginaceae) oriundas de sementes de duas localidades distintas (Bauru e Piracicaba) e plantadas em um mesmo local (Estação Experimental de Luiz Antônio, SP). A cidade de Luiz Antônio, SP possui precipitação média anual de 1.280 mm e, segundo a classificação de Köeppen (1948), o clima é tropical (Cwa) e inverno seco, com temperatura média anual de 22,7º C (INMET, 2012- Figura 13), e o solo da área de coleta é do tipo Latossolo Roxo.

O solo da área de estudo foi coletado nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm em coletas ao acaso e encaminhado ao Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP/Botucatu, SP que realizou as análises de acordo com Raij *et al.* (2001) (Tabela 2).

Tabela 2. Características físico-químicas do solo da área de estudo. Kg = quilogramas; pH = potencial hidrogeniônico; M.O. = matéria origânica; P_{resina} = fósforo; Al^{3+} = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V% = saturação de bases; $CaCl_2$ = cloreto de cálcio; g/dm^3 = grama por decímetro cúbico; mmg/dm^3 = miligrama por decímetro cúbico; $Mmol_c/dm^3$ = milimol de carga por decímetro cúbico.

Física											
Profundidade do solo coletado		Total (Kg)		Argila			Silte			Textura do solo	
0-20 cm		559		265			176			Média	
20-40 cm		605		277			118			Média	
Química											
	pH $CaCl_2$	M.O. g/dm^3	P_{resina} mg/dm^3	Al^{3+} $mmol_c/dm^3$	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
0-20 cm	5,8	44	36	0	27	5,7	109	24	139	166	83
20-40 cm	5,5	22	10	0	30	2,4	73	14	89	119	75
Micronutriente											
	Boro		Cobre		Ferro		Manganês		Zinco		
0-20 cm	0,22		6,8		50		56,6		4,1		
20-40 cm	0,12		6,7		48		61,5		1,8		

Com relação aos municípios de coleta das sementes, Bauru tem como bioma predominante o cerrado (Cavassan 2006) e, segundo a classificação de Köeppen (1948), o clima é tropical de altitude (Cwa) e inverno seco, com temperatura média anual 22,6 °C. A precipitação anual é de 1.170 mm (Banco de Dados, Embrapa 2013). As médias mensais de precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura estão apresentados no diagrama climático (Figura 14). Piracicaba tem como vegetação original e predominante a Mata Atlântica (principalmente Florestal Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual), (Rodrigues 1999) e, segundo a classificação de Köeppen (1948), o clima é do tipo Cwa, com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média anual de 23,9°C, tendo invernos secos e amenos e verões chuvosos com temperaturas moderadamente altas. A precipitação anual é de 1.230mm (Banco de Dados, Embrapa 2013). As médias mensais de precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura estão apresentados no diagrama climático (Figura 15).

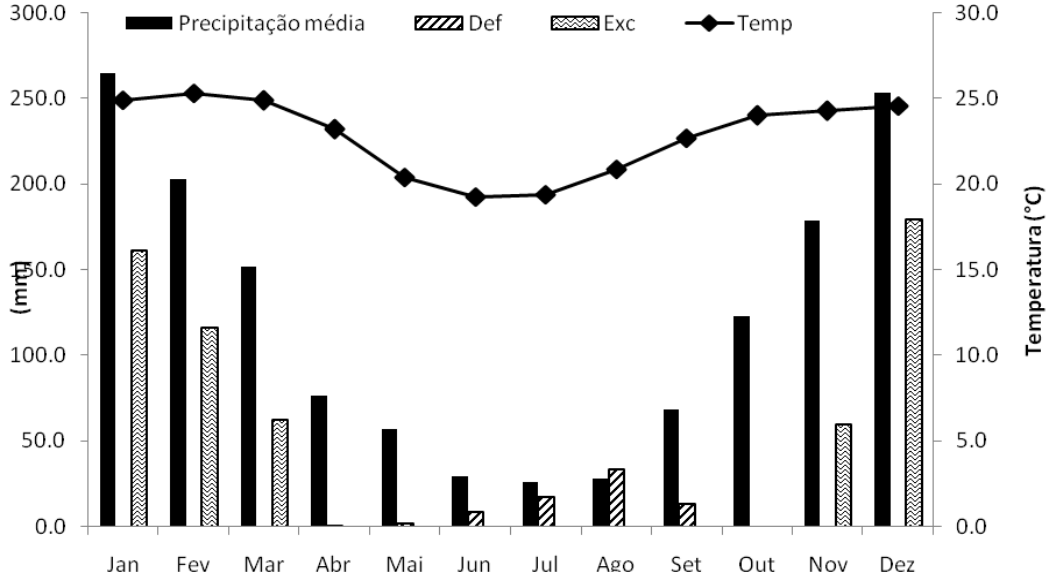


Figura 13. Diagrama climático geral da cidade de Luiz Antônio apresentando a média mensal da precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura média da cidade (INMET, 2012).

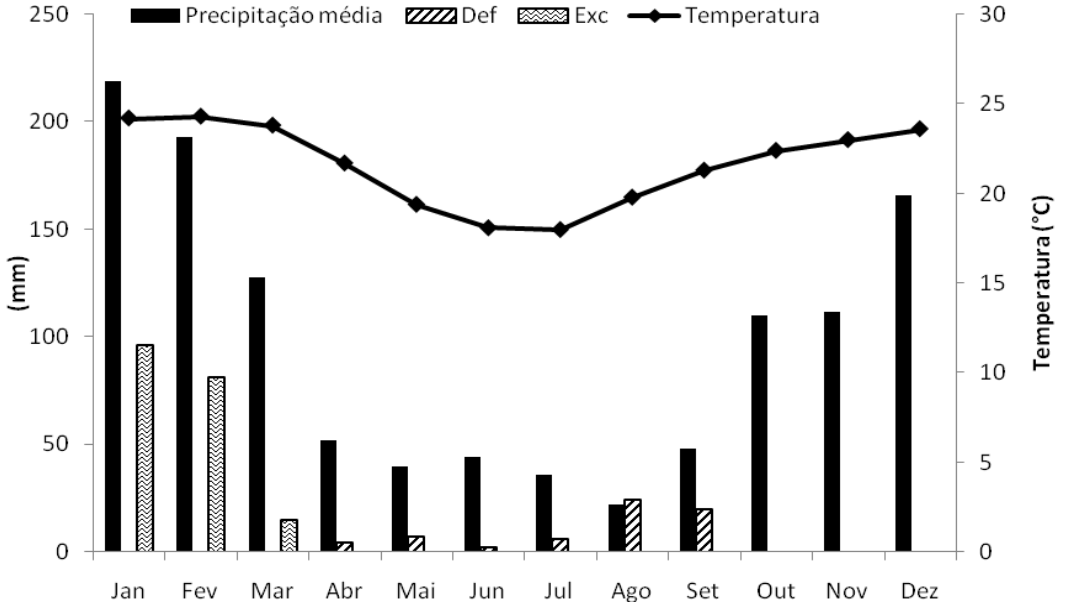


Figura 14. Diagrama climático geral da cidade de Bauru apresentando a média mensal da precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura média da cidade entre 1941 – 1970 (Banco de Dados, Embrapa, 2013).

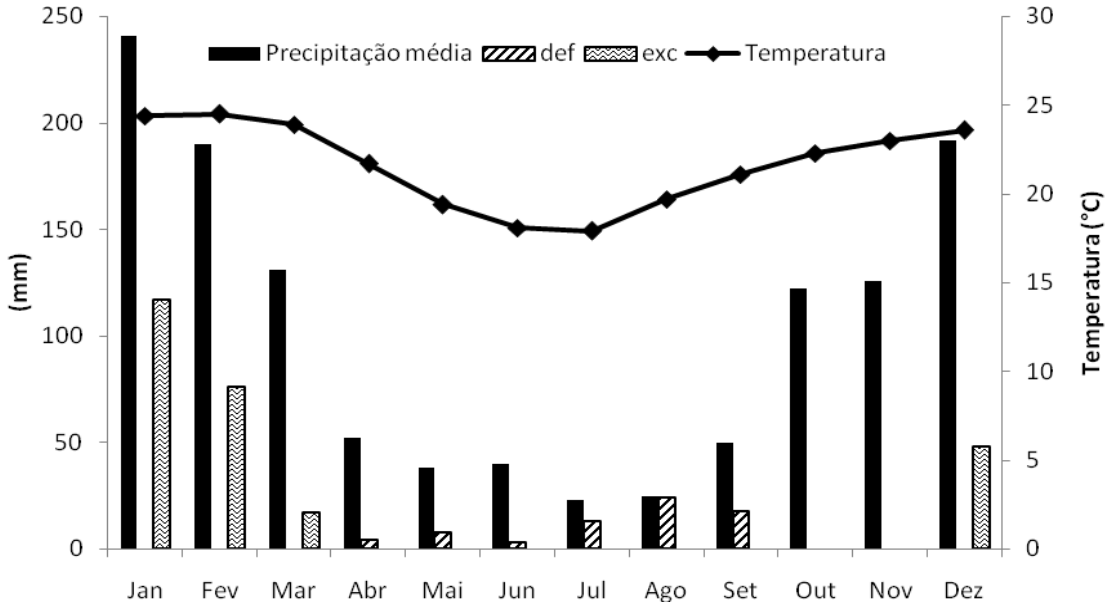


Figura 15. Diagrama climático geral da cidade de Piracicaba apresentando a média mensal da precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura média da cidade entre 1918 – 1998 (Banco de Dados, Embrapa, 2013).

Para o estudo foram utilizadas seis árvores de cada procedência abatidas em maio de 2011. Discos à altura do peito (1,30 m do solo) com espessura de aproximadamente 3 cm foram retirados de cada das árvores. Para as análises anatômicas, cortes transversais, longitudinais tangenciais e radiais foram obtidos com o auxílio de um micrótomo de deslize, com cerca de 15 µm de espessura, segundo as técnicas de Johansen (1940). Os cortes histológicos foram clarificados com hipoclorito de sódio 50%, em seguida lavados em água acética 1% e corados com safranina aquosa 1% (Bukatsch 1972) e azul de astra 1 % (Roeser 1972), para o contraste das estruturas celulares. Após a coloração, os cortes foram desidratados em série gradual de concentração de alcoóis. A fixação do corante foi feita com acetato de butila e as lâminas foram montadas permanentemente com Entellan®. Dissociação dos elementos celulares foi realizada pelo método de Franklin (1945, modificado por Kraus & Arduim 1997).

As análises qualitativas e quantitativas para a caracterização do xilema secundário foram realizadas segundo as normas propostas pelo IAWA Committee (1989). O número de vasos por grupo analisados no presente estudo foi analisado segundo a descrição e recomendação de Carlquist (2001). A análise de área de parênquima por mm^2 foi realizada medindo a área de parênquima axial nas duas procedências em quadrado de 1 mm^2 com o com auxílio do programa Axiovision®. Os dados quantitativos foram obtidos com auxílio

de um sistema de análises de imagens, programa Axiovision®, capturadas por câmera acoplada em um microscópio de luz da Zeiss®, e transferidos para o programa Microsoft Office Excel para serem efetuados os cálculos de média e desvio padrão para cada um dos parâmetros analisados em cada procedência. O teste F foi realizado para observar se as médias se diferiram estatisticamente entre as procedências.

RESULTADOS

Qualitativamente o lenho de *Cordia trichotoma* foi diferente somente quanto à presença de vasos geniculados que foram encontrados na procedência de Bauru. As outras características qualitativas apresentaram-se similares entre os indivíduos analisados, como segue.

Anéis de crescimento presentes, demarcados linhas de parênquima axial marginal e anel semi-poroso (Fig. 16A, B). Tendência a arranjo tangencial dos vasos maiores, vasos predominantemente solitários (60% de vasos solitários e 40% múltiplos), média de 13 vasos/mm^2, alguns vasos com agrupamentos racemiformes (Fig.16A). Placas de perfuração simples (Fig. 16D), pontoações intervasculares areoladas alternas (Fig. 16E) e pontoações raio-vasculares semelhantes à intervasculares. Presença de tilos e elementos de vaso com e sem apêndices, podendo ocorrer em uma ou ambas as extremidades (Fig. 16K). Presença de vasos geniculados somente na procedência de Bauru (Fig. 16C). Fibras com paredes predominantemente espessas e com pontoações diminutas nas duas paredes. Parênquima axial em linhas marginais, paratraqueal aliforme losangular e confluente curto e longo, e difuso (Fig. 16B). Raios predominantemente heterogêneos (Fig. 16H, I) e multisseriados (Fig. 16F, G). Dois tipos de raio foram observados, (i) corpo central constituído por células procumbentes e de 2-4 camadas células eretas e/ou quadradas nas margens (Fig. 16I), (ii) uma mistura de células procumbentes, eretas e quadradas através do raio (Fig. 16H). Presença de células envolventes de raio (Fig. 16F). Grãos de amido em células do parênquima axial e radial. Cristais prismáticos formando séries cristalíferas no parênquima radial (Fig. 16J).

Os resultados quantitativos estão apresentados na Tabela 3A, 3B e 3C. Estatisticamente houve diferença significativa em diâmetro de vasos, diâmetro de fibras, diâmetro do lume das fibras, área do parênquima por mm^2 e número de vasos por grupo (Tabela 4).

Tabela 3A - Características anatômicas quantitativas (média ± desvio padrão) do lenho das procedências de Bauru (B) e Piracicaba (P). **B** (1 a 6) número de repetições da procedência de Bauru. **P** (1 a 6) número de repetições da procedência de Piracicaba.

	VASOS			**FIBRAS**			**RAIOS**		**DIÂMETRO DAS PONTOAÇÕES**	
Indivíduos	Comprimento do elemento (μm)	Diâmetro (μm)	Frequência (nº/mm²)	Comprimento (μm)	Diâmetro (μm)	Espessura de parede (μm)	Altura (μm)	Frequência (nº/mm)	Intervasculares (μm)	Raiovasculares (μm)
B1	408.41 ± 70.92	118.89 ± 26.11	15.70 ± 6.12	1751.58 ± 338.10	21.49 ± 2.88	14.96 ± 1.77	749.08 ± 346.75	4.00 ± 0.63	6.00 ± 0.93	5.07 ± 0.50
B2	293.35 ± 46.84	125.78 ± 37.42	11.87 ± 3.08	1559.73 ± 486.68	21.60 ± 2.60	13.37 ± 1.89	816.50 ± 305.94	3.80 ± 0.63	5.90 ± 0.49	5.66 ± 0.64
B3	288.64 ± 45.98	115.85 ± 35.50	17.63 ± 4.04	1777.73 ± 386.65	20.95 ± 4.23	13.29 ± 2.21	659.58 ± 255.65	4.20 ± 0.79	5.56 ± 0.53	4.37 ± 0.46
B4	312.92 ± 46.88	108.07 ± 30.34	13.93 ± 7.94	1736.16 ± 318.59	23.26 ± 2.99	12.35 ± 1.82	624.76 ± 249.26	3.60 ± 0.52	6.66 ± 0.54	4.68 ± 0.45
B5	300.06 ± 46.21	100.72 ± 24.40	11.40 ± 4.58	1491.44 ± 319.96	23.06 ± 3.88	15.56 ± 2.20	469.85 ± 198.91	3.40 ± 0.70	6.17 ± 1.12	5.09 ± 0.55
B6	360.37 ± 74.49	118.54 ± 31.03	11.40 ± 4.58	1777.53 ± 417.16	19.35 ± 3.67	12.24 ± 2.09	704.59 ± 235.92	3.70 ± 0.82	6.07 ± 0.45	4.93 ± 0.64
P1	324.56 ± 86.44	125.35 ± 33.53	10.27 ± 3.53	1469.21 ± 327.08	24.72 ± 3.08	13.00 ± 2.60	720.52 ± 203.95	3.60 ± 0.70	6.18 ± 0.43	4.27 ± 0.70
P2	325.74 ± 68.90	125.16 ± 52.47	11.20 ± 3.69	1527.57 ± 259.78	25.11 ± 3.09	14.62 ± 2.27	455.02 ± 175.80	3.00 ± 0.82	5.47 ± 0.83	5.02 ± 0.93
P3	342.24 ± 74.14	126.05 ± 43.41	16.77 ± 13.71	1891.48 ± 240.51	25.30 ± 3.85	13.87 ± 2.65	774.63 ± 302.39	3.40 ± 0.52	4.76 ± 0.66	4.96 ± 0.95
P4	312.56 ± 84.11	125.62 ± 46.13	16.60 ± 6.72	1800.99 ± 398.01	24.03 ± 3.91	14.20 ± 2.07	694.03 ± 378.63	3.90 ± 0.57	5.43 ± 0.45	5.23 ± 0.74
P5	247.08 ± 65.70	132.39 ± 51.89	12.07 ± 7.25	1360.73 ± 394.32	22.16 ± 2.89	13.88 ± 2.49	765.11 ± 368.23	3.50 ± 0.53	4.66 ± 0.44	4.92 ± 0.76
P6	254.23 ± 68.72	133.43 ± 53.59	13.47 ± 6.36	1470.34 ± 356.67	24.62 ± 3.61	14.07 ± 2.24	775.01 ± 389.48	3.30 ± 0.48	4.98 ± 0.54	4.90 ± 0.62

Tabela 3B - Média de vasos por grupo de cada procedência de *C. trichotoma* Bauru (B) e Piracicaba (P), e a média final (M).

B1	1.4	P1	1.2
B2	1.4	P2	1.2
B3	1.3	P3	1.1
B4	1.5	P4	1.2
B5	1.4	P5	1.3
B6	1.4	P6	1.0
M	**1.4**	**M**	**1.2**

Tabela 3C - Média da área do parênquima axial por mm^2 de cada procedência de *C. trichotoma* Bauru (B) e Piracicaba (P), e a média final (M).

B1	0.2194	P1	0.3140
B2	0.2083	P2	0.3838
B3	0.2851	P3	0.3227
B4	0.1969	P4	0.2144
B5	0.1749	P5	0.2679
B6	0.1028	P6	0.2796
M	**0.1979**	**M**	**0.2971**

Tabela 4 - Análise estatística (Teste F) para o lenho das duas procedências de *Cordia trichotoma* ($p<0,05$).

Variável	**Procedências (médias)**		**F**	**p-valor**
	Bauru	**Piracicaba**		
Comprimento de Vaso (μm)	327.30	311.16	0.47	0.510
Diâmetro de Vaso (μm)	114.64	128.14	10.49	**0.009***
Frequência de Vaso (nº/mm²)	13.66	13.22	0.09	0.769
Comprimento de Fibra (μm)	1682.36	1598.10	0.74	0.408
Diâmetro de Fibra (μm)	20.51	24.28	8.04	**0.018***
Diâmetro de Lume de Fibra (μm)	7.95	10.61	8.91	**0.014***
Espessura da Parede (μm)	6.82	6.83	0.00	0.975
Diâmetro das Pontoações Intervasculares (μm)	6.06	5.53	3.27	0.100
Diâmetro das Pontoações Raiovasculares (μm)	4.97	4.97	0.00	0.988
Altura de Raio (μm)	670.73	642.74	0.12	0.734
Frequência de Raio (nº/mm)	3.78	3.30	4.87	0.052
Vasos por grupo	1.4	1.2	19.83	**0.001***
Área de parênquima	0.1979	0.2971	8.63	**0.015***

*= dados significativos a 5%.

DISCUSSÃO

As características anatômicas qualitativas encontradas no lenho de *C. trichotoma*, de uma forma geral, não variaram entre as duas procedências e concordam com os resultados obtidos por Amano (2002) que estudou a mesma espécie no município de São Paulo. Estas características são: anéis de crescimento demarcados por linhas marginais de parênquima e anéis semi-porosos, vasos predominantemente solitários, placas de perfuração simples, pontoações intervasculares areoladas alternas, pontoações raio-vasculares semelhantes às intervasculares, presença de tilos, fibras com paredes predominantemente espessas e pontoações diminutas, parênquima axial em linhas marginais, paratraqueal aliforme losangular e confluente curto a longo, e apotraqueal difuso, raios heterogêneos e multisseriados, cristais prismáticos no parênquima radial e amido nas células do parênquima axial e radial. Outras espécies estudadas gênero *Cordia* também apresentaram essas mesmas características (ver Rebollar *et al.* 1994; Willians & Léon 2003; Schöning & Bandel 2004).

A única variação qualitativa encontrada entre as procedências foi a presença de vasos geniculados observados somente na procedência de Bauru. Vasos geniculados são vasos que desviam em relação a sua orientação axial, formando um ângulo de 90° (Amano 2002). A presença desse tipo de vaso na madeira de *C. trichotoma* também foi observada por Amano (2002) e no mesmo gênero por Willians e Léon (2003). Segundo Mattos-Filho (1971), a ocorrência de vasos geniculados está relacionada à ambientes com clima estacionalmente mais secos.

Quantitativamente, diferença significativa ocorreu no diâmetro de vasos, diâmetro das fibras, diâmetro do lume das fibras e na área do parênquima/mm^2, com valores menores na procedência de Bauru, e maior número de vasos por grupo na mesma procedência. Essas diferenças possivelmente estejam relacionadas às informações genéticas do local de origem. Na análise dos diagramas climáticos (Figuras 14 e 15), há pouca variação entre a temperatura e a precipitação quando comparados os dados dos dois municípios de coleta das sementes. Entretanto, os dois locais são bem diferentes. A vegetação predominante no município de Piracicaba é a Mata Atlântica, com solos argilosos (Rodrigues 1999), enquanto que a vegetação predominante no município de Bauru é o Cerrado (Cavassan 2006) e os solos são ácidos, arenosos, profundos e bem

drenados, são distróficos e contêm altos níveis de alumínio solúvel (Haridasan 2000; Franco 2002).

Vasos com diâmetro menor e maior número de vasos por grupo representam maior segurança na condução hídrica, pois é menor o risco de aparecimento de bolhas (ver Baas *et al.* 1983; Dickison 2000; Carlquist 2001). A presença dessas características e também a de vasos geniculados sugerem que o lenho do caule das árvores cujas sementes foram coletadas em Bauru seja mais seguro devido às características anatômicas herdadas das plantas mãe. As características dos solos de Bauru indicam condições hídricas mais restritivas do que as de Piracicaba, o que sugere influencia do local de origem da semente.

Para o diâmetro das fibras e diâmetro do lume das fibras observou-se maiores médias na procedência de Piracicaba. Estudos realizados com outras espécies por Yamamoto *et al*. (1995) e Luchi (2004) demonstraram maiores médias para diâmetro das fibras e diâmetro do lume das fibras relacionadas a ambiente mais úmido. Com estes relatos, fica ainda mais evidente que a procedência de Bauru, com valores menores nestas características, possa ser de ambiente com maior restrição hídrica, evidenciado mais uma vez que a origem da semente está influenciando as características anatômicas da planta.

A média de quantificação de área de parênquima por mm^2 de cada procedência foi significantemente maior para a procedência de Piracicaba e, observou-se que a maioria do parênquima axial estava associada aos vasos. Carlquist (2001) chama atenção que a maior quantidade de parênquima paratraqueal vasicêntrico e aliforme em transição com o confluente é uma adaptação da espécie a eficiência hídrica. Com essa informação, fica mais uma vez caracterizado que a procedência de Bauru, com menor quantidade de parênquima por área, sugere maior segurança hídrica no lenho de suas plantas.

Contudo, os resultados encontrados para a presença de vasos geniculados, o menor diâmetro de vasos e o maior número de vasos por grupo na procedência de Bauru sugerem maior segurança hídrica no lenho dessas árvores e, possivelmente as informações genéticas do local de origem da semente estejam relacionadas a estas variações. As diferenças nas características anatômicas encontradas entre as duas procedências de *C. trichotoma* podem estar relacionadas às informações genéticas herdadas da planta mãe. Entretanto, informações mais específicas do local exato de coleta das sementes das duas procedências, como o tipo de solo e o clima, seriam necessários para entender melhor a conservação de algumas das características genéticas da madeira. Portanto, fica evidente que para a

obtenção de melhor qualidade da madeira, o conhecimento do material genético é extremamente importante.

Figura 16 A – E: Características do xilema secundário de *Cordia trichotoma*. **A e B.** Secção transversal do lenho de *C. trichotoma* mostrando características anatômicas relacionada aos anéis de crescimento, vasos e parênquima. **A.** Secção transversal da procedência de Piracicaba indicando o limite do anel de crescimento em linhas marginais de parênquima com vasos pequenos no fim e vasos grandes no início do anel (seta branca) e a formação de cachos 'clusters' (seta amarela). **B.** Secção transversal da procedência de Bauru indicando o limite do anel de crescimento em linhas marginais de parênquima (seta branca), parênquima paratraqueal aliforme losangular e confluente curto e longo, e difuso (setas amarelas). **C.** Secção longitudinal tangencial da procedência de Bauru mostrando a presença de um vaso geniculado (seta). **D.** Secção longitudinal radial da procedência de Bauru mostrando placa de perfuração simples (seta). **E.** Secção longitudinal tangencial da procedência de Bauru mostrando pontoações intervasculares areoladas alternas (seta).
Barras: A,B: 500µm; **C:** 100µm; **D, E:** 20µm.

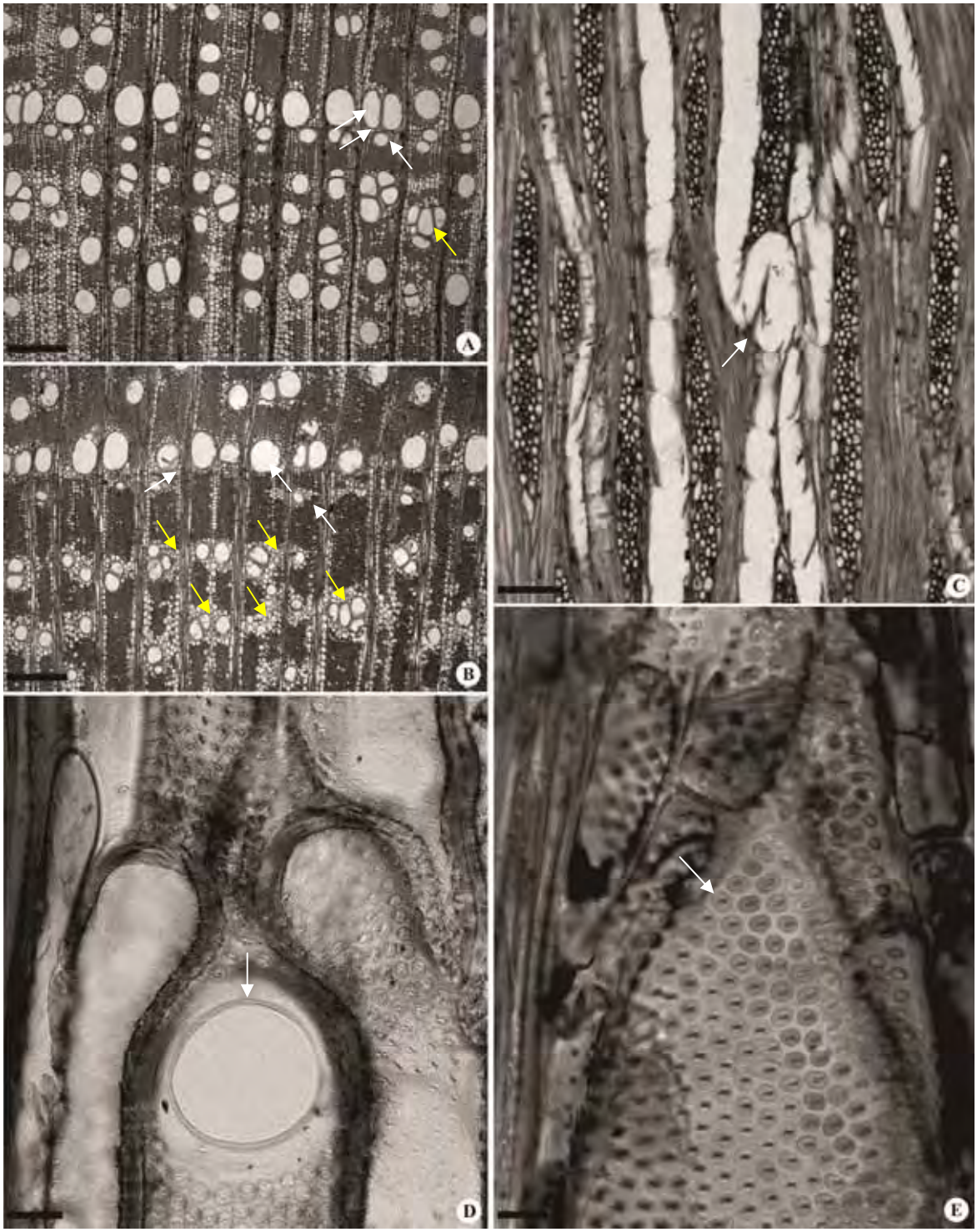
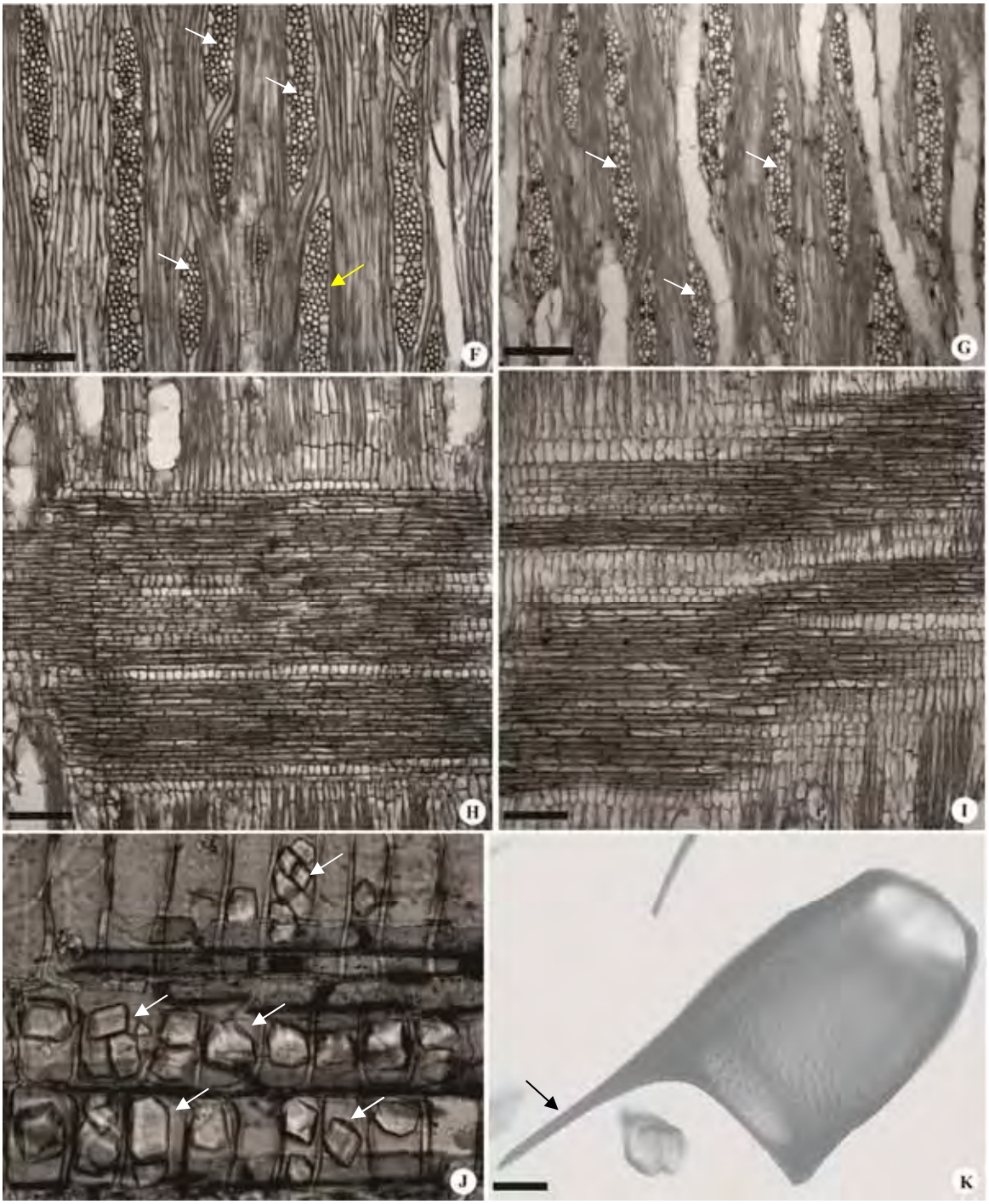

A
B
C
D
E

Figura 16 F-K: Características do xilema secundário de *Cordia trichotoma*. **F.** Secção longitudinal tangencial da procedência de Piracicaba os raios multisseriados (setas brancas) e a célula envolvente do raio (seta amarela). **G.** Secção longitudinal tangencial da procedência de Bauru os raios multisseriados (setas brancas). **H.** Secção longitudinal radial da procedência de Piracicaba mostrando raio composto por células eretas, quadradas e procumbentes. **I.** Secção longitudinal radial da procedência de Piracicaba mostrando raio composto por células eretas e/ou quadradas nas margens e células procumbentes no corpo. **J.** Secção longitudinal radial da procedência de Bauru com a presença de cristais prismáticos (setas). **K.** Elemento de vaso com apêndices (seta) em uma das extremidades.
Barras: F,G: 100µm; **H,I:** 200µm; **J,K:** 50µm.


F
G
H
I
J
K

AGRADECIMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora, à Liliane Catarina Pereira pelo auxílio no laboratório e a Engenheira Florestal Rafaela Prosdocini Parmeggiani pela ajuda nas análises anatômicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, E. S.; Angyalossy-Alfonso, V. 2000. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian Species. 1. Growth rings and vessels. IAWA Journal 2: 3-30.

Alves, E.S.; Angyalossy-Alfonso, V. 2002. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. IAWA Journal 23: 391-418.

Amano, E. 2002. *Cordia trichotoma*, Boraginaceae: caracterização e sazonalidade na formação do xilema e do floema. Dissertação (Mestrado em Ciências, área Botânica). Universidade de São Paulo, São Paulo. 87 p.

Bass, P. 1982. Systematic, phylogenetic, and ecological wood anatomy – History and perspectives. *In*: New perspectives in wood anatomy (Pieter Bass ed.). Martinus Nijhoff Publishers, The Hague.

Baas, P. 1973. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliacea) and its ecological and phylogenetic significance. Blumea, 21:193-258.

Baas, P.; Schweingruber, F. H. 1987. Ecological trends in the wood anatomy of trees, shrubs and climbers from Europe. IAWA Bulletin 8: 245-274.

Baas, P.; Wheeler, E.; Fahn, A. 1983. Some ecological trends in vessel characters. IAWA Bulletin 4: 141-159.

Banco de Dados Climáticos, Embrapa. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/>. Acesso em 03 de junho de 2013.

Barajas-Morales, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. IAWA Bulletin 6: 355-365.

Barros, C. F.; Marcon-Ferreira, M. L.; Callado, C.H.; Lima, H. R. P.; Da Cunha, M.; Marquete, O.; Costa, C.G. 2006. Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da Reserva Biológica de Poço das Antas. Rodriguésia, 57: 443–460.

Bukatsch, F. 1972. Bermerkungen zur Doppelfälbung Astrablau-Safranin. Mikrokosmos. 61: 255.

Carlquist, S. 1988. Comparative wood anatomy – systematic ecological and evolutionary aspects of dicotilidonean wood. Springer Verlag: Berlin.

Carlquist, S. 2001. Comparative wood anatomy – systematic ecological and evolutionary aspects of dicotilidonean wood. Springer Verlag: Berlin.

Carlquist, S.; Hoekman, D. A. 1985. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. IAWA Bulletin 6: 319-347.

Carvalho, P. E. R. 2003. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica 1: 1039 p.

Cavassan, O.; Pinheiro da Silva, P. G.; Seniciato, T. 2006. O Ensino de Ciências, a Biodiversidade e o Cerrado. In: Araújo, E. S. N. N.; Caluzi, J. J.; Caldeira, A. M. A. (Orgs.). *Divulgação Científica e Ensino de Ciências: Estudos e Experiências*. São Paulo - SP, 2006. Referências adicionais: Brasil/Português; Meio de divulgação: Impresso; ISBN: 8575312383.

Cornelius, J. 1994. Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in Forest trees. Canadian Journal of Ecological Applications 16: 2356-2367.

Dickison, W. C. 2000. Integrative Plant Anatomy. Harcourt Academic Press, San Diego. 533p.

Denardi, L.; Marchiori, J. N. C. 2005. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (H. B. K.) Berg. Ciência Florestal, 15(2): 119-127.

Franco, A.C. Ecophysiology of woody plants. 2002. In: The cerrados of Brazil (P.S. Oliveira & R.J. Marquis, eds.). Columbia University Press, New York, p.178-197.

Franklin, G. L. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resins composites, and a new macerating method for wood. Nature 155: 51.

Gomes, A.V.; Muñiz, G.I.B. 1986. Wood structure and ultrastructure of *Prosopis caldenia, P. chilensis* and *P. juliflora* and influense of ecological. Prosopis International Conference, FAO.

Haridasan, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. 2000. Rev. Bras. Fisiol. Veg., 12: 54-64.

IAWA COMMITTEE (International Association of Wood Anatomists Committee). 1989. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin 10: 219-332.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) – Estação Meteorológica de São Simão/SP, Rede de Dados, 2012.

Johansen, S. A. 1940. Plant microtechnique. Mcgraw_Hill Book Co, New York.

Klaassen, R. 1999. Wood anatomy of the Sapindaceae. IAWA Journal, Supplement 2. 214p.

Kraus, J. E.; Arduin, M. 1997. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Rio de Janeiro: EDUR. 198p.

Lima, I. L; Longui, E. L.; Gracia, M. F.; Zanatto, A. C. S.; Freitas, M. L. M.; Florsheim, S. M. B. 2011a. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. Cerne, 17 (4): 517-524.

Lima, I. L; Mastelin, S. M.; Longui, E. L.; Freitas, M. L. M.; Romeiro, D.; Zanatto, A. C. S.; Florsheim, S. M. B. 2011b. Densidade básica e dimensões celulares da madeira de B*alfourodendron riedelianum* em função da procedência e posição radial. Revista Instituto Florestal, 23 (2): 217-230.

Longui, E. L.; Lima, I. L.; Andrade, I. M.; Freitas, M. L. M.; Florsheim, S. M. B; Zanatto, A. C. S; silva júnior, F. G. 2011. Seed provenance influences the wood structure of G*allesia integrifolia*. IAWA Journal, 32(3): 361–374.

Lorenzi, H. 1998. Árvores brasileiras: manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2.ed. São Paulo: Editora Plantarum, 368p.

Luchi, A. E. 2004. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. Revista Brasileira de Botânica 27: 271-280.

Luchi, A. E.; Silva. L. C. P.; Moraes, M. A. 2005. Anatomia comparada do lenho de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. em áreas de cerrado e de plantação de *Pinus elliottii* Engelm. Revista Brasileira de Botânica 28: 809-820.

Marcati, C. R., Angyalossy-Alfonso, V., Benetati, L. 2001. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerradão. Revista Brasileira de Botânica, 24(3): 311-320.

Mattos-Filho, A. 1971. Estudo comparativo entre duas espécies de Leguminosae latescente do cerrado e da caatinga. Rodriguésia 26: 9-23.

Metcalfe, C. R.; Chalk, L. 1950. Anatomy of the dicotyledons. Clarenton Press, Oxford. v. I e II.

Pratt, R. B. 2007. Relationships among xylem transport, biomechanics and storage in stems and roots of nine Rhamnaceae species of the California chaparral. USA: New Phytologist 174: 787-798.

Rebollar, S.; Quintanar, A.; Perez, C. P. 1994. Estudio anatomico de la madera de *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) y *Cordia gerascanthus* (Boraginaceae). Acta Botánica Mexicana 27: 89-97.

Reitz, R.; Klein, R. M.; Reis, A. 1988. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Governo do Estado do RS. 525 p.

Rodrigues, R. R. 1999. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. Circular Técnica IPEF**,** Piracicaba, SP, v. 189.

Roig, F. A. 1986. The Wood of *Adesmia horrida* and its modifications by climatic conditions. IAWA Bulletin 7(2): 129-135.

Roeser, K. R. 1972. Die Nadel der Schwarzkiefer. Massenprodukt und kunstwerk der Natur. Mikrokosmos. 61: 33-36.

Schöning, M.; Bandel, K. 2004. A diverse assemblage of fossil hardwood from the Upper Tertiary (Miocene?) of the Arauco Peninsula, Chile. Journal of South American Earth Sciences 17: 59-71.

Williams, J.; León, H. 2003. Anatomía de la madera de 9 especies del género *Cordia* L. (Boraginaceae-Cordioideae) que crecen en Venezuela. Revista Forestal Venezolana 47(2): 83-94.

Yamamoto, F.; Sakata, T.; Terezawa, K. 1995. Growth, morphology, stem anatomy, and ethylene production in flooded *Alnus japonica* seedlings. IAWA Journal 16: 47-59.

Capítulo II

Análise dos anéis de crescimento do lenho de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (Boraginaceae) e correlação com temperatura e precipitação

CAROLINE CAUM[1*]; EDUARDO LUIZ LONGUI[2] e CARMEN REGINA MARCATI[1]

RESUMO

Os anéis de crescimento no lenho podem ser usados para estudar as variações climáticas do passado, permitindo reconstruções e prognósticos climáticos. A ideia de que as espécies tropicais não produziam ciclos anuais de atividade cambial e consequentemente não formavam anéis anuais de crescimento foi acreditada durante muito tempo, mas atualmente sabe-se que mesmo as espécies tropicais apresentam anéis anuais de crescimento no lenho. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência da precipitação e da temperatura nos anéis de crescimento de *Cordia trichotoma*. A espécie *C. trichotoma* (Vell.) Arráb. *ex* Steud (Boraginaceae) possui ampla distribuição geográfica e tem grande importância em reflorestamentos heterogêneos destinados à recomposição de áreas degradadas no Brasil. Foram coletados discos de doze árvores da espécie com 25 anos, que cresceram na Estação Experimental de Luiz Antônio, SP. Os discos de madeira tiveram suas secções transversais polidas manualmente em uma série de lixas e os limites dos anéis de crescimento foram marcados com o auxílio de estereomicroscópio. A medição da largura dos anéis de crescimento foi feita com auxílio do software de análises de imagem Image-Pro-Plus. Para verificação da qualidade e correção dos dados realizou-se a datação cruzada das mensurações com o auxílio do software livre COFECHA; a largura dos anéis foi transformada em séries permitindo a sincronização e melhor interpretação dos dados. Após a sincronização, os dados foram analisados com uso do software livre ARSTAN, para eliminação das tendências de crescimento e obtenção da cronologia residual e, foi observado que a formação de uma cronologia com os indivíduos de *C. trichotoma* foi possível. As análises com precipitação e temperatura foram realizadas por meio da correlação de Pearson através do Microsoft Office Excel. Assim, houve correlação

[1] Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

[2] Divisão de Dasonomia. Instituto Florestal, São Paulo, SP, Brasil

*Autor para correspondência: carol_caum@hotmail.com

significativa e positiva entre as larguras dos anéis de crescimento e a temperatura nos meses de agosto a outubro, época em que a temperatura se encontra mais amena e, uma correlação significativa e negativa entre as larguras dos anéis de crescimento e a precipitação no mês de abril, mês em que os níveis de chuva diminuem bruscamente.

Palavras-chave: anéis de crescimento; temperatura; precipitação; louro-pardo.

SUMMARY

Growth rings can be used to study climate changes of the past years. The idea that tropical species do not produce annual cycles of cambial activity and therefore, it did not form annual growth rings was believed for a long time, but now it is known that even tropical species have annual growth rings in the wood. The aim of this study was to analyze the influence of precipitation and temperature in growth rings of *Cordia trichotoma*. The species *C. trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud (Boraginaceae) is widely spread and has great importance in reforestation of degraded areas in Brazil. Twelve discs of 25 years were collected, who grew up in the Experimental Station of Luiz Antônio, SP, and whose seeds were collected from two natural populations from different locations: Bauru and Piracicaba, six discs of each provenance. The discs had their cross sections polished manually on a series of sandpaper. The limits of growth rings were marked with the stereomicroscope. The measurement of the growth rings width was achieved using the software Image-Pro Plus. To check the quality and accuracy of the data held on the cross-dating measurements was used free software COFECHA, and the rings width was transformed into series allowing synchronization and better interpretation of the data. After synchronization, the data were analyzed with the use free software ARSTAN for disposal of the growing trends and getting the residual chronology, and the formation of a chronology was possible in *C. trichotoma*. Analyses with precipitation and temperature were performed using Pearson's correlation. There was a significant positive correlation between the temperature and growth rings widths in the months from August to October, at which time the temperature is milder and a negative and significant correlation between the rainfall and growth rings widths in April, the month in which the levels of rainfall decreases (dry month).

Key-words: growth rings, temperature; rainfall; louro-pardo.

INTRODUÇÃO

Durante muito tempo acreditou-se na ideia de que nas regiões tropicais as variações climáticas não seriam bem definidas e regulares como nas regiões temperadas para produzir ciclos anuais de atividade cambial (Schweingruber 1996; Worbes 2002). Descrições de anéis de crescimento em espécies arbóreas são baseadas na distinção dos tecidos formados pelo câmbio vascular (Coradin 2000) e, atualmente é consenso de muitos pesquisadores que muitas espécies tropicais apresentam anéis de crescimento distintos e anuais no lenho (Mainieri 1959; Worbes 1989; Devall *et al.* 1995; Alves & Angyalossy-Alfonso 2000; Coradin 2000; Marcati 2000; Callado *et al.* 2001, 2004; Marcati *et al.* 2006; Lisi *et al.* 2008; Soliz-Gamboa *et al.* 2011).

Os anéis de crescimento são uma ótima fonte de informações paleoclimáticas e podem ser usados para reconstruir e compreender climas passados por meio da relação entre o crescimento das árvores, condições climáticas e a sazonalidade (Fritts 1976; Stokes & Smiley 1996). Segundo Tomazello Filho *et al.* (2001), as árvores reagem às variáveis ambientais, como temperatura e a precipitação, que consequentemente influenciam seus inúmeros processos fisiológicos (respiração, fluxo de solutos, transpiração), o que reflete na atividade cambial e na formação dos anéis de crescimento.

Nos últimos anos muita atenção tem sido dada aos estudos das correlações do clima com a largura dos anéis de crescimento para formação de cronologias (Buckley *et al.* 1995; Pumijumnong *et al.* 1995; Stahle *et al.* 1999; Enquist & Leffler 2001). Assim, as variáveis ambientais que afetam o crescimento das árvores são registradas no lenho, através dos anéis de crescimento, que expressam os eventos ocorridos no passado.

Com relação à espécie, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. *ex* Steud. (nome popular louro-pardo), nativa da família Boraginaceae (Carvalho 2003), possui madeira com interessante valor comercial devido a suas propriedades físicas e mecânicas (Mantovani *et al.* 2001), é empregada na confecção de mobiliários, para revestimentos decorativos e na fabricação de portas e janelas (Lorenzi 1998). *C. trichotoma* possui uma ampla ocorrência que abrange o nordeste da Argentina, o leste do Paraguai e o Brasil (Rizzini 1971).

A madeira dessa espécie apresenta anéis de crescimento anuais (Amano 2002), o que a torna conveniente para estudos que abordam correlações dos anéis de crescimento com o clima. Com isso, o objetivo deste estudo foi analisar os anéis de crescimento de *C.*

trichotoma, bem como correlacionar dados climáticos (precipitação e temperatura) com a largura desses anéis.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados discos em maio de 2011 de doze árvores de duas procedências (Bauru e Piracicaba) de *C. trichotoma* (Tabela 5) que cresceram na Estação Experimental de Luiz Antônio, SP. A cidade de Luiz Antônio, SP, possui precipitação média anual de 1.280 mm e, segundo a classificação de Köeppen (1948), o clima é tropical (Cwa) e inverno seco, com temperatura média anual de 22,7º C (INMET, 2012- Figura 17). O solo da área de coleta é do tipo Latossolo Roxo. O solo da área de estudo foi coletado nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm em coletas ao acaso e encaminhado ao Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP/Botucatu, SP que realizou as análises de acordo com Raij *et al.* (2001) (Tabela 6).

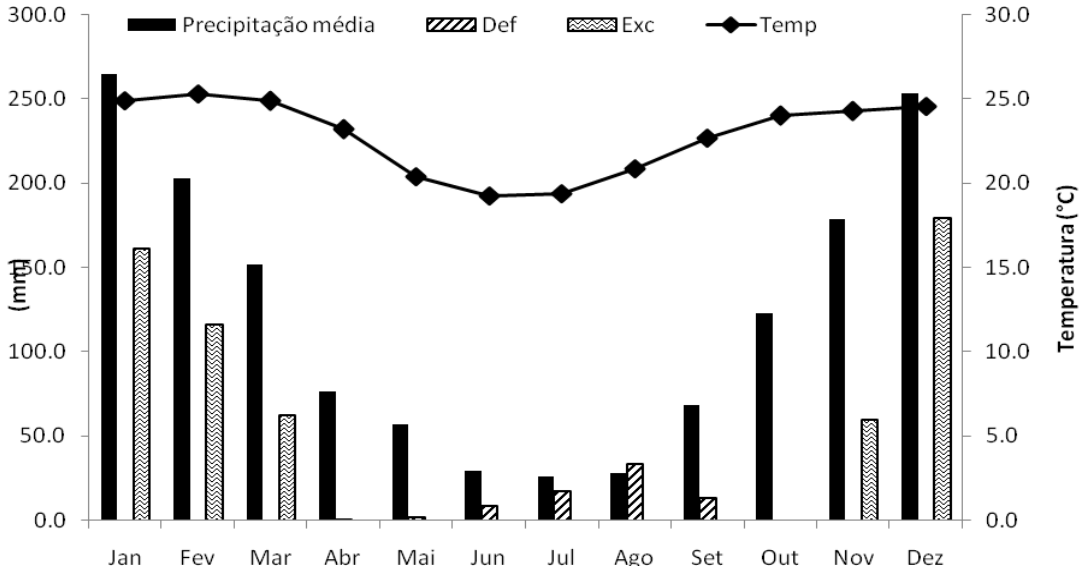


Figura 17. Diagrama climático geral da cidade de Luiz Antônio apresentando a média mensal da precipitação, déficit hídrico, excedente hídrico e temperatura média da cidade (INMET, 2012).

Tabela 5. Dados do diâmetro à altura do peito (DAP) e altura das doze árvores coletadas de *Cordia trichotoma*.

Bauru			**Piracicaba**		
Árvore	DAP (cm)	Altura (m)	Árvore	DAP (cm)	Altura (m)
1	15,5	17,4	1	16,0	16,2
2	15,5	16,3	2	18,0	16,0
3	17,5	15,2	3	17,0	16,5
4	14,5	14,1	4	17,5	16,6
5	13,0	13,1	5	14,0	16,1
6	18,0	13,7	6	11,0	14,0
Média	**15,6**	15,0	**Média**	**15,6**	15,9

Tabela 6. Características físico-químicas do solo da área de estudo. Kg = quilogramas; pH = potencial hidrogeniônico; M.O. = matéria origânica; P_{resina} = fósforo; Al^{3+} = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V% = saturação de bases; $CaCl_2$ = cloreto de cálcio; g/dm^3 = grama por decímetro cúbico; mmg/dm^3 = miligrama por decímetro cúbico; $Mmol_c/dm^3$ = milimol de carga por decímetro cúbico.

Física											
Profundidade do solo coletado		Total (Kg)		Argila		Silte			Textura do solo		
0-20 cm		559		265		176			Média		
20-40 cm		605		277		118			Média		
Química											
	pH $CaCl_2$	M.O. g/dm^3	P_{resina} mg/dm^3	Al^{3+} $mmol_c/dm^3$	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
0-20 cm	5,8	44	36	0	27	5,7	109	24	139	166	83
20-40 cm	5,5	22	10	0	30	2,4	73	14	89	119	75
Micronutriente											
		Boro		Cobre		Ferro			Manganês		Zinco
0-20 cm		0,22		6,8		50			56,6		4,1
20-40 cm		0,12		6,7		48			61,5		1,8

Os discos de madeira tiveram suas secções transversais polidas manualmente em uma série de lixas desde secas (100 e 150) até as lixas d'água (220, 320, 400, 600 e 1200). Em seguida, as secções transversais polidas dos discos foram divididas com um transferidor em setores circulares equivalentes, em cinco raios para a marcação dos anéis de crescimento. Essa divisão foi feita para uma observação mais precisa dos anéis de crescimento, pois como os discos não possuíam medula centralizada os anéis estavam todos irregulares ao redor da medula.

Os anéis de crescimento foram marcados com o auxílio de estereomicroscópio, aumento de 10x. As secções transversais foram digitalizadas em um scanner de marca HP Scanjet 4470c e foi realizada medição da largura dos anéis de crescimento com auxílio do software de análises de imagem Image-Pro-Plus. Depois de obtidas as medições das

larguras dos anéis de crescimento no Microsoft Office Excel nos cinco raios de cada disco procedeu-se a organização dos dados em arquivos compatíveis com o programa de sincronização dos anéis de crescimento.

Para verificação da qualidade, sincronização e correção dos dados realizou-se a datação cruzada das mensurações com o auxílio do software livre COFECHA dendrocronologia criado pela Universidade do Arizona (Holmes 1983). A largura dos anéis foi transformada em séries permitindo a sincronização e melhor interpretação dos dados. Durante o processo de sincronização, erros de medição como a demarcação de anéis falsos e a presença de anéis ausentes foram corrigidos e, em seguida, os novos dados das séries dos anéis de crescimento foram sincronizadas em operações sucessivas, até a obtenção de uma série sincronizada para a espécie.

Após a sincronização, na qual foram usadas as 12 árvores coletadas de *C. trichotoma*, os dados foram analisados com uso do software livre ARSTAN (Holmes *et al.* 1986), foi aplicada o processo de dupla retirada de tendência que segundo Holmes (1983) garante a correção das deficiências de cada ajuste e, tendo assim, um bom ajuste final e obtenção da cronologia padrão. Não houve distinção entre as procedências para a formação da cronologia final, ou seja, a cronologia foi feita para a espécie *C. trichotoma*. Em seguida, as análises com precipitação e temperatura foram realizadas por meio da correlação de Pearson através do Microsoft Office Excel. O arquivo do Microsoft Office Excel usado para obter as correlações foi desenvolvido com base em outro programa de dendrocronologia chamado RESPO (‘Response Function Analysis’), que é um software que faz a correlação da cronologia obtida e o clima. O software RESPO não foi utilizado neste trabalho, pois a cronologia gerada é curta (1986-2010), além de que o arquivo utilizado foi criado para facilitar a interpretação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sincronização dos anéis de crescimento

Os anéis de crescimento observados de *Cordia trichotoma* são demarcados por linhas de parênquima axial marginal e anel semi-poroso, o que facilitou algumas vezes a demarcação dos mesmos (Figura 18). Durante a fase de sincronização que durou aproximadamente seis meses foi realizado o controle da qualidade da largura dos anéis de crescimento e, de um total de 60 séries radiais (raios) provenientes das 12 árvores

coletadas, aproveitaram-se 22 raios das 12 árvores para compor a cronologia com correlação significativa de 0,617. O valor de sensibilidade encontrado foi de 0,362, demonstrando um sinal comum de crescimento entre essas 12 árvores.

Os raios dos discos não utilizados para a formação da cronologia foram considerados desproporcionais em relação aos outros usados, uma vez que os anéis de crescimento de alguns dos indivíduos estudados não estavam tão evidentes e bem demarcados em todos os raios, e todas as amostras apresentavam medula excêntrica. Assim, houve dificuldade na demarcação dos anéis, precisando de maior tempo para a sincronização dos dados.

Durante o processo de sincronização foram coletadas baguetas através de método não destrutivo para aumentar o número de amostras e, consequentemente ajudar na sincronização das larguras dos anéis de crescimento. Entretanto, essas baguetas foram descartadas, pois não foi possível uma correlação precisa entre as mesmas e os discos, pois foi necessário o disco inteiro para a visualização completa do marcador e posterior marcação dos anéis de crescimento.

Mesmo encontrando muitas vezes dificuldades para a marcação dos anéis de crescimento, a datação cruzada obtida entre as larguras dos anéis de crescimento teve uma ótima sincronização (Figura 19). Desta forma, foi obtido um bom resultado de qualidade de controle e ajuste das séries, e uma série cronológica final (‘série máster’ – Figura 20), que é o resultado da média das séries de anéis de crescimento individuais, com um valor de intercorrelação significativo para espécie, em relação ao nível crítico (Tabela 7).

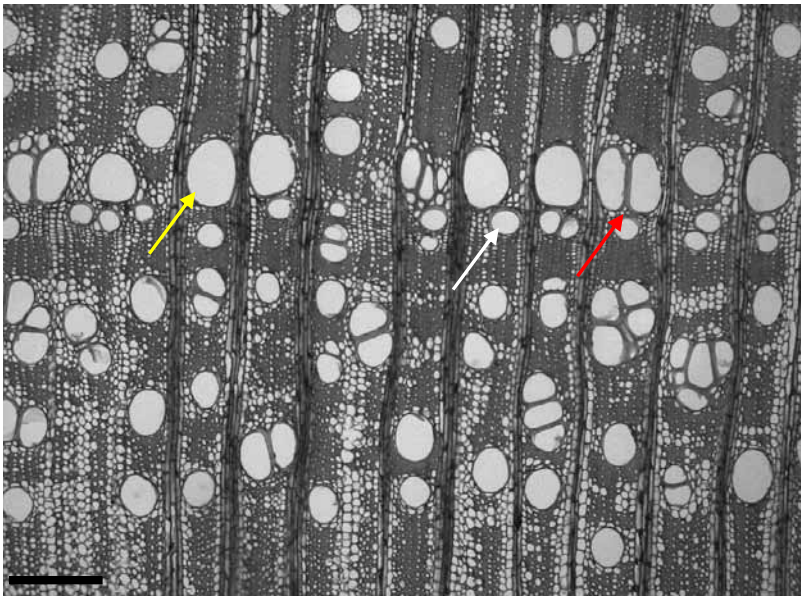


Figura 18. Secção transversal de *C. trichotoma* indicando o limite do anel de crescimento em linhas marginais de parênquima (seta vermelha) com vasos pequenos no fim (seta branca) e vasos grandes no início do anel (seta amarela).

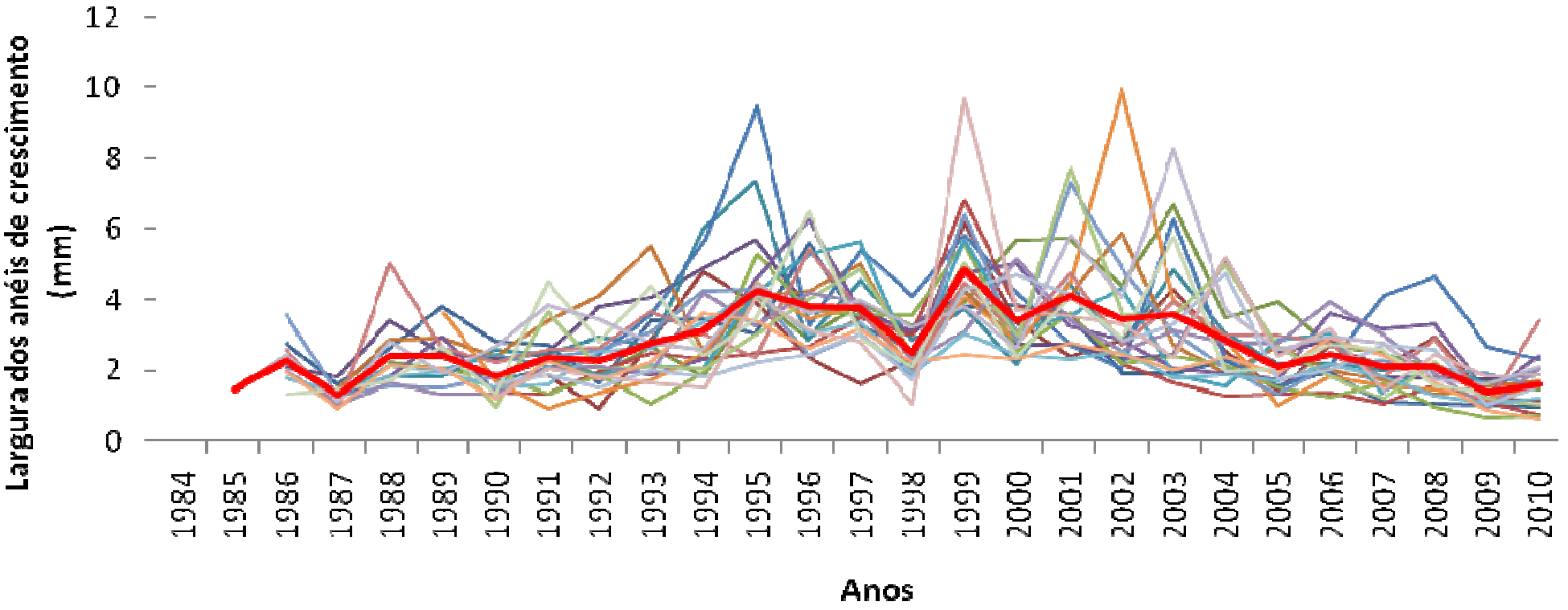


Figura 19. Sincronização dos raios. Largura em milímetros dos anéis de crescimento dos 22 raios dos 12 discos da espécie. A linha mais grossa em vermelho é a média das larguras dos anéis.

Tabela 7. Resultados da sincronização no software COFECHA entre as séries cronológicas dos anéis de crescimento das duas procedências de *Cordia trichotoma*.
** Correlação significativa entre as séries em comparação com a correlação crítica.

Número de raios	Série co-datada	Totais de anéis em todas as amostras	Totais de anéis checados	Intercorrelação da série	Média de sensibilidade
22	1985-2010	513	512	**0.617****	0.362

Figura 20. Série máster formada pelo programa COFECHA.

As árvores de *C. trichotoma* cresceram em uma mesma área, com o mesmo tipo de solo e clima e houve uma alta correlação significativa da série cronológica (Tabela 7), o que indica um padrão de crescimento comum entre essas árvores. Esta significância indica que houve características comuns observadas entre as sequências cronológicas dos anéis de crescimento, o que representa uma resposta similar das árvores a um mesmo ciclo sazonal de crescimento e também ao plantio homogêneo que estão inseridas.

Na Figura 19 pode-se observar que no ano 1997/1998 houve uma diminuição muito brusca das larguras dos anéis de crescimento de todos os indivíduos analisados, esses anéis estreitos nesse período refletem o crescimento reduzido dessas árvores. Callado e Guimarães (2010) também observaram crescimento reduzido de árvores de *Schizolobium parahyba* do Estado do Rio de Janeiro nos anos de 1997/1998. As autoras ainda comentam que esse baixo crescimento foi uma consequência da forte influência do evento *El Niño*, considerado o mais importante do século e o de maior intensidade na região Sudeste do

Brasil (Rao *et al.* 2001). Esse fenômeno originou drásticas anomalias no processo de distribuição de chuvas de todas as regiões do país (Rao *et al.* 2001), o que pode explicar esse crescimento reduzido. Lobão (2011) também observou que os anéis de crescimento do gênero *Cedrela* (Meliaceae) no estado do Acre foram influenciados pelo efeito do *El Niño*, mostrando que os anéis de crescimento formados no lenho das árvores nesse período de 1997/1998 são bastante estreitos. Segundo o autor, o *El Niño*, na Amazônia, reduz a precipitação e consequentemente reduz a água disponível no solo, refletindo nos processos fisiológicos das plantas e formação dos anéis de crescimento mais estreitos.

Na Figura 19 observa-se também que nos anos de 1987, 1990, 2005 e 2009 a espécie apresentou crescimento baixo e, segundo informações do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC – INPE, 2013) nos anos citados ocorreram o evento *El Niño* de intensidade forte a moderado o que certamente pode ter influenciado o crescimento da espécie.

Obtenção da série cronológica (índices)

A Figura 21A ilustra a cronologia dos dados sincronizados quando submetidos ao software ARSTAN e a Figura 21B mostra o número de raios utilizados em cada período na formação da cronologia, desde 1985 até 2010.

Para esta cronologia foi aplicada no programa ARSTAN uma função exponencial negativa, pois com base nos dados de largura dos anéis de crescimento verificou-se que houve um maior crescimento no início da vida da planta e menor no fim, por isso a escolha desta função.

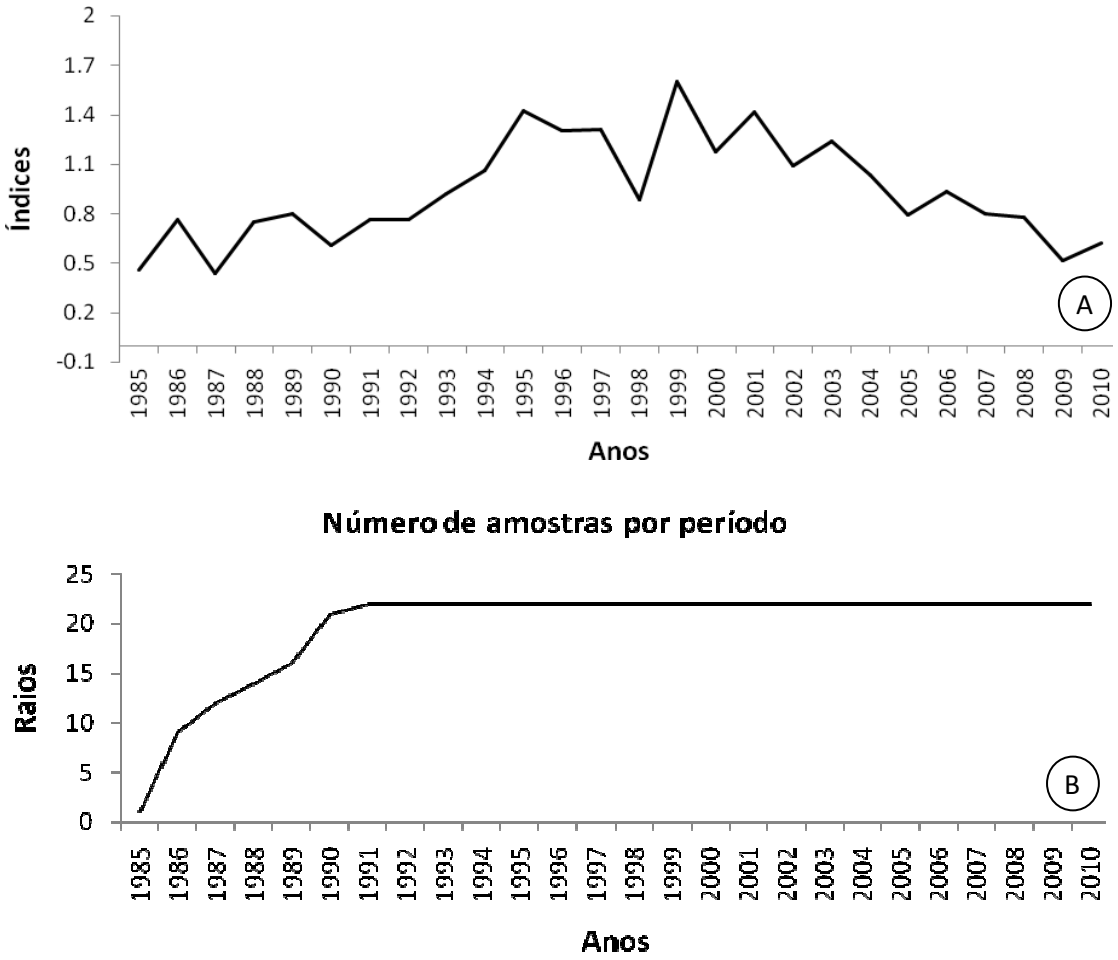


Figura 21A. Cronologia padrão de largura do anel de crescimento de *Cordia trichotoma* gerada pelo software ARSTAN. Figura 21B. Número de amostras (raios) utilizadas na formação da cronologia por período.

Correlação das larguras dos anéis de crescimento com a precipitação e temperatura

A cronologia (índices) dos anéis de crescimento, obtida pelo software ARSTAN, foi correlacionada aos valores de temperatura média mensal e precipitação mensal acumulada por meio de correlação de Pearson.

Os dados climáticos apresentaram grande variação na precipitação mensal acumulada. Ocorreu média de 230 mm de chuva nos meses de dezembro/janeiro e 30 mm nos meses de julho/agosto. A temperatura mostrou uma variação menor ao longo dos meses do ano de 19 a 24°C. Desta forma, pode-se caracterizar que nessa região ocorre uma estação chuvosa com altas temperaturas (outubro a março) e um período de seca com temperatura amena (abril a setembro).

As correlações existentes entre temperatura e precipitação e as séries cronológicas dos anéis de crescimento dos indivíduos de *C. trichotoma* para os últimos 25 anos

mostraram-se significativas. Portanto, pode-se dizer que essas duas variáveis climáticas são consideradas como determinantes no crescimento em diâmetro desses indivíduos de *C. trichotoma*, o que também foi observado para outras espécies (ver Pumijumnong *et al.* 1995; Luchi 1998; Worbes 1999; Enquist & Leffer 2001; Brienen & Zuidema 2005; Schöngart *et al.* 2006; Lisi *et al.* 2008; Soliz-Gamboa *et al.* 2011; Kose & Guner 2012).

Como resultado dessa correlação, incluindo todos os indivíduos estudados para o parâmetro climático temperatura, observou-se correlação positiva significativa (nível de significância de 0,388) em relação ao crescimento das árvores para o período de agosto a outubro do ano corrente (Figura 22), ou seja, maior sensibilidade das plantas de *C. trichotoma* para a temperatura deste período. Nessa época do ano as temperaturas mantiveram-se mais amenas (média de 22°C), o que deve ter mantido normais as taxas de transpiração, o que influenciou de forma positiva o crescimento dessas árvores. Também foi observado no mesmo período de agosto a outubro aumento do comprimento do dia (Figura 23), o que pode ter elevado a taxa de fotossíntese na planta (Taiz & Zeiger 2006) e, consequentemente, acelerado o crescimento da planta.

Devall *et al.* (1995) analisou três espécies de uma floresta tropical no Panamá, incluindo uma espécie do mesmo gênero, *Cordia alliodora*, e observaram que o crescimento dessa espécie foi correlacionado positivamente com as temperaturas de julho e agosto do local, meses em que ocorreu um aumento da média das temperaturas após o inverno. Os resultados aqui encontrados, relação positiva do aumento da temperatura com o crescimento de *C. trichotoma*, concordam com o encontrado por Devall *et al.* (1995) para *C. alliodora*.

A influência positiva da temperatura no crescimento de espécies também foi observada por Oliveira *et al.* (2010) que observaram o crescimento radial em *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil e, este crescimento estava associado a sazonalidade da temperatura do local de plantio. Um outro estudo mostrou também que o aumento da temperatura após o inverno (temperaturas mais amenas) correspondia ao maior crescimento dos indivíduos de *Araucaria angustifolia* em uma Floresta Nacional do Rio Grande do Sul (Zanon & Finger 2010), o que corrobora aos dados observados nesse estudo.

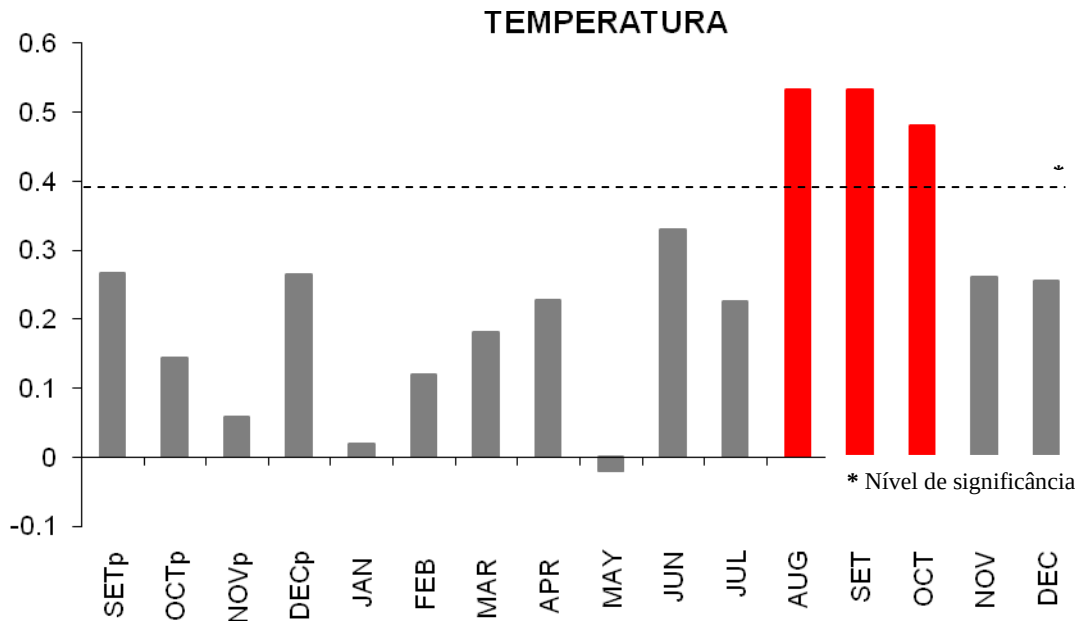


Figura 22. Correlação da temperatura média mensal com a série dos índices de largura dos anéis de crescimento dos indivíduos de *Cordia trichotoma.*As barras em destaque na cor vermelha são os valores significativos.

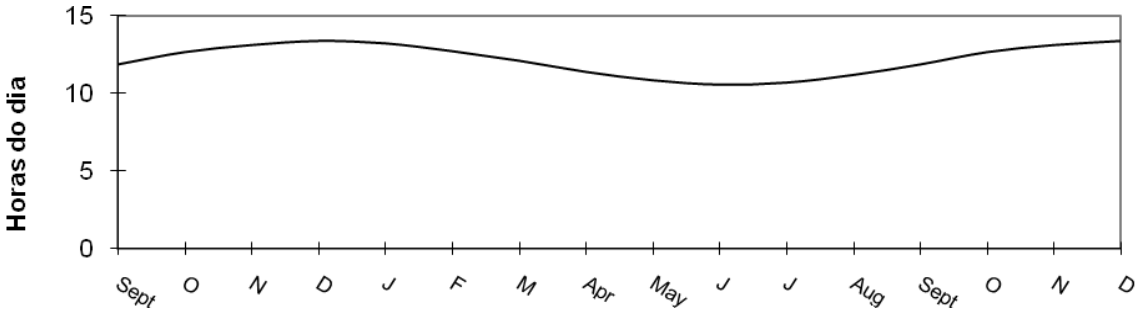


Figura 23. Fotoperíodo.

Houve correlação negativa significativa (nível de significância de 0,388) para o crescimento da espécie e a precipitação durante o mês de abril do ano corrente (Figura 24). Abril é o mês em que ocorre uma diminuição brusca das chuvas em comparação aos meses anteriores (média de 70 mm – Figura 25). Com a diminuição das chuvas no outono e início do inverno (Figura 24), assim como a diminuição do comprimento do dia (Figura 23), irá diminuir a quantidade de água no solo e, esses fatores podem induzir a dormência do câmbio, o que consequentemente ocorre a diminuição do crescimento da espécie, como foi observado na época de menor precipitação (Figura 24).

Détienne & Mariaux (1977) e Détienne (1989) observaram que taxa de crescimento radial em várias espécies tropicais eram reduzidas com a diminuição da precipitação durante o outono/inverno. Botosso & Vetter (1991) analisando ritmo de crescimento e incremento mensal em espécies tropicais amazônicas também observaram que o estresse de água no período de baixa precipitação ocasionou baixos ou nenhum incremento, implicando em diminuição do crescimento nessa época do ano. A diminuição da taxa de crescimento do tronco em relação ao início do período de seca também foi visto por Ferreira-Fedele *et al.* (2004) com guarantã (*Esenbleckia leiocarpa*) em duas áreas da região sudeste do estado de São Paulo.

Worbes (1999) cita que com o decréscimo da precipitação ocorre uma diminuição de água no solo, influenciando o ritmo da atividade cambial e, consequentemente, o crescimento das plantas. Esta correlação negativa para a precipitação é passível de ser explicada pela fisiologia de plantas, pois uma vez que ocorre a diminuição de água no solo, há uma diminuição de absorção de água pelas raízes, diminuindo o fluxo de solutos e, consequentemente, há redução na taxa de crescimento da planta (Taiz & Zeiger 2006).

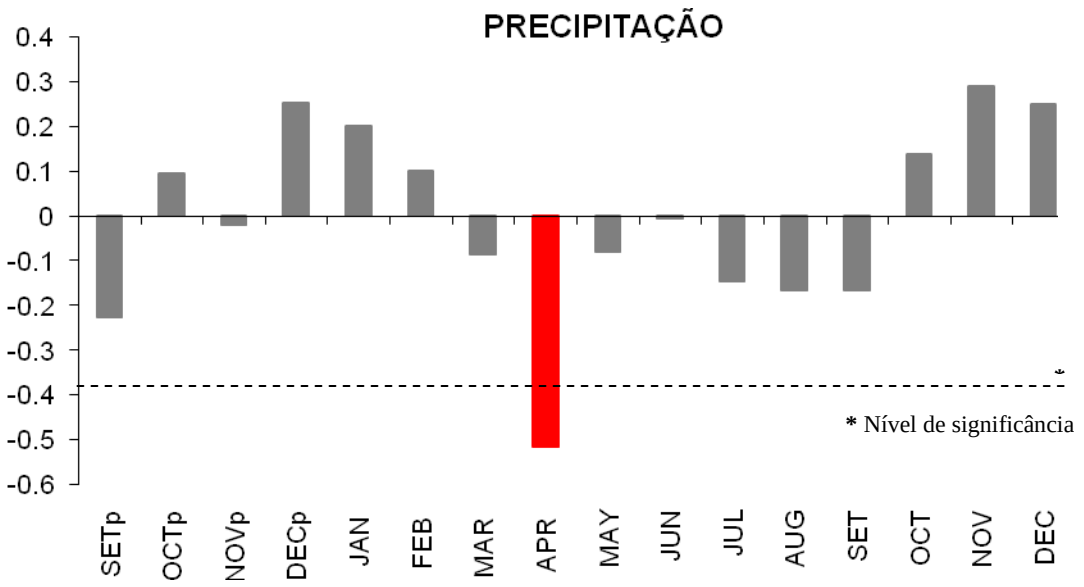


Figura 24. Correlação da precipitação mensal acumulada com a série dos índices de largura dos anéis de crescimento dos indivíduos de *Cordia trichotoma.*A barra em destaque na cor vermelha é o valor significativo.

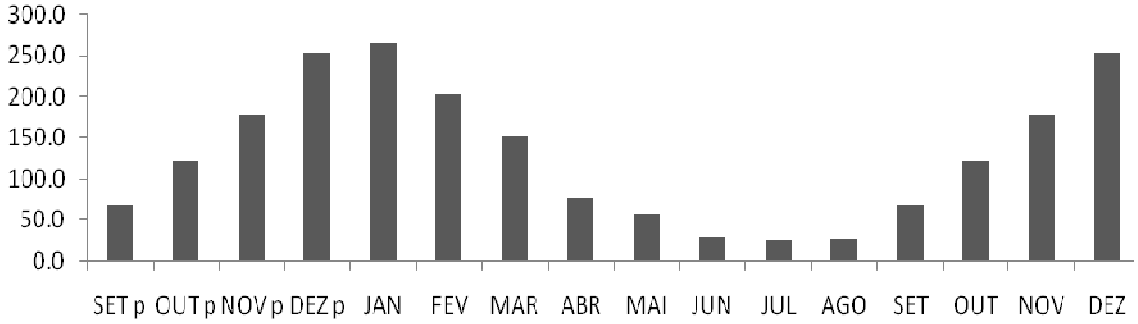


Figura 25. Precipitação média acumulada.

Comparando os raios das amostras de *C. trichotoma* observou-se muita variação nas larguras dos anéis anuais de crescimento. Essa variação indica sensibilidade das árvores de louro-pardo com relação às condições ambientais do local de crescimento.

A maioria dos trabalhos relacionados com a dendroclimatologia relacionam positivamente o crescimento radial das espécies tropicais com o início da estação chuvosa (Pumijumnong *et al.* 1995; Luchi, 1998; Worbes 1999; Enquist & Leffer 2001; Brienen e Zuidema 2005; Schöngart *et al.* 2006; Lisi *et al.* 2008; Bhattacharyya & Shah 2009; Oliveira *et al.* 2010; Rozendaal & Zuidema 2011; Soliz-Gamboa *et al.* 2011; Kose & Guner 2012). Entretanto, neste estudo, não houve correlação significativa do início da

estação chuvosa com o crescimento da espécie, mas foi observado que o déficit hídrico no início da estação seca (mês de abril) foi correlacionado negativamente com o crescimento da espécie.

A formação de uma cronologia para *C. trichotoma* como um dos objetivos deste estudo foi possível, mas observou-se que um aumento no número de amostras seria necessário para melhor correlação das séries cronológicas dos anéis de crescimento com as variáveis climáticas.

Houve uma sensibilidade dos anéis de crescimento da espécie em relação à precipitação e a temperatura, pois as correlações existentes entre as variáveis climáticas e as séries cronológicas dos anéis de crescimento de *C. trichotoma* para os últimos 25 anos mostraram-se significativas. Portanto, pode-se dizer que essas duas variáveis climáticas são consideradas como determinantes no crescimento desses indivíduos de louro pardo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora, à Liliane Catarina Pereira pelo auxílio na parte de laboratório, ao Pesquisador Dr. Fidel A. Roig e o Engenheiro Florestal Dr. Matheus Chagas por todo ensinamento nas análises dendrocronológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, E. S.; Angyalossy-Alfonso, V. 2000. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian Species. 1. Growth rings and vessels. IAWA Journal 21(1): 3-30.

Amano, E. 2002. *Cordia trichotoma*, Boraginaceae: caracterização e sazonalidade na formação do xilema e do floema. Dissertação (Mestrado em Ciências, área Botânica). Universidade de São Paulo, São Paulo. 87 p.

Bhattacharyya, A.; Shah, S. K. 2009. Tree-ring studies in India Past Appraisal, Present Status and Future Prospects. IAWA Journal 30(4): 361-370.

Botosso, P. C.; Vetter, R. E. 1991. Alguns aspectos sobre a periodicidade e taxa de crescimento em 8 espécies arbóreas tropicais de Floresta de Terra Firme (Amazônia). Revista Instituto Florestal 3(2): 163-180.

Brienen, R. J. W.; Zuidema, P. A. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. Oecologia (Ecophysiology) 146: 1-12.

Buckley, B.M.; Barbetti, M; Watanasak. M; Darrigo, R; Boonchirdchoo, S; Sarutanon, S. 1995. Dendrochronological investigations in Thailand. IAWA Journal 16: 393-409.

Callado, C. H.; Guimarães, R. C. 2010. Estudo dos anéis de crescimento de *Schizolobium parahyba* (Leguminosae: Caesalpinioideae) após episódio de mortalidade em Ilha Grande, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Botânica 33(1): 85-91.

Callado, C.H.; Silva Neto,S.J.; Barros, C.F.; Scarano, F.R.; Costa, C.G. 2001. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. Trees 15: 492-297.

Carvalho, P. E. R. 2003. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica 1: 1039 p.

Coradin, V. T. R. Formação de anéis de crescimento e sazonalidade cambial em dez espécies do Cerrado. 2000. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília. 124f.

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - INPE: http://enos.cptec.inpe.br/. Acesso em 14 de agosto de 2013.

Détienne, P. 1989. Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. IAWA Bulletin 10: 123-132.

Détienne, P.; Mariaux. A. 1977. Nature et périodicité des cernes dans bois rouges de Meliacées africaines. Bois et Forêts des Tropiques 175: 53-61.

Devall, M. S.; Parresol, B. R; Wright, S. J. 1995. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in Central Panama. IAWA Journal 16(4): 411-424.

Enquist, B.J.; Leffler, A.J. 2001. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. Journal of Tropical Ecology 17: 41-60.

Ferreira-Fedele, L.; Tomazello Filho, M.; Botosso, P. C.; E. Gianotti, E. 2004. Periodicidade do crescimento de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (guarantã) em duas áreas da região sudeste do Estado de São Paulo. Scientia Florestalis 65: 141-149.

Frittz, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, London, 567p.

Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree - ring dating and measurement. Tree –Ring Bulletin 43: 69-78.

Holmes, R.L.; Adams, R.K.; Fritts, H.C. 1986. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: Tree-ring chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Tucson: Arizona University, p. 15-35.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) – Estação Meteorológica de São Simão/SP, Rede de Dados, 2012.

Kose, N.; Guner, H. T. 2012. The effect of temperature and precipitation on the intra-annual radial growth of *Fagus orientalis* Lipsky in Artvin, Turkey. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 36: 501-509.

Lisi, C. S.; Tomazello Filho, M.; Botosso, P. C.; Roig, F. A.; Maria, V.R.B.; Ferreira-Fedele, L.; Voig, A. R. A. 2008. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. IAWA Journal 29(2): 189-207.

Lobão, M.S. Dendroconologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parayba* var *amazonicum* Hub. Ex Ducke, no estado do Acre, Brasil. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 215p.

Lorenzi, H. 1998. Árvores brasileiras: manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2.ed. São Paulo: Editora Plantarum, 368p.

Luchi, A. E. 1998. Periodicidade de crescimento de *Hymenae courbaril* L. e anatomia ecológica do lenho de espécies de mata ciliar. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências. 236p.

Mainieri, C. 1959. Identificação das principais madeiras comerciais no Brasil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 46: 1-189.

Mantovani, N. C.; Franco, E. T. H.; Vestena, S. 2001. Regeneração *in vitro* de louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vellozo) Arrabida ex Steudel). Ciência Florestal 11(2): 93-101.

Marcati, C.R. 2000. Sazonalidade cambial em espécies tropicais. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo. 147p.

Marcati, C. R.; Oliveira, J. S.; Machado, S. R. 2006. Growth rings in Cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. Biota Neotropica 6(3).

Oliveira, J. M.; Roig, F. A.; Pillar, V. D. 2010. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern of Brazilian highlands. Austral Ecology 35(2): 134-147.

Pumijumnong, N.; Eckstein, D.; Sass, U. 1995. Tree-ring research on *Tectona grandis* on northern Thailand. IAWA Journal 16: 385-392.

Rao, V.B., Santo, C.E.; Franchito, S.H. 2001. A diagnosis of rainfall over South America during 1997/98 *El Niño* event. Part I: validation of NCEP - NCAR reanalysis of rainfall data. Journal of Climate 15: 502-511.

Rizzini, C. T. 1971. Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira. São Paulo: Edgar Blucher, Ed. USP, 244p.

Rozendaal, D. M. A.; Zuidema, P. A. 2011. Dendroecology in the tropics: a review. Trees 25: 3-16.

Schweingruber, F. H. 1996. Tree Rings and Environment: Dendroecology. Hall Haupt Publishers, Berne and Stuttgart, 609 p.

Schöngart, J.; Orthmann, B.; Hennenberg, K.J.; Porembski, S.; Worbes, M. 2006. Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction. Global Change Biology 12:1139-1150.

Soliz-Gamboa, C. C.; Rozendaal, D. M. A.; Ceccantini, G.; Angyalossy, V.; Van Der Borg, K.; Zuidema, P. A. 2011. Evaluating the annual nature of juvenile rings in Bolivian tropical rainforest trees. Trees 25: 17-27.

Stahle, D.W.; Mushove, P.T; Cleaveland, M.K; Roig, F.A; Haynes, G.A. 1999. Management implications of annual growth rings in Pterocarpus angolensis from Zimbabwe. Forest Ecology and Management, 124: 217-229.

Stokes, M. A.; Smiley, T. L. 1996. An introduction to Tree-ring Dating. The University of Chicago Press, Chicago and London, 110 p.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. Fisiologia Vegetal. 3 ed.: Artmed, Porto Alegre, 719 p.

Tomazello Filho, M.; Botosso, P. C.; Lisi, C. S. 2001. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais. In: Maia, N.B.; Martos, H.L.; Barrella, W. Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo, p. 117-143.

Worbes, M. 1989. Growth Rings, Increment and Age of trees in Inundation Forests Savannas and a Mountain Forest in the Neotropics. IAWA Bulletin 10(2): 109-122.

Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. Journal of Ecology 87: 391-403.

Worbes, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and an outlook to future challenges. Dendrochronology 20(2): 217-231.

Worbes, M.; Junk, W. J. 1999. How old are the trees? The persistence of a myth. IAWA Journal 20(3): 255-260.

Zanon, M. L. B.; Finger, C. G. 2010. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. Ciência Florestal 20(3): 467-476.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Qualitativamente, o lenho das duas procedências de *C. trichotoma* se mostrou similares quanto as características anatômicas, exceto quanto a presença de vasos geniculados que ocorreu apenas na procedência de Bauru. Quantitativamente houve diferença significativa entre as procedências com relação ao diâmetro dos vasos, diâmetro das fibra, diâmetro do lume das fibras e área média de parênquima/mm^2 em que as médias foram menores na procedência de Bauru, e o número de vasos por grupo foi maior nessa mesma procedência. Os resultados qualitativos e quantitativos sugerem que as condições da procedência de Bauru seja mais restritivas à condução hídrica.

Com relação à correlação da análise dos anéis de crescimento da espécie e as variáveis climáticas, houve correlação significativa e positiva com a temperatura nos meses de agosto, setembro e outubro, mostrando que de modo geral, as temperaturas mantiveram-se mais amenas durante essa época do ano (média de 22°C). Já, para a precipitação, houve correlação negativa significativa para o crescimento da espécie durante o mês de abril, mês em que ocorre uma diminuição brusca das chuvas em comparação aos meses anteriores (média de 70 mm), ocorrendo uma diminuição do crescimento da espécie nessa época do ano. É possível a formação de uma cronologia com os anéis de crescimento de *C. trichotoma*, mas para um melhor ajuste dessa cronologia seria necessário uma maior quantidade de amostras e árvores mais velhas (com maior quantidade de anéis).

Houve sensibilidade dos anéis de crescimento da espécie em relação às variáveis climáticas, pois as correlações existentes entre as variáveis climáticas e as séries cronológicas dos anéis de crescimento dos indivíduos de *C. trichotoma* para os últimos 25 anos mostraram-se significativas. Portanto, pode-se dizer que essas duas variáveis climáticas são consideradas como determinantes no crescimento desses indivíduos de *C. trichotoma*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRBAMS, M. D.; COPENHEAVER, C. A. Temporal variation in species recruitment and dendroecology of an old growth white oak forest in the Virginia Piedmont, USA. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 124, p. 275-284, 1999.

AGUILAR-RODRÍGUEZ, S.; BARAJAS-MORALES, J. Anatomía de la Madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: Un enfoque ecológico-evolutivo. **Boletín de la Sociedad Botánica de México,** Distrito Federal, México, v.77, p. 51-58, 2005.

AHMED, M.; KHAN, N.; WAHAB, M.; ZAFAR, U.; PALMER, J. Climate/Growth correlations of tree species in the Indus Basin of the Karakorum Range, North Pakistan. **IAWA Journal,** Leiden, v.33, n.1, p. 51-61, 2012.

AL-SHEHBAZ, I. A. The genera of Boraginaceae in the Southeastern United States. **Journal of the Arnold Arboretum,** Missouri Botanical Garden, Missouri, Suppl. v.1, p. 1-169, 1991.

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian Species. 1. Growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Leiden, v.21, n. 1, p. 3-30, 2000.

AMANO, E. 2002. ***Cordia trichotoma,* Boraginaceae: caracterização e sazonalidade na formação do xilema e do floema.** Dissertação (Mestrado em Ciências, área Botânica). Universidade de São Paulo, São Paulo. 87 p. 2002.

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

BAAS, P.; SCHWEINGRUBER, F. H. Ecological trends in the wood anatomy of trees, shrubs and climbers from Europe. **IAWA Bull.,** Utrecht, n.s. 8, p. 245-274, 1987.

BAAS, P.; WHEELER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. **IAWA Bull.**, Utrecht, v. 4, p.141-159, 1983.

BANCO DE DADOS CLIMÁTICOS, EMBRAPA. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/>. Acesso em 03 de junho de 2013.

BARAJAS-MORALES, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. **IAWA Bull.**, Utrecht, n.s. 6, p.355-365, 1985.

BARROS, C. F.; MARCON-FERREIRA, M. L.; CALLADO, C.H.; LIMA, H. R. P.; DA CUNHA, M.; MARQUETE, O.; COSTA, C.G. Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da Reserva Biológica de Poço das Antas. **Rodriguésia,** Rio de Janeiro, v. 57, p. 443–460, 2006.

BARROSO, I. C. E.; OLIVEIRA, F.; CIARELLI, D. M. Morfologia da unidade de dispersão e germinação de *Cordia sellowiana* Cham. e *Cordia myxa* L. **Bragantia,** Campinas, v.68, n.1, p.241-249, 2009.

BERLYN, G. P.; MIKSCHE, J. P. **Botanical microtechnique and cytochemistry.** The Iowa State University Press, Ames, Iowa. 1976.

BHATTACHARYYA, A.; SHAH, S. K. Tree-ring studies in India Past Appraisal, Present Status and Future Prospects. **IAWA Journal,** Leiden, v. 30, n. 4, p. 361–370, 2009.

BOGINO, S.; FERNÁNDEZ NIETO, M. J. e BRAVO, F. Climate effect on radial growth of *Pinus sylvestris* at its southern and western distribution limits. **Silva Fennica,** Vantaa, Finland, v. 43, n. 4, p. 609–623, 2009.

BONINSEGNA, J. A.; VILLALBA, R.; AMARILLA, L.; OCAMPO, J. Studies on tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. **IAWA Bull.,** Utrecht, vol. 10, n.2, p.161-169, 1989.

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

BOTOSSO, P. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: N.B. Maia, H.L. Martos & W. Barella, (eds.), **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações:** p. 145-172. EDUC, São Paulo. 2001.

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

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 226, p. 256-267, 2006.

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

BUCKLEY, B.M.; BARBETTI, M; WATANASAK. M; DARRIGO, R; BOONCHIRDCHOO, S; SARUTANON, S. Dendrochronological investigations in Thailand. **IAWA Journal,** Leiden, v.16, p.393-409, 1995.

BUKATSCH, F. Bermerkungen zur Doppelfälbung Astrablau-Safranin. **Mikrokosmos,** v. 61, 255p. 1972.

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

CALLADO, C.H.; SILVA NETO,S.J.; BARROS, C.F.; SCARANO, F.R. e COSTA, C.G. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Trees,** Berlin, v.15, p.492-297. 2001a.

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

CALLADO, C. H.; NETO, S. J. S.; SCARANO, F. R.; COSTA, C. G. Radial growth dynamics of *Tabebuia umbellata* (Bignoniaceae), a flood-tolerant tree from the Atlantic forest swamps in Brazil. **IAWA Journal,** Leiden, v. 25, p. 175–183. 2004.

CARLQUIST, S.; HOEKMAN, D. A. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. **IAWA Bull.,** Leiden, v. 6, p. 319-347, 1985.

CARVALHO, P.E. **Espécies florestais brasileiras:** recomedações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Colombo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 640 p., 1994.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. v. 1, 1039 p, 2003.

CAVASSAN, O.; PINHEIRO da SILVA, P. G.; SENICIATO, T. **O Ensino de Ciências, a Biodiversidade e o Cerrado.** In: ARAÚJO, E. S. N. N.; CALUZI, J. J.; CALDEIRA, A. M. A. (Orgs.). *Divulgação Científica e Ensino de Ciências: Estudos e Experiências*. São Paulo - SP, 2006. Referências adicionais: Brasil/Português; Meio de divulgação: Impresso; ISBN:8575312383. 2006.

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.** 2009. Dissertação (Mestre em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 114p. 2009.

COOK, E. R.; GLITZENSTEIN, J. S.; KRUSIK, P. J.; HARCOMBRE, P. A. Identifying functional groups of trees in West Gulf Coast forest (USA): a tree-ring approach. **Ecological applications**, New York, v.11, n.3, p. 883-903, 2001.

CORADIN, V. T. R. **Formação de anéis de crescimento e sazonalidade cambial em dez espécies do Cerrado.** 2000. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília. 124f. 2000.

CORONA, E. **Dendrochronologia: principi e applicazioni.** Verona: Istituti Italiano di Dendrochronologia. Atti Del Seminario tenuto a Verona nei giorni 14 e 15 novembre 1984, 103 p., 1986.

COSMO, N.L. **Anatomia ecológica e crescimento do lenho de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith e Downs, em diferentes condições geomorfológicas e pedológicas da planície do Rio Iguaçu – PR.** 2008. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná. 2008.

COSTA, C. G.; CALLADO, C. H.; CORADIN, V. T. R.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Xilema. In: APEZZATO-DA-GLÓRIA, B. E CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (2 Ed. atual) **Anatomia Vegetal.** Viçosa: Editora UFV, p. 129-154, 2006.

COSTER, C. Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresbildung in den Tropen I. **Annales Jardim Botanica Buitenzorg,** Buitenzorg, v. 37, p. 47-161, 1927.

D'ARRIGO, R.; WILSON, R. S.; LIEPERT, B.; CHERUBINI, P. On the divergence problem in northen forest: A review of tree-ring evidence and possible causes. **Global and Planetary Change,** J. Gloplacha, v. 60, p. 289-305, 2007.

DENARDI, L.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia ecológica da madeira de *Blepharocalyx salicifolius* (H. B. K.) Berg. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 119-127, 2005.

DÉTIENNE, P. Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. **IAWA Bull.,** Utrecht, n.s. 10, p. 123–132, 1989.

DEVALL, M. S.; PARRESOL, B. R; WRIGHT, S. J. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in Central Panama. **IAWA Journal,** Leiden, v. 16, n.4, p. 411-424, 1995.

DICKISON, W. C. **Integrative Plant Anatomy.** Harcourt Academic Press, San Diego. 533p., 2000.

DÜNISCH, O.; BAUCH, J.; GASPAROTTO, L. Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis*, and *Cedrela odorata* (Meliaceae). **IAWA Journal**, Leiden, v. 23, p. 101-119, 2002.

ENQUIST, B.J.; LEFFLER, A.J. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. **Journal of Tropical Ecology,** Cambridge, v.17, p. 41-60, 2001.

ESEMANN-QUADROS, K. 2001. **Anatomia do lenho de *Clusia criuva* Camb. (Clusiaceae): órgãos, hábitos e ambientes.** 132 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Área de Botânica. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2001.

EVERT, R. F. **Esau's Plant Anatomy.** Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function and Development. 3 ed, Madison, 601p., 2006.

FAHN, A.; BURLEY, J.; ONGMAN, K.A. L; MARIAUX, A. Possible contributions of wood anatomy to the determination of the age of tropical trees. **In: F.H. Bormann e G. Berlyn (eds.):** Age and growth rate of tropical trees: new directions for research: 83–100 (Bull. 94), Yale University, New Haven. 1981.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resins composites, and a new macerating method for wood. **Nature,** London, v. 155, p. 51, 1945.

FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A . M.; MORAIS, E.; ZANATTO, A. C. S.; VERARDI, C. K.; PINHEIRO, A. N. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *Cordia trichotoma* (Vell.) ex Steud. **Revista Instituto Florestal,** São Paulo, v. 18, p. 95-102, 2006.

FRITTZ, H. C. **Tree rings and climate.** Academic Press, London, 567p, 1976.

GOMES, A.V. ; MUÑIZ, G.I.B. Wood structure and ultrastructure of *Prosopis caldenia*, *P. chilensis* and *P. juliflora* and influense of ecological. **Prosopis International Conference,** FAO, 1986.

GOURLAY, I. D. Growth ring characteristics of some African Acacia species. **Journal of Tropical Ecology,** Cambridge, v.11, p.121-140, 1995.

GOUVER, S. O.; KRANKINA, O.; OLSON, R.; APPS, M.; LINDER, S.; WANG, L. Net primary production and carbon allocation pattern of boreal forests. **Ecological Applications,** New York, v. 11, p. 1395-1411, 2001.

HERENDEEN, P. S.; MILLER, R. B. Utility of wood anatomical characters in Cladistic analyses. **IAWA Journal,** Leiden, vol. 21, n.3, p. 247–276, 2000.

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

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

IAWA COMMITTEE (International Association of Wood Anatomists Committee). List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bull.,** Utrecht, n. s. 10, p.219-332. 1989.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) – Estação Meteorológica de São Simão/SP, Rede de Dados, 2012.

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

JOHANSEN, S. A. **Plant microtechnique.** Mcgraw_Hill Book Co, New York. 1940.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F. **Plant Systematics: a phylogenetic approach.** Sinauer associates, Inc. Publishers Sunderland, Massachusetts. 1999.

KAENNEL, M.; SCHWEINGRUBER. F.H. **Multilingual glossary of dendrochronology: terms and definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian.** Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research; Berne. 1995.

KHARUK, V.; DVINSKAYA, M.; RANSON, K,; IM, S. Expansion of evergreen conifers to the larch-dominated zone and climatic trends. **Russian Journal of Ecology.,** Moscow, v. 36, p. 164-170, 2004.

KITZBERGER, T.; VEBLEN, T.T.; VILLALBA, R. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. *In:* **Dendrocronología en América Latina** (F.A. Roig, ed.). Ediunc, Mendoza, p.17-78, 2000.

KLAASSEN, R. Wood anatomy of the Sapindaceae. **IAWA Journal,** Leiden, Supplement 2. 214p. 1999.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Económica, 317 p., 1948.

KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants.** Academic Press, San Diego. 1991.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal.** Rio de Janeiro: EDUR. 198p., 1997.

LIMA, I. L; LONGUI, E. L.; GRACIA, M. F.; ZANATTO, A. C. S.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. **Cerne,** Lavras, v. 17, n. 4, p. 517-524, 2011a.

LIMA, I. L; MASTELIN, S. M.; LONGUI, E. L.; FREITAS, M. L. M.; ROMEIRO, D.; ZANATTO, A. C. S.; FLORSHEIM, S. M. B. Densidade básica e dimensões celulares da madeira de B*alfourodendron riedelianum* em função da procedência e posição radial. **Revista Instituto Florestal,** São Paulo, v. 23, n. 2; p.217-230, 2011b.

LISI, C. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; ROIG, F. A.; MARIA, V.R.B.; FERREIRA-FEDELE, L.; VOIG, A. R. A. Tree-ring formation, radial increment

periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. **IAWA Journal,** Leiden, vol. 29, n. 2, p. 189–207, 2008.

LIU, J. e NOSHIRO, S. Lack of latitudinal trends in wood anatomy of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae), a species with a worldwide distribution. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 90, n. 4, p.532-539, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 352p., 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2.ed. São Paulo: Editora Plantarum, 368p, 1998.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5.ed. São Paulo: Editora Plantarum, v.1, 384p., 2008.

LONGUI, E. L.;, LIMA, I. L.; ANDRADE, I. M.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B; ZANATTO, A. C. S; SILVA JÚNIOR, F. G. Seed provenance influences the wood structure of G*allesia integrifolia.* **IAWA Journal,** Leiden, v. 32; n. 3, p. 361–374. 2011.

LUCHI, A. E. 1998. **Periodicidade de crescimento de *Hymenae courbaril* L. e anatomia ecológica do lenho de espécies de mata ciliar.** 236p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências. 1998.

LUCHI, A. E. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, p. 271-280, 2004.

MAINIERI, C. **Identificação das principais madeiras comerciais no Brasil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). São Paulo, SP, n. 46, p.1-189, 1959.

MANTOVANI, N.C.; FRANCO, E.T.H.; VESTENA, S. Regeneração *in vitro* de louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vellozo) Arrabida ex Steudel). **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 93-101, 2001.

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

MARCATI, C. R., ANGYALOSSY-ALFONSO, V., BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerradão. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.3, p.311-320, 2001.

MARCATI, C. R.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, S. R. Growth rings in Cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. **Biota Neotropica,** São Paulo, v. 6, n. 3, 2006.

MARCHIORI, J. N. C. **Elementos de dendrologia.** 2. ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 176p., 2004.

MELO, J. I. M.; ANDRADE, M. F. Boraginaceae A. Juss. na região de Xingó: Alagoas e Sergipe. **Hoehnea,** São Paulo, v.32, n. 3, p. 369-380, 2005.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons.** Clarenton Press, Oxford. v. I e II. 1950.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons.** Vol. II. Oxford: Clarendon Press, v.2, 308p., 1983.

NISGOSKI, S., MUÑIZ, G.I.B. e KLOCK, U. Diferenciação anatômica da madeira de 4 espécies do gênero *Caryocar*. **Ciência e Natura,** Santa Maria, v. 20, p.85-99, 1998.

NIKOLAEV, A.N. Climatic influence on the spatial-temporal variability of radial growth in coniferous woods from Northern and Central Yakutiya. Abstract of Ph 03.00.16, **Institute of Forest SB RAS,** Krasnoyarsk, Russia: p. 1- 23; 1999.

OLIVEIRA, B. R. U.; LATORRACA. J. V. F.; TOMAZELLO FILHO; M.; GARCIA. R. A.; CARVALHO, A. M. Correlações dendroclimatológicas do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na região de Rio Claro, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 499-508, 2011.

ORLOVIC, S; GUZINA, V.; KRSTIC, B.; MERKULOV, L. Genetic Variability in Anatomical, Physiological and Growth Characteristics of Hybrid Poplar (*Populus* x *euramericana* DODE (GUINIER)) and Eastern Cottonwood (*Populus deltoides* BARTR.) Clones. **Silvae Genetica,** Frankfurt, v.47, n. 4, p.183-190, 1998.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; ABREU, H. S. Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente,** Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 165-175. 2002.

PINHO, R.A., MAZZONI VIVEIROS, S.C. e SAJO, M.G. Contribuição ao estudo anatômico do lenho secundário de árvores da flora dos cerrados. IV. São Paulo Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 19, p. 171-183, 1992.

PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN, D.; SASS, U. Tree-ring research on Tectona grandis on northern Thailand. **IAWA Journal,** Leiden, v.16, p.385-392, 1995.

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade do solo. **Campinas: Instituto Agronômico de Campinas,** 285p. 2001.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Governo do Estado do RS. 525 p., 1988.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira.** São Paulo: Edgar Blucher, Ed. USP, 244p, 1971.

RODRIGUES, R. R. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. **CIRCULAR TÉCNICA IPEF,** Piracicaba, SP, v. 189, 1999.

ROESER, K. R. Die Nadel der Schwarzkiefer. Massenprodukt und kunstwerk der Natur. **Mikrokosmos,** v. 61, p. 33-36. 1972.

ROIG, F. A. Dendrocronología en lós bosques del Neotrópico: revisión y porspección futura. **In: Roig, F. A. (comp). Dendrocronología em América Latina.** EDIUNC, Mendoza, p. 307-355, 2000.

SASS, U.; KILLMANN, W.; ECKSTEIN, D. Wood formation in two species of Dipterocarpaceae in Peninsular Malasya. **IAWA Journal,** Leiden, v 16, p. 371-384, 1995.

SAVVA, Yu.V.; SCHWEINGRUBER, F.H.; VAGANOV, E.A.; MILYUTI, L.I. Influence of climate changes on tree-ring characteristics of Scots pine provenances in southern Siberia (Forest-steppe). **IAWA Journal**, Leiden, v. 24, n. 4, p. 371–383, 2003.

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

SCHWEINGRUBER, F. H. **Trees and wood in dendrochronology**. Springer-Verlag. 402 p., 1993.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree Rings and Environment: Dendroecology.** Hall Haupt Publishers, Berne and Stuttgart, Vienna, 609 p, 1996.

SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T. F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology,** Cambridge, v. 18, p.1–17, 2002.

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

SHELBOURNE, C. **Genotype environment interaction: its implications in forest tree improvement.** In: IUFRO GENETIC SABRAO JOINT SYMPOSIA, Tokyo, Proceedings. 28p., 1972.

SOLIZ-GAMBOA, C.C.; ROZENDAAL, D. M. A.; CECCANTINI, G.; ANGYALOSSY, V.; VAN DER BORG, K.; ZUIDEMA, P. A. Evaluating the annual nature of juvenile rings in Bolivian tropical rainforest trees. **Trees,** Berlin, v. 25, p.17–27, 2011.

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

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

STOKES, M. A.; SMILEY, T. L. **An introduction to Tree-ring Dating.** The University of Chicago Press, Chicago and London, 110 p., 1996.

TARODA, N. 1984. **Taxonomic studies on Brazilian species of *Cordia* L. (Boraginaceae).** Ph. D. Thesis. University of St. Andrews, Scotland, 1984.

TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **IPEF,** Piracicaba, n.29, p.25-36, 1985.

VYSOTSKAYA, L. G.; VAGANOV, E. A. Components of the variability of radial cell size in tree rings of conifers. **IAWA Bull.,** Utrecht, v. 10, p. 417-428, 1989.

YADAV, R.R.; SINGH, J.; DUBEY, B.; CHATURVEDI, R. Varying strength of relationship between temperature and growth of high-level fir at marginal ecosystems in western Himalaya, India**. Current Science**, Bangalore, v.86, p.1152–1156, 2004.

YANCHUK, A.D.; MICKO, M.M. Radial variation of wood density and fiber length in trembling aspen. **IAWA Bull.**, Utrecht, v. 11, n. 2, p. 211-215, 1990.

WORBES, M. Structural and Other Adaptations to Long-term Flooding by Trees in Central Amazonia. **Amazoniana,** Manaus, vol. 9, p.459-484, 1985.

WORBES, M. Dendrochronological Studies on Tropical Trees. **Plant Research and Development,** v. 32, p. 86-98, 1988.

WORBES, M. Growth Rings, Increment and Age of trees in Inundation Forests Savannas and a Mountain Forest in the Neotropics. **IAWA Bull**., Utrecht, vol.10, n.2, p.109-122, 1989.

WORBES, M. How 10 measure growth dynamics in tropical trees -A review. **IAWA Journal**, Leiden, v. 16, p.337-351, 1995.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology,** Cambridge, v. 87, p. 391-403, 1999.

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronology**, v.20 (1,2), p. 217-231, 2002.

WORBES, M.; JUNK, W. J. How old are the trees? The persistence of a myth. **IAWA Journal,** Leiden, v. 20, n.3, p. 255-260, 1999.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York, John Wiley & Sons. 1984.