

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

**Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de
Cariniana legalis (Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes
espaçamentos**

Ivanka Rosada de Oliveira

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

**Piracicaba
2015**

Ivanka Rosada de Oliveira
Engenheira Florestal

Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes espaçamentos
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2015

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

Oliveira, Ivanka Rosada de
Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Cariniana legalis*
(Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes espaçamentos / Ivanka Rosada de Oliveira. - -
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.
118 p. : il.

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

1. Jequitibá rosa 2. Plantação florestal 3. Espaço vital 4. Densitometria de raios X
5. Dendrocronologia 6. Dendroclimatologia 7. Crescimento I. Título

CDD 634.97342
O48a

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

Dedico,

*A os meus pais Mario e Marilene
E à minha irmã Bianca, por todo
apoio e amor.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família, Mario Lucio de Oliveira, Marilene Rosada de Oliveira e Bianca Rosada de Oliveira pelo extremo apoio, carinho e confiança, desejando sempre o meu crescimento profissional.

Ao Bruno Bordron, meu companheiro e amigo, por toda ajuda, paciência e pelo enorme carinho e amor. Merci mon amour!

Ao professor Mario Tommasiello Filho, pela orientação, conhecimento transmitido, apoio e confiança ao longo do projeto.

Ao pesquisador Israel de Lima por toda ajuda e acompanhamento nesses dois anos de pesquisa.

Ao Matheus Peres Chagas meu agradecimento especial, pelos ensinamentos, extrema paciência e amizade, não medindo esforços para me ajudar em todos os momentos.

Ao Aparecido Siqueira por toda ajuda na parte prática. Por tornar as idas à campo um prazer, pelas conversas, carinho e amizade que levarei sempre comigo.

À Maria Bermudez pelo carinho em que me acolheu no laboratório e pela ajuda laboratorial.

À Giovana Oliveira, pessoa maravilhosa que sempre esteve disponível em ajudar.

Ao professor Fidel Roig pelos ensinamentos e incentivo à pesquisa.

Ao professor Carlos Sette, precursor do meu interesse pela pesquisa e pela oportunidade do ingresso na pós-graduação.

Ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo por ter disponibilizado a área do presente estudo e por todos os anos de parceria.

Meu agradecimento especial ao Eduardo Longui, Miguel Freitas e Sonia Regina Campião pelo incentivo desde a época do estágio e por acreditarem no meu trabalho.

Ao André Fernando Cruz Ferreira e a Angel Boschiero Ferreira pela produção essencial de uma parte dos gráficos desse trabalho.

Ao Nikolas Mateus, Bruno Gomes e Laura Simões pelo auxílio em campo e no laboratório.

À ESALQ/USP e ao Departamento de Ciências Florestais pela oportunidade e por disponibilizar recursos para o sucesso deste projeto.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

Aos amigos do LAIM e da pós-graduação, Alisson Rangel, Alejandro Venegas, Camila Sarto, Claudio Anholetto, Danilo Ignacio, Felipe Neri, Gilles Chaix, José Peña, Laura Trebbi, Luiz Santini, Marco Arizapana, Mariana Franco, Marta Leite, Moisés Lobão, Nayara Marcon, Raquel Medeiros, Renata Bovi, Roger Legoas, Saly Takeshita, Samara Franzol, Tassio Trevizor, Ugo Belini, Victor Moutinho, Victor Cezar, Vinícius Castro.

Aos amigos Aline Hortense, Bruno Balboni, César Costa, Daniele Benatti, Marília Hanita e Victória Pires que mesmo distantes fizeram parte deste trabalho.

À Maria Rosa e Meire de Lima pelos momentos de alegria e pelas dificuldades superadas.

A todos da minha república pelos momentos inesquecíveis que guardarei para sempre no coração. Caroline Garcia, Priscila Garcia, Lucas Milani muito obrigada por fazerem parte do meu dia a dia, tornando-o mais leve e alegre. E em especial à Taila Strabeli pela amizade sincera.

A todas as pessoas que contribuíram para o sucesso desse trabalho, muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
RESUMÉ	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Objetivos e hipóteses.....	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 <i>Cariniana legalis</i> (Martius) O. Kuntze.....	23
2.2 Plantações de espécies nativas do Brasil.....	24
2.3 Dendrocronologia e suas aplicações	26
2.4 Dendrocronologia nos trópicos	28
2.5 Influência do espaçamento no crescimento das árvores em plantações	29
2.6 Densidade aparente da madeira.....	31
2.7 Densitometria de raios X aplicada à madeira	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Caracterização da área de estudo e da experimentação florestal	35
3.2 Seleção e caracterização das árvores de <i>C. legalis</i>	37
3.3 Coleta das amostras do lenho das árvores de <i>C. legalis</i>	37
3.4 Caracterização anatômica dos anéis de crescimento do lenho das árvores de <i>C. legalis</i>	38
3.4.1 Caracterização anatômica macroscópica	38
3.4.2 Caracterização anatômica microscópica	38
3.5 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento do lenho das árvores de <i>C. legalis</i>	39
3.5.1 Preparo dos discos do lenho para a demarcação dos anéis de crescimento.....	39
3.5.2 Demarcação e mensuração da largura dos anéis de crescimento	40
3.5.3 Sincronização das séries de largura dos anéis de crescimento.....	40
3.5.4 Obtenção das séries cronológicas dos anéis de crescimento.....	42
3.6 Dendroclimatologia: correlação anéis de crescimento vs. clima	44
3.7 Densitometria de raios X do lenho das árvores de <i>C. legalis</i>	44

3.7.1 Obtenção e preparo das amostras do lenho	44
3.7.2 Obtenção do perfil radial e longitudinal da densidade aparente do lenho .	45
3.7.3 Análise qualitativa do perfil radial do lenho	46
3.7.4 Variação da densidade aparente do lenho das árvores de <i>C. legalis</i>	47
3.8 Determinação do crescimento e volume do tronco das árvores de <i>C. legalis</i>	48
3.9 Análise Estatística	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 Características dendrométricas das árvores: pré-inventário	51
4.2 Caracterização anatômica dos anéis de crescimento	52
4.3 Variação da densidade aparente do lenho no sentido radial e sua relação com a estrutura anatômica.....	55
4.4 Variação da densidade aparente do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores	61
4.5 Variação da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - sentidos longitudinal e radial - das árvores de <i>C. legalis</i>	68
4.6 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento do lenho das árvores de <i>C. legalis</i>	72
4.7 Dendroclimatologia das árvores de <i>C. legalis</i>	76
4.8 Crescimento em altura e diâmetro do tronco das árvores de <i>Cariniana legalis</i>	84
5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
6 RECOMENDAÇÕES.....	91
REFERÊNCIAS.....	93

RESUMO

Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes espaçamentos

O presente estudo tem por objetivo avaliar o crescimento e a qualidade do lenho das árvores de *Cariniana legalis* submetidas a diferentes espaçamentos (3x1,5; 3x2; 3x2,5 m). O experimento localiza-se na Estação Experimental de Luiz Antônio-SP, do Instituto Florestal do Estado de São Paulo. Foram selecionadas 30 árvores de jequitibá rosa (10 árvores/tratamento) e seccionados discos na base, DAP e a cada 5m do tronco até a altura comercial das árvores. Foram realizadas as análises (i) anatômicas, com a descrição macro e microscópica do lenho com ênfase aos anéis de crescimento e (ii) dendrocronológicas, para a comprovação da anuidade da formação dos anéis de crescimento; (iii) densitometria de raios X, para obtenção do perfil longitudinal - radial de densidade aparente do lenho e imagem digital do lenho; (iv) dendroclimatologia, para verificar a influência dos fatores climáticos, como a precipitação e temperatura na formação dos anéis de crescimento e da (v) influência do espaçamento no crescimento radial acumulado/médio anual do tronco e no volume das árvores/ha. Os resultados indicaram que as árvores de *C. legalis* apresentam anéis de crescimento distintos, com a dendrocronologia confirmando a idade das árvores (38 anos) e a anuidade da formação dos anéis de crescimento. A densidade aparente do lenho decresce da base até a região intermediária, tendendo a aumentar próximo ao topo do tronco das árvores, com o maior valor no maior e menor espaçamento. As imagens digitais do lenho indicaram um decréscimo da densidade aparente do lenho no sentido medula - casca. Nos três espaçamentos, a análise dendroclimatológica indicou uma influência significativa das variáveis climáticas no crescimento radial do tronco das árvores de *Cariniana legalis*. Os meses do ano que influenciaram o crescimento radial do tronco das árvores foram distintos entre os tratamentos sendo que, entretanto, verifica-se um padrão de crescimento do tronco semelhante e relacionado com a precipitação mensal acumulada. O espaçamento entre árvores influenciou diretamente no ritmo de crescimento do tronco das árvores, sendo que as do maior espaçamento apresentaram a maior produção volumétrica do lenho, e as do menor espaçamento, o maior volume de madeira/ha. Conclui-se que a área do espaço vital (espaçamento) influencia significativamente o desenvolvimento das árvores de *Cariniana legalis*.

Palavras-chave: Jequitibá rosa; Espaçamento; Qualidade do lenho; Densitometria de raios X; Dendrocronologia; Dendroclimatologia; Manejo florestal

ABSTRACT

Evaluation of growth and wood quality of *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze trees under different spacings

The present study aims to assess growth and wood quality of *Cariniana legalis* trees in forest plantations under different spacings (1.5x3, 3x2, 3x2.5 m). The experiment is located in Luiz Antônio, São Paulo, at the Experimental Station belonging to the Forest Institute of São Paulo. It was selected 30 trees of "jequitibá rosa" (10 per treatment) and sectioned discs were removed at the base, DBH and every 5m to commercial height. With these samples 5 different analyzes were performed: (i) anatomical, by means of wood macroscopic and microscopic description with a view to growth rings, (ii) dendrochronological, to prove growth rings annuity; (iii) X-ray densitometry and digital X-rays to obtain the radial density profile in the longitudinal and radial direction; (iv) dendroclimatological, for checking the influence of climatic factors (monthly precipitation and average annual temperature) in growth rings formation and (v) verification of spacing influence on cumulative and annual radial growth, volume per tree and per hectare. Wood description indicates *C. legalis* trees have distinct growth rings. Dendrochronology confirmed annuity formation of growth rings as the number of rings found matches with the age of plantation, 38 years old. Apparent density decreases from the base to the middle region of the stem and tends to increase near the top, with higher average values in both widest and closest spacings. The analysis of digital images indicated a decrease in apparent density in pith-bark direction. Dendroclimatology indicated there was significant influence of climatic variables on radial growth of *Cariniana legalis* trees. The months influencing radial growth were different between treatments, however there is a similar pattern of growth related to monthly precipitation. The spacings used influenced directly the growth rate of the trees. The ones inserted in widest spacings had the highest volumetric production, on the other hand the largest volume per hectare occurred in the closest spacings. The conclusion was that size of living space influences significantly the development of *C. legalis* trees.

Keywords: Jequitibá rosa; Forest plantation; Living space; X-ray densitometry; Dendrochronology; Dendroclimatology; Growth

RESUMÉ

Evaluation de la croissance et de la qualité du bois des arbres de *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze en fonction de différents espacements

Cette étude a pour objectif d'évaluer la croissance et la qualité du bois de l'espèce *Cariniana legalis* en plantation forestière en fonction de différents espacements (3 x 1,5; 3 x 2; 3 x 2,5 m), visant une meilleure gestion de l'espèce à des fins de production de bois de qualités. Le site d'étude se situe dans la Station Luiz Antônio-SP, qui appartient à l'Institut Forestier de l'Etat de São Paulo. Pour cette étude, 30 arbres de "jequitibá rosa" (10/traitement) ont été sélectionnés et des disques ont été coupés à la base, à 1m30 de hauteur et tous les 5 m jusqu'à atteindre la hauteur commerciale des arbres. Différentes analyses ont été faites : (i) anatomiques, décrivant le bois de façon macro et microscopiques avec pour objectif de visualiser les anneaux de croissances; (ii) de dendrochronologie pour vérifier la formation annuelle des anneaux de croissances; (iii) de densitrométrie de rayons X et de rayons X digitale pour obtenir la densité apparente du profil radial dans le sens longitudinal; (iv) de dendroclimatologie pour montrer l'influence des facteurs climatiques (précipitations mensuelles cumulées et température annuelles moyenne) sur la formation des anneaux de croissances; et (v) de l'influence de l'espacement sur la croissance en radiale cumulé, la croissance annuelle moyenne, le volume de chaque arbre et le volume par hectare. Les résultats indiquent que les arbres de *C. legalis* présentent des anneaux de croissances distincts. La dendrochronologie a confirmé que l'âge de la plantation est bien de 38 ans et la formation annuelle des anneaux de croissance. La densité apparente diminue de la base jusqu'à la région intermédiaire et tend à augmenter vers le sommet de l'arbre, avec des valeurs plus fortes dans les traitements avec le plus grand et le plus petit espacement. L'analyse des images digitales a indiqué une diminution de la densité apparente dans le sens médullaire écorce. La dendroclimatologie quant à elle montre qu'il y a une influence significative des variables climatiques sur la croissance radiale des arbres de *Cariniana legalis*. Les mois qui ont le plus influencé la croissance radiale ne sont pas les mêmes en fonction des traitements, cependant il y a une tendance de croissance similaire due aux précipitations mensuelles cumulées. L'espacement utilisé a influencé directement le rythme de croissance des arbres en plantation. Les arbres du traitement avec le plus grand espacement présentent une production volumétrique plus importante alors que le plus grand volume par hectare a eu lieu dans l'espacement le plus petit. Cette étude montre donc que la taille de l'espacement influence significativement le développement des arbres de *C. legalis*.

Mots clés: Jequitibá rosa; Plantation forestière; Espace vital; Densitrométrie rayons X; Dendrochronologie; Dendroclimatologie; Croissance

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Crescimento de árvores de *Cariniana legalis* em experimentos implantados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (CARVALHO, 2003).....30
- Figura 2 - Localização da área experimental na EELA, do Instituto Florestal, em Luíz Antônio-SP35
- Figura 3 - Esquema do delineamento experimental das árvores de *C. legalis* nos 3 espaçamentos e a seleção das árvores/parcela.....36
- Figura 4 - (A) Seccionamento do tronco de árvore de *C. legalis* para o corte dos discos de lenho; (B) discos de lenho das regiões da base, DAP, 5, 10 e 15 m do tronco de árvore de *C. legalis*.....37
- Figura 5 - Preparo dos discos do lenho de árvore de *C. legalis* para a análise macroscópica. (A) Aplainamento da seção transversal dos discos do lenho em torno; (B) Lixamento do disco de lenho em lixadeira de cinta; (C,D) Polimento do disco de lenho em lixadeira orbital com e sem água corrente; (E) Aplicação de ar comprimido para a desobstrução dos vasos na seção transversal do disco de lenho39
- Figura 6 - Mensuração da largura dos anéis de crescimento do lenho de árvore de *C. legalis* pela da utilização de software de análise de imagem40
- Figura 7 - Exemplo de uma série padronizada de anéis de crescimento do tronco de árvore através do ajuste das suas mensurações originais43
- Figura 8 - Diagrama Ombrotérmico: Dados de precipitação mensal acumulada e temperatura média anual da Estação Meteorológica de São Simão – SP. Fonte: INMET (2014).....44
- Figura 9 - Densitometria de raios X. (A) Equipamento de dupla serra circular; (B) Amostra do lenho obtida após a utilização da serra circular; (C) Equipamento QTRS-01X; (D) Suporte metálico com a amostra do lenho; (E) Perfil da densidade aparente do lenho gerado pelo software46
- Figura 10 - Densitometria de raios X. (A) Câmara de irradiação do equipamento Faxitron X-ray; (B) Amostra do lenho inserida na câmara de radiação; (C) Imagem digital do lenho em escala de cinza47
- Figura 11 - Caracterização macroscópica dos anéis de crescimento de *C. legalis*, (A) região do lenho próxima à (A) medula e da (B) casca. [Setas indicam a delimitação dos anéis de crescimento; quadrados indicam os vasos, com

- destaque para a redução do diâmetro dos vasos do lenho inicial para o tardio]. Resolução = 1200 dpi 53
- Figura 12 - Estrutura anatômica do lenho de árvores de *C. legalis*, com destaque à seção transversal, no espaçamento (A) 3 x 1,5 m, (B) 3 x 2 m, (C) 3 x 2,5 m. Escala: 40; 12 e 280 μ m. Setas indicam a delimitação dos anéis de crescimento..... 54
- Figura 13 - Perfil radial da densidade aparente do lenho de árvore de *C. legalis* no espaçamento 3 x 1,5 m e respectivas imagem da seção transversal do lenho natural (escaneada) e digital (obtida por raios X), e destaque da estrutura anatômica macro (A1,2) e microscópica (A3). Escala = 40; 12 e 280 μ m..... 58
- Figura 14 - Perfil radial da densidade aparente do lenho de árvore de *C. legalis* no espaçamento 3 x 2 m e respectivas imagem da seção transversal do lenho natural (escaneada) e digital (obtida por raios X), e destaque da estrutura anatômica macro (A1,2) e microscópica (A3). Escala = 40; 12 e 280 μ m. 59
- Figura 15 - Perfil radial da densidade aparente do lenho de árvore de *C. legalis* no espaçamento 3 x 2,5 m e respectivas imagem da seção transversal do lenho natural (escaneada) e digital (obtida por raios X), e destaque da estrutura anatômica macro (A1,2) e microscópica (A3). Escala = 40; 12 e 280 μ m..... 60
- Figura 16 - Variação da densidade aparente média do lenho ao longo do tronco das árvores de *Cariniana legalis*, nos três espaçamentos..... 63
- Figura 17 - Perfil radial da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m - das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 1,5 m..... 64
- Figura 18 - Perfil radial da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m - das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 2 m..... 65
- Figura 19 - Perfil radial da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m - das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 2,5 m..... 66
- Figura 20 - Variação da densidade aparente no tronco das árvores de *Cariniana legalis* representativa dos três espaçamentos 71

- Figura 21 - Séries cronológicas padronizadas das árvores de *Cariniana legalis* nos três espaçamentos75
- Figura 22 - Correlação das cronologias dos anéis de crescimento de árvores de *C. legalis* com a precipitação mensal acumulada nos três espaçamentos. Linha pontilhada indica o início da formação do anel de crescimento.....81
- Figura 23 - Correlação das cronologias dos anéis de crescimento de árvores de *C. legalis* com a temperatura média mensal nos três espaçamentos. Linha pontilhada indica o início da formação do anel de crescimento82
- Figura 24 - Variáveis de crescimento das árvores de *C. legalis* nos três espaçamentos. (A) altura total (HT); (B) diâmetro à altura do peito (DAP); (C) volume por hectare (Vha) e (D) incremento radial médio anual (IRMA). Letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). Barras representam o erro padrão86
- Figura 25 - Incremento Radial Acumulado (IRA) do lenho do tronco das árvores de *C. legalis* nos três espaçamentos87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do DAP do tronco das árvores de <i>C. legalis</i> selecionadas de cada espaçamento.....	51
Tabela 2 - Valores da altura do tronco das árvores de <i>C. legalis</i> selecionadas de cada espaçamento.....	52
Tabela 3 - Variação da densidade aparente média do lenho no DAP do tronco das árvores de <i>Cariniana legalis</i> nos três espaçamentos estudados.....	55
Tabela 4 - Densidade aparente do lenho média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação ao longo do tronco das árvores de <i>Cariniana legalis</i> , no espaçamento 3 x 1,5 m	62
Tabela 5 - Densidade aparente do lenho média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação ao longo do tronco das árvores de <i>Cariniana legalis</i> , no espaçamento 3 x 2 m	62
Tabela 6 - Densidade aparente do lenho média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação ao longo do tronco das árvores de <i>Cariniana legalis</i> , no espaçamento 3 x 2,5 m	63
Tabela 7 - Densidade aparente média do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m - das árvores de <i>Cariniana legalis</i> , nos três espaçamentos	68
Tabela 8 - Controle de qualidade e datação cruzada dos anéis de crescimento das árvores de <i>C. legalis</i> nos três espaçamentos.....	72
Tabela 9 - Correlações entre os índices residuais das árvores de <i>Cariniana legalis</i> nos três espaçamentos	74
Tabela 10 - Correlação entre as séries cronológicas das árvores de <i>C. legalis</i> com a precipitação mensal acumulada e a temperatura mensal média nos três espaçamentos	77
Tabela 11 - Altura total (HT), diâmetro a altura do peito (DAP), volume por árvore (Varv) e por hectare (Vha), incremento radial acumulado (IRA) e médio anual (IRMA) das árvores de <i>C. legalis</i> nos três espaçamentos.....	84

1 INTRODUÇÃO

Atualmente 5% das áreas florestais no mundo são constituídas por plantações florestais, as quais fornecem pouco mais de 33% da matéria prima para a produção mundial de produtos lenhosos, com um papel crescente para atender o aumento da demanda mundial. O aumento da população e a necessidade de terras cultiváveis no Brasil e em outros países fazem com que as plantações florestais fiquem restritas a solos frágeis e/ou pobres (COSSALTER; PYE-SMITH, 2003). Um desafio atual é promover o aumento sustentável da produção florestal dada à demanda do mercado no médio e longo prazo.

Até a década de 1960, as florestas nativas constituíam a principal fonte de suprimento para atender o mercado florestal. No entanto, as práticas de manejo em larga escala, realizadas de forma não sustentável, e a elevada demanda de madeira comprometeram a eficiência do setor florestal brasileiro (PEREIRA, 2003).

Nos últimos anos, observa-se um aumento no consumo e na valorização da madeira de espécies nativas com potencial madeireiro, devido à crescente demanda no mercado, a tendência dos preços a permanecerem altos e a sua elevada qualidade (FAO, 2012). No entanto, há poucas informações silviculturais à respeito das espécies nativas visando atingir sua maior produtividade e qualidade.

Neste contexto, a realização de um manejo sustentável das plantações florestais permite uma produtividade contínua de madeira, com menor tempo de rotação e com a aplicação correta dos recursos naturais (SILVA, 1996).

No manejo florestal uma das principais técnicas é o espaçamento entre as árvores devido às implicações silviculturais, tecnológicas e econômicas. É uma das principais variáveis silviculturais responsáveis pelo controle da qualidade do lenho, afetando o crescimento, idade de corte e a forma do tronco das árvores, os quais resultam em alterações na qualidade da madeira (BALLONI; SIMÕES, 1980). Sua escolha na implantação florestal depende de vários fatores como: as variáveis climáticas e características edáficas e fisiográficas da região, produtividade da espécie, valor e uso final da madeira produzida e das variáveis de custos de produção.

A árvore de *Cariniana legalis*, conhecida como jequitibá rosa, faz parte da lista de espécies promissoras para as plantações comerciais madeireiras. As árvores dessa espécie apresentam um bom desempenho silvicultural, podendo ser inseridas em plantações mistas ou puras, além da sua madeira possuir alto valor econômico (PORTAL NACIONAL DA MADEIRA - REMADE, 2014). Atualmente, alguns produtores do setor florestal de madeira nobre têm investido em plantações florestais com essa espécie, mas, ainda, a madeira não está sendo comercializada pela pouca idade das árvores.

Apesar do crescente investimento em plantações comerciais da espécie, a literatura sobre o assunto é bastante escassa e há pouco conhecimento tecnológico sobre sua madeira e sua correta aplicação. Ressalta-se assim, a necessidade de mais estudos sobre a melhor forma de manejo a ser aplicada nas plantações de espécies tropicais para a produção de madeira de qualidade, bem como conhecimento sobre as suas propriedades e possíveis usos, a fim de atender a elevada demanda do mercado madeireiro mundial.

1.1 Objetivos e hipóteses

Geral: avaliar o crescimento e a qualidade do lenho de árvores de *C. legalis* em plantação florestal sob diferentes espaçamentos.

Específicos: (i) descrição anatômica macro e microscópica do lenho com ênfase aos anéis de crescimento; (ii) comprovação da anualidade da formação dos anéis de crescimento; (iii) avaliação do perfil radial e longitudinal de densidade aparente do lenho pela densitometria de raios X; (iv) análise da influência dos fatores climáticos na formação dos anéis de crescimento; (v) determinação do crescimento radial acumulado e médio/anual do tronco e do volume de lenho/árvore e por hectare.

Hipóteses: (i) as árvores de *C. legalis* no maior espaçamento apresentarão maior crescimento diametral, sendo decrescente com a redução do espaço vital; (ii) as árvores de *C. legalis* no menor espaçamento formarão lenho de maior densidade aparente e terão uma maior produção volumétrica/hectare.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze

A *Cariniana legalis* está inserida na família Lecythidaceae que compreende cerca de 300 espécies. É conhecida como jequitibá rosa no estado de São Paulo e em grande parte dos estados brasileiros (CARVALHO, 2003). Seu nome deriva do latim *legalis*, cujo significado é legal, devido a sua madeira ser classificada como de lei (REITZ, 1981).

As árvores da espécie são nativas do Brasil sendo encontradas naturalmente nas regiões sul, no Paraná; sudeste em Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais; centro oeste no Mato Grosso e nordeste, em Alagoas, Bahia, Paraíba e Pernambuco (REITZ, 1981; CARVALHO, 1994). São típicas da Floresta Atlântica, na formação Baixo Montana e na Submontana, e da Floresta Semidecidual, ocorrendo em baixadas e encostas úmidas com baixa densidade populacional (PEIXOTO et al., 1995).

O jequitibá rosa é considerado como umas das maiores e mais longevas árvores dos biomas tropicais da América Latina, podendo ultrapassar 500 anos de idade (CARVALHO, 2003) e atingindo, quando adulta, 30-50 m de altura e 70-100 cm de diâmetro do tronco (MAINIERI; CHIMELO, 1989).

São árvores semi-heliófilas, tolerantes ao sombreamento durante os primeiros anos e intolerantes às baixas temperaturas quando jovens; são semicaducifólias, apresentando características de secundária tardia. Seu tronco é reto e cilíndrico, atingindo 20 m de altura e constituído de aproximadamente 76% de lenho e 24% de casca (MORI; PRANCE, 1983; PEIXOTO et al., 1995). São plantas monóicas, com reprodução mista predominantemente alógama (SEBBENN et al., 2000) e em plantações o processo reprodutivo inicia-se em torno dos 20 anos (CARVALHO, 2003).

Sua madeira é considerada moderadamente densa (0,53 g.cm⁻³; 15% de umidade), com o alburno de coloração bege rosado pouco distinto do cerne; a superfície é irregularmente lustrosa e ligeiramente áspera ao tato, com textura média e uniforme, grã direita, cheiro e gosto imperceptíveis, macia ao corte e de baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos. A madeira apresenta fácil trabalhabilidade e com propriedades mecânicas média-baixa, podendo ser utilizada

na fabricação de móveis, obras internas como contraplacados, folhas faqueadas, laminados, compensados, confecção de brinquedos, salto de calçados, material escolar, carpintaria e marcenaria e construção civil (MAINIERI; CHIMELO, 1989). A madeira pode também ser utilizada na indústria de celulose por produzir papel de boa qualidade (LORENZI, 2002).

A anatomia da madeira é caracterizada pela presença de vasos difusos, solitários e múltiplos, com placas de perfuração simples, frequência de 20 vasos.mm⁻², diâmetro de 108,1 µm, tilos abundantes e pontoações radiovasculares. As fibras apresentam 900-1600 µm de comprimento, paredes delgadas e espessas. O parênquima axial é reticulado em faixas, visível a olho nu; o parênquima radial possui células procumbentes, uni e bisseriados; cristais prismáticos são observados nas células do parênquima axial e sílica nas do parênquima radial. Os anéis de crescimento são caracterizados ou como indistintos/ausentes, ou distintos individualizados por zonas fibrosas tangenciais mais escuras e/ou pelo afastamento das linhas de parênquima (CURY, 2001; INSIDE WOOD, 2014; SANTINI JUNIOR, 2013).

Atualmente, as árvores de jequitibá rosa encontram-se na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção, se enquadrando na categoria vulnerável, devido à sua exploração desordenada, pela alta qualidade da sua madeira e por ocorrer no bioma Mata Atlântica, sofrendo forte redução da área de sua ocorrência natural (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE – IUCN, 1998; RIZZINI, 1971; SIQUEIRA et al., 1986; YOUNG; GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2005).

Apesar do risco de extinção das árvores de jequitibá rosa, pouco tem sido feito para a sua conservação; a conservação *in situ* tem ocorrido em estações ecológicas e reservas públicas; a conservação *ex situ* é deficiente e relatada em apenas duas populações base de conservação no estado de São Paulo (SEBBEN et al., 2000).

2.2 Plantações de espécies nativas do Brasil

A alta exploração da madeira das árvores de espécies florestais tropicais tem acarretado em um déficit no seu suprimento e, visando suprir a sua demanda,

tem-se observado um aumento nos investimentos em plantações de espécies tropicais (FAO, 2012). Entretanto, nota-se que são escassas as plantações de espécies nativas visando à exploração comercial, devido, principalmente, ao lento crescimento das árvores e à falta de informações silviculturais e de oferta de sementes e de mudas de qualidade (LIMA et al., 2010).

As informações sobre as plantações de espécies nativas tropicais são importantes para as indicações do seu comportamento silvicultural a longo prazo; para sugerir medidas de manejo florestal, para melhor crescimento volumétrico e de produção de madeira de qualidade, com viabilidade econômica; além da avaliação do potencial de sobrevivência para fins de conservação genética (SATO et al., 2008).

Das espécies nativas tropicais utilizadas em plantações florestais destacam-se as árvores de *Cariniana legalis*, consideradas como promissoras pelo alto valor econômico agregado da sua madeira, pelo desempenho silvicultural, pela aptidão para os programas de regeneração artificial, sendo, assim recomendada para as plantações florestais puras ou mistas (REMADE, 2014).

As árvores de jequitibá rosa têm sido utilizadas em plantações florestais mistas no município de Garça-SP, devido à tolerância média à insolação direta, visando a produção de madeira de qualidade. No entanto, são plantações jovens e a madeira das árvores não atingiu o porte para corte, processamento e comercialização (TROPICAL FLORA, 2013). Apesar das vantagens, as plantações florestais comerciais de jequitibá rosa são escassas (SEBBEN et al., 2000). Com o objetivo de avaliar seu comportamento diversos estudos têm sido realizados (KAGEYAMA; CASTRO, 1989; LIMA et al., 2010; SATO, et al., 2008; SILVA et al., 2012; ZANATTO et al., 1982).

Silva et al. (2012) ao estudarem uma plantação florestal de árvores de *Cariniana estrellensis* (jequitibá branco) demonstraram, através de análise econômica, que os resultados são promissores para a produção de madeira de qualidade.

2.3 Dendrocronologia e suas aplicações

A dendrocronologia é o estudo da sequência cronológica dos anéis de crescimento anuais formados no lenho do tronco das árvores (STOKES; SMILEY, 1968) e atingiu um elevado nível de especialização, importância e aplicação, incorporando os conhecimentos e técnicas da anatomia e química da madeira, fisiologia das árvores, genética florestal, silvicultura, climatologia, hidrologia, estatística, etc. (TOMAZELLO FILHO et al., 2001).

Um dos pioneiros no seu desenvolvimento, Andrew Ellicott Douglas (1887-1962), ao estudar os anéis de crescimento das árvores, introduziu a metodologia da datação cruzada como ferramenta para determinar a cronologia anual exata de sua formação e a reconstrução das condições climáticas das regiões de estudo (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 1988).

Os anéis de crescimento anuais são constituídos pelo lenho inicial, formado no início da estação chuvosa, com elevada atividade do meristema cambial, propiciando maior taxa de crescimento do tronco e pelo lenho outonal, formado quando há redução da atividade cambial, ocorrente em condições climáticas caracterizadas pela redução da temperatura e da precipitação (PANSHIN; DE ZEEUW, 1970).

São aplicados para estabelecer a idade das árvores, pela determinação exata do ano de sua formação, e a variação da taxa de crescimento do tronco das árvores, resultante da variabilidade climática, com alternância de períodos favoráveis e desfavoráveis, registrados pelos anéis de crescimento largos e estreitos (FRITTS, 1976).

Além da determinação da idade das árvores, os anéis de crescimento indicam a dinâmica de crescimento do tronco, a reconstrução climática e são aplicados como indicadores ambientais e das variações ecológicas por fatores naturais e antrópicos (TOMAZELLO FILHO et al., 2001). Segundo Schweingruber (1988), os anéis de crescimento refletem, também, a disponibilidade dos nutrientes do solo para o crescimento das árvores, sendo dependente do teor de umidade do solo e, assim, da quantidade de precipitação pluviométrica.

As cronologias dos anéis de crescimento anuais do tronco das árvores podem ser relacionadas com os dados climáticos, constituindo-se em um ramo da dendrocronologia, a dendroclimatologia. As cronologias dos anéis de

crescimento são aplicadas como *proxies* climáticas para a reconstrução das condições climáticas, do clima atual e indicando as tendências das mudanças no longo prazo (FICHTLER et al., 2004). As reconstruções climáticas dos anéis de crescimento relacionam-se com os dados sociais, econômicos e ecológicos permitindo inferir sobre o efeito do impacto antropogênico e ambiental dos eventos climáticos extremos (STAHLE et al., 1999).

A correlação dos anéis de crescimento com as variáveis climáticas é importante ferramenta aplicada na construção de modelos de crescimento do tronco e, desta forma, contribui para a elaboração de estratégias de manejo florestal sustentável (ROSA, 2008).

A utilização das técnicas dendrocronológicas em estudos de manejo florestal apresenta elevada acurácia e diversas vantagens como (i) fornecer a idade exata das árvores e da taxa de crescimento do tronco, (ii) estimar os valores de crescimento do tronco de árvores de pequeno, médio e grande porte, (iii) quantificar a variação do crescimento do tronco entre árvores por longo período de tempo e (iv) verificar as diferenças de crescimento do tronco entre as árvores da mesma e de diferentes espécies (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006).

Schöngart et al. (2007) em um estudo da composição florística, estrutura e regeneração florestal de um povoamento de árvores de *Ficus insipida* (Moraceae) de 20 anos, utilizaram modelos de crescimento para obter os dados de diâmetro, altura e volume do tronco baseado na análise dos anéis de crescimento.

Jiménez e Arango (2011) avaliaram o crescimento de árvores de *Prioria copaifera* (Caesalpinaceae) de população natural com técnicas de dendrocronologia e indicaram os valores de diâmetro, volume e taxas de crescimento do tronco das árvores em função da idade.

Ridder et al. (2013), analisando árvores de *Terminalia superba* (Combretaceae) de floresta natural e plantação determinaram pela mensuração dos anéis de crescimento a taxa de crescimento do tronco e a estimativa do período de aplicação dos tratamentos silviculturais para atingir o melhor desenvolvimento do tronco das árvores da espécie.

2.4 Dendrocronologia nos trópicos

Nos últimos anos, diversos estudos dendrocronológicos têm sido realizados com espécies tropicais (CHAGAS, 2009; LISI et al., 2008; ROIG et al., 2001; SCHONGART, 2008; TOMAZELLO FILHO et al., 2009).

Em regiões de clima tropical as mudanças sazonais da atividade cambial do tronco das árvores são mencionadas como mais uniformes em comparação às das zonas temperadas (WORBES; JUNK, 1989), com o ritmo de crescimento do tronco das árvores induzido por períodos de seca curtos ou por inundações de longa duração (WORBES, 2002). Destacam-se, ainda, dentre as características dominantes do clima tropical úmido, a alta temperatura e a intensa precipitação pluviométrica (BORMANN; BERLYN, 1981).

Coster (1927) demonstrou uma clara conexão entre a precipitação sazonal e os eventos fenológicos relacionados à atividade cambial e a formação dos anéis de crescimento. Em geral, observa-se uma relação positiva entre o valor da precipitação pluviométrica e a largura dos anéis de crescimento no lenho de árvores de muitas espécies do bioma tropical do mundo (WORBES, 1995).

Segundo Worbes (2002), a temperatura é o maior fator limitante para o crescimento das árvores, sendo praticamente constante nos trópicos, com a variação da precipitação anual sendo considerada como limitante para o crescimento do tronco das árvores das diferentes espécies.

Alguns estudos evidenciam que as árvores de muitas espécies tropicais parecem formar camadas de crescimento menos distintas mas, no entanto, similares aos anéis de crescimento, embora muitas vezes não representem um ano de crescimento sendo, denominados de anéis de crescimento falsos ou ausentes (BORMANN; BERLYN, 1981).

Apesar da existência de estudos dendrocronológicos de árvores de espécies tropicais, ainda são escassas na literatura especializada as análises dos padrões de formação dos anéis de crescimento dessas árvores em plantação florestal.

2.5 Influência do espaçamento no crescimento das árvores em plantações

O espaçamento é um dos principais fatores que influenciam na altura, diâmetro e volume do tronco das árvores em plantações florestais, além de determinar a qualidade e aplicações da madeira. Pelo espaçamento infere-se sobre o número de árvores em determinada área e a melhor forma de manejo e de colheita.

Para definir o melhor espaçamento é necessário conhecer sobre a silvicultura das árvores da espécie e as características edafo-climáticas-fisiográficas da região de implantação visando obter madeira em quantidade e qualidade (PRYOR, 1967; ZOBEL; EVANBUIJTENEN, 1989).

Scolforo (1997) demonstrou a influência direta do espaçamento de plantio na qualidade do lenho das árvores, com destaque para a densidade da sua madeira. Entretanto, Ponce (1983) indicou anteriormente que o espaçamento de plantio apresenta pouco efeito na qualidade da madeira, mas sim no volume de cada árvore.

O espaçamento influencia a disponibilidade dos fatores de crescimento, como água, luz e nutrientes, para as árvores. Quanto menor a disponibilidade desses elementos, maior será a necessidade de aumentar o espaçamento entre as árvores (MARTINS; BALLONI; ZANI, 1989). Sua escolha tem como objetivo proporcionar o espaço suficiente para o melhor desenvolvimento das árvores, conciliando o maior crescimento volumétrico, com a qualidade e menor custo final da madeira (MARTINS, 2008).

Carvalho (2003) analisou o desenvolvimento e a mortalidade das árvores de *legalis* em plantações no sul e sudeste do Brasil, em relação à idade, espaçamento e condições ambientais (Figura 1). Constatou-se uma sobrevivência de 100% das árvores no espaçamento 3 x 2 e 3 x 1,5 m em Dois Vizinhos-PR e Paranaguá-PR, e maior valor da altura, diâmetro e incremento médio anual do tronco as árvores no espaçamento 2 x 2 m em São Simão-SP, área próxima a deste estudo.

Local	Idade (anos)	Espaçamento (m x m)	Plantas vivas (%)	Altura média (m)	DAP médio (cm)	IMAv (a)
Campo Mourão, PR ¹	12	4 x 2	50,0	12,88	12,8	4,30
Cianorte, PR ²	12	3 x 3	40,0	11,76	11,8	...
Corupá, SC ²	2	4 x 3	25,0	0,33	...	...
Cosmópolis, SP ³	22	...	...	18,20	17,3	...
Dois Vizinhos, PR ⁴	10	2 x 2	96,3	7,98	9,3	11,60
Dois Vizinhos, PR ⁴	10	3 x 2	100,0	12,00	16,4	21,10
Foz do Iguaçu, PR ⁵	6	4 x 2,5	16,6	3,40	3,5	...
Jaboticabal, SP ⁶	4	2,8 x 2	...	...	...	...
Laranjeiras do Sul, PR ⁷	6	3 x 3	76,2	2,08	1,4	...
Linhares, ES ⁸	6	3 x 2	41,7	2,80	6,6	...
Linhares, ES ⁸	132(e)	3 x 2	...	...	...	6,75
Luiz Antonio, SP ⁹	7	3 x 2	98,9	7,41	10,4	9,40
Luiz Antonio, SP ¹⁰	7	3 x 2,5	...	7,24	10,8	...
Paranaguá, PR (c) ¹²	101(e)	3 x 1,5	100,0	9,98	11,1	12,75
Piracicaba, SP (d) ¹¹	22	...	...	10,26	7,9	5,90
São Simão, SP ¹³	14	2 x 2	71,0	13,55	16,1	21,70
Toledo, PR ¹⁴	82(e)	4 x 4	16,7	3,50	3,0	...

(a) m³.ha⁻¹.ano⁻¹

Figura 1 - Crescimento de árvores de *Cariniana legalis* em experimentos implantados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (CARVALHO, 2003)

Kageyama e Castro (1989), avaliando o crescimento em diâmetro e altura do tronco de árvores de diferentes espécies nativas, obtiveram respostas positivas e negativas, com o aumento do espaçamento. Lima et al. (2010) estudaram plantações de árvores de *Poecilanthe parviflora* (Fabaceae) em diferentes espaçamentos e obtiveram resultados satisfatórios utilizando espaçamentos adensados e desbastes sistemáticos e regulares para o manejo florestal em ciclos longos para a produção de madeira de maior diâmetro e valor comercial.

Em um experimento com árvores de *Zeyheria tuberculosa* (Bignoniaceae) (ipê felpudo) em diferentes espaçamentos, constatou-se que o manejo correto resulta em aumento significativo do DAP, altura e volume de madeira das árvores (SOUZA, 2004).

Silva (2005) estudou o efeito do espaçamento no crescimento do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla* constatando maior produção de madeira no menor espaçamento. Martins (2008) analisando o efeito do espaçamento em plantação de árvores de eucalipto observou maior volume individual de madeira nas árvores nos maiores espaçamentos.

Castelo (2007) avaliando a qualidade da madeira de árvores de *Pinus taeda* em diferentes espaçamentos verificou que o aumento do espaçamento acarretou em menor valor de densidade da madeira por árvore. Em estudo de Paulesky (2010) da qualidade da madeira de árvores de *Pinus taeda* em 9 espaçamentos concluiu-se

que a densidade da madeira não foi influenciada pelo espaçamento.

Clark III e Saucier (1989) aplicaram a análise dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus elliotii* e *P. taeda* verificando a influência do espaçamento na qualidade da madeira. Os autores concluíram que o espaçamento influenciou significativamente a densidade do lenho; nos 8 anéis de crescimento iniciais a densidade da madeira foi maior com o aumento do espaçamento; com o crescimento das árvores (aumento da idade) a densidade da madeira diminuía.

2.6 Densidade aparente da madeira

Na determinação da qualidade da madeira, a densidade é a variável mais simples e mais utilizada; relaciona-se com o rendimento em fibra nas indústrias de papel e celulose e com as propriedades físico-mecânicas da madeira podendo ser utilizadas na determinação do seu uso final (FERREIRA, 1970).

A densidade da madeira é considerada uma das propriedades físicas de maior importância, resultado da integração das características anatômicas (dimensão, frequência das células) e químicas (como o teor de extrativos). É utilizada na qualificação da madeira, possibilitando estimar as demais propriedades do lenho (HOADLEY, 2000), sendo determinada pela massa em relação ao volume (DECOUX; VARCIN; LEBAN, 2004).

Influenciam na densidade do lenho das árvores, a sua idade, genótipo, tratos silviculturais, localização geográfica, disponibilidade hídrica, fatores climáticos, entre outros fatores. A densidade da madeira também varia entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, entre árvores da mesma espécie e entre diferentes partes das árvores, nos sentido longitudinal-radial do tronco (BARNETT; JERONIMIDIS, 2003; KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; SILVA et al., 2004).

Maddern (1965) constatou que a amostragem do lenho para a determinação da sua densidade pode ser indicada de uma região do tronco. Assim, Nylander (1965) sugeriu que as amostras do lenho fossem retiradas na altura do DAP (1,30 m do solo) do tronco das árvores. Ferreira (1968) e Trugilho (2009) concluíram que a posição ao nível do DAP do tronco permite estimar a densidade média da madeira de todo o tronco.

Panshin e Zeeuw (1970) mostraram que não há um padrão definido de

variação longitudinal da densidade ao longo do tronco das árvores, entretanto definiram 3 modelos: decrescente uniformemente com a altura; decrescente até certo ponto e crescente daí até o topo da árvore e crescente da base para o topo, não obedecendo a um padrão uniforme de variação.

As variações da densidade do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores são, também, associadas às porcentagens de lenho juvenil e adulto. Para as árvores de espécies com diferença entre o lenho adulto e juvenil (estrutura anatômica e química) há uma alteração significativa da densidade do lenho com a altura do tronco (AMARAL, 1994).

Trianoski et al. (2013) estudaram a variação da densidade do lenho no sentido longitudinal do tronco de árvores de 8 espécies de *Pinus*. Constataram em duas espécies diferença estatística significativa dos extremos em relação as demais posições do tronco (base e 100%) das árvores; em outras duas espécies o valor médio mostrou diferenças estatísticas significativas entre maior número de posições ao longo do fuste. Em cinco espécies, a posição 75% da altura comercial do tronco mostrou aumento na densidade em relação à posição 50%. Como citado, apesar de não haver padrão definido da variação longitudinal da densidade do lenho ao longo do fuste, supõe-se que o maior valor da densidade ocorra na base e topo do tronco das árvores pelas exigências mecânicas.

Valente et al. (2013), estudando árvores de *Anadenanthera peregrina* (Fabaceae-Mimosoideae) (angico-vermelho) com idade desconhecida, constataram que a densidade aparente do lenho decresce da base para o topo da árvore. Eloy et al. (2013) em plantação de árvores de duas espécies nativas, observaram na posição longitudinal do tronco em árvores de *Mimosa scabrella* (Fabaceae) um decréscimo da densidade aparente do lenho da base ao DAP, seguido de um acréscimo, sem tendência de estabilização com a altura; nas árvores de *Ateleia glazioveana* (Fabaceae) verificou-se tendência de decréscimo da densidade do lenho no sentido base-topo do seu tronco.

2.7 Densitometria de raios X aplicada à madeira

Diversas técnicas são utilizadas para a determinação da densidade aparente da madeira, destacando-se a densitometria de raios X. Esta técnica foi

desenvolvida por Polge em 1963, indicando inúmeras utilizações como, avaliação da qualidade; detecção do lenho de reação; retratabilidade, colapso e recondicionamento; comparação entre procedências de uma espécie e localização de extrativos no interior do lenho (POLGE, 1966).

Pela densitometria de raios X, obtém-se valores de densidade aparente do lenho a intervalos micrométricos (ex. 40 μm), possibilitando análise das variações intra e inter-anéis de crescimento. Schweingruber (1990) indicou que a técnica de densitometria mostrou-se adequada para analisar a variação da densidade aparente do lenho em anéis de crescimento anuais. Esta técnica também pode ser aplicada em estudos de genética, fertilização, irrigação, desrrama, ataque de fungos e insetos, fatores climáticos e do solo etc., e relacioná-los com a estrutura e a qualidade da madeira (TOMAZELLO FILHO; CHAGAS; ROQUE, 2005).

Nos últimos anos, diversos estudos têm sido feitos sobre a aplicação da densitometria de raios X em espécies tropicais, muitos visando à delimitação e demarcação dos limites dos anéis de crescimento, bem como a análise da variação radial da densidade aparente no lenho inicial e tardio, comprovando a eficácia da técnica (ALVARADO, 2009; CHAGAS, 2009; LOBÃO et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo e da experimentação florestal

A área experimental localiza-se na Estação Experimental de Luiz Antônio (EELA), do Instituto Florestal do Estado de São Paulo, município de Luiz Antônio/SP, nas coordenadas geográficas de 21° 40' S, 47° 49' W e 550 m de altitude (Figura 2). O relevo é plano, com 5% de inclinação e o solo é Latossolo Roxo (SEBEN et al., 2009). A classificação climática, de acordo com Koeppen, é Aw, com temperatura média anual de 21,7°C, máxima de 28,2°C e mínima de 15,2°C. A precipitação média anual é de 1516 mm, com mínima mensal de 26,6 mm e máxima de 273,6 mm (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI, 2013).

Em 1975 foi instalado o experimento com o plantio de árvores de *Cariniana legalis* em diferentes espaçamentos, e, neste período, foi mantida a limpeza através de roçadas, não sendo realizados desbastes. A experimentação florestal abrange uma área de 5.568 m², constituída por 5 blocos, divididos em 3 parcelas (18 x 18 m: 324 m²), com cada parcela representando um espaçamento. As parcelas contêm duas bordaduras externas e internas, totalizando 1.046 árvores. Cada parcela útil compreende 27, 28 e 25 árvores, nos espaçamentos de 3 x 1,5; 3 x 2 e 3 x 2,5 m (Figura 3).

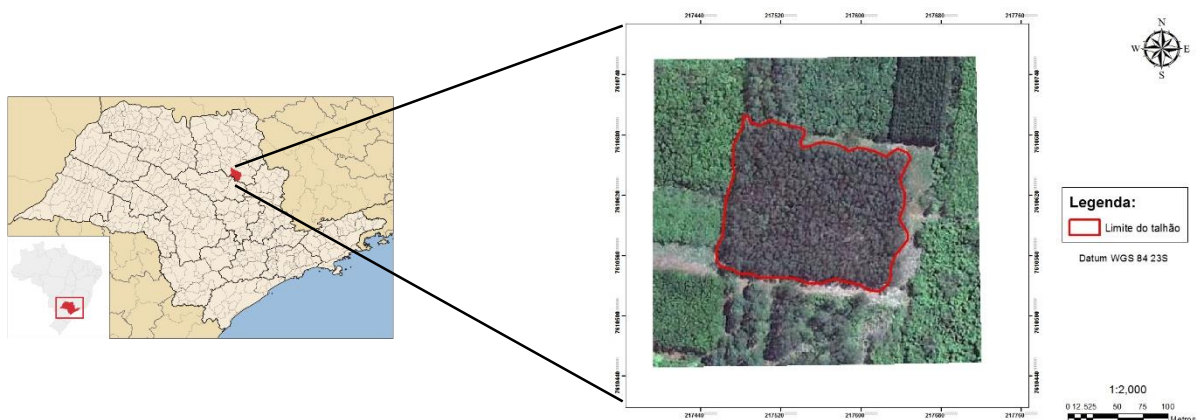


Figura 2 - Localização da área experimental na EELA, do Instituto Florestal, em Luiz Antônio-SP

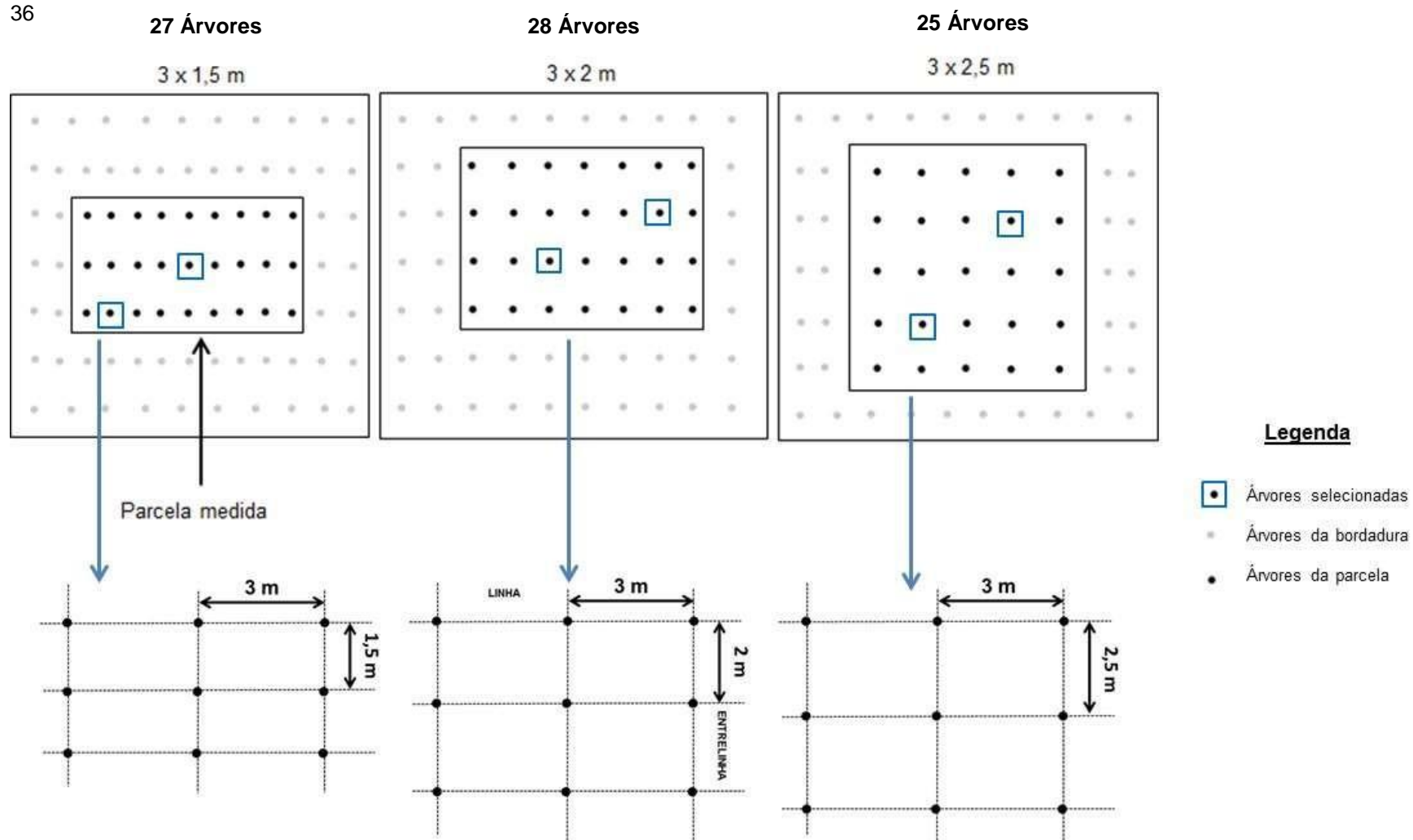


Figura 3 - Esquema do delineamento experimental das árvores de *C. legalis* nos 3 espaçamentos e a seleção das árvores/parcela

3.2 Seleção e caracterização das árvores de *C. legalis*

Foram selecionadas 10 árvores de *C. legalis*/tratamento (3 espaçamentos), sendo 2 árvores/parcela e 6 árvores/bloco, em um total de 30 árvores. Na seleção das árvores realizou-se um censo florestal pela (i) análise da retiniedade do fuste e do estado fitossanitário das árvores sendo classificadas como ruim, boa, ótima e morta, (ii) mensuração da circunferência do tronco na altura do peito (CAP) e (iii) localização das árvores, descartando-se as da bordadura. Os resultados foram inseridos em planilha Excel obtendo-se os valores médios do DAP do tronco das árvores/espaçamento. As árvores selecionadas se enquadraram no valor do DAP médio, considerando sua posição no interior da parcela e da análise visual (Figura 3).

3.3 Coleta das amostras do lenho das árvores de *C. legalis*

As 30 árvores de *Cariniana legalis* selecionadas foram cortadas e mensurada a altura total do tronco. Em seguida, foram demarcados e cortados discos do lenho (15 cm de espessura) na base, DAP e a cada 5 m até a altura comercial do tronco (Figuras 4A, B). Os discos de lenho foram identificados, transferidos para sacos de estopa, lacrados e transportados para o laboratório.

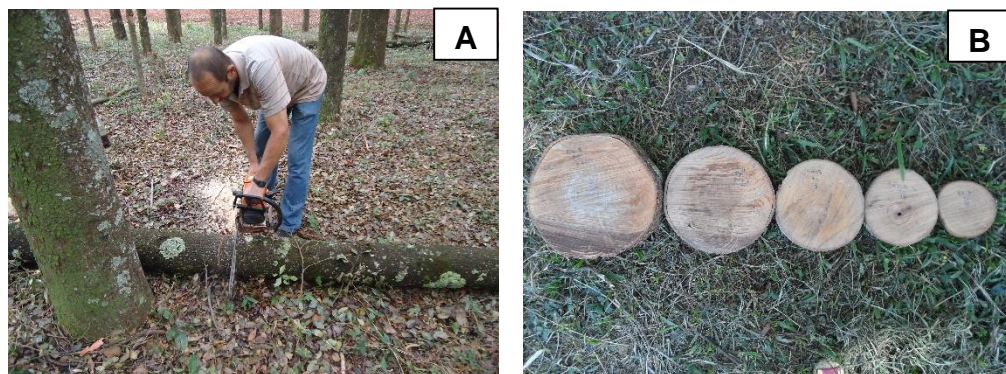


Figura 4 - (A) Seccionamento do tronco de árvore de *C. legalis* para o corte dos discos de lenho; (B) discos de lenho das regiões da base, DAP, 5, 10 e 15 m do tronco de árvore de *C. legalis*

3.4 Caracterização anatômica dos anéis de crescimento do lenho das árvores de *C. legalis*

3.4.1 Caracterização anatômica macroscópica

Na caracterização macroscópica do lenho das árvores de *C. legalis*, foi selecionado o disco do DAP, seccionado ao meio e demarcados e cortados corpos de prova orientados (1 x 1 x 1,5 cm). Na seção transversal do corpo de prova do lenho foi feito o polimento com navalha de aço e pedra afiar sob água corrente. Os corpos de prova do lenho foram fotografados (microscópio estereoscópico ZEISS Stemi SV11) para a caracterização da sua estrutura anatômica macroscópica seguindo as normas do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (1991).

3.4.2 Caracterização anatômica microscópica

Os corpos de prova do lenho (item 3.4.1) foram imersos em água a ebulição para a sua saturação e amolecimento, fixados em micrótomo de deslize e cortadas seções transversais (15-20 μm , espessura). Os cortes histológicos do lenho foram clarificados (água sanitária, 1:1), lavados (água destilada, ácido acético 1%), desidratados (série alcóolica, 30-100%), lavados, corados (safranina) e montados (sob lamínula, bálsamo de Canadá) em lâminas histológicas de vidro (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951). As lâminas histológicas do lenho foram observadas em microscópio (ZEISS Axioskop) sendo caracterizada sua estrutura anatômica microscópica pelas normas do IBAMA (1991) e da International Association of Wood Anatomists - IAWA (1989).

3.5 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento do lenho das árvores de *C. legalis*

3.5.1 Preparo dos discos do lenho para a demarcação dos anéis de crescimento

Os discos do lenho das árvores de *Cariniana legalis* foram fixados em torno e sua seção transversal aplainada com a ferramenta de corte, lixada em lixadeira de cinta (lixas de 80, 100 e 120 grãos.polegada⁻²) e polidos com lixadeira orbital (lixas de 180, 280, 360, 400 e 500 grãos.polegada⁻²) em água corrente. Os discos foram secos em local coberto e arejado (48h) seguindo-se o polimento fino da seção transversal (lixas de 600 e 1000 grãos.polegada⁻²) utilizando ar comprimido para a desobstrução dos poros (Figura 5A,B,C,D,E).

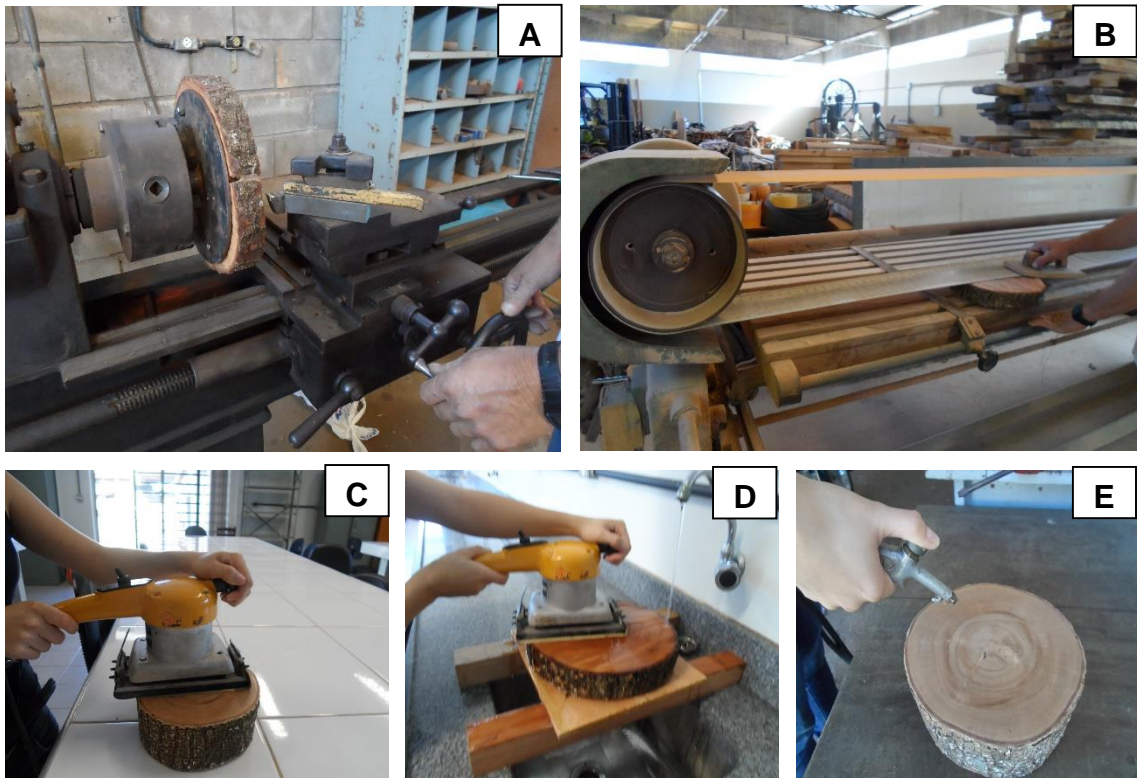


Figura 5 - Preparo dos discos do lenho de árvore de *C. legalis* para a análise macroscópica. (A) Aplainamento da seção transversal dos discos do lenho em torno; (B) Lixamento do disco de lenho em lixadeira de cinta; (C,D) Polimento do disco de lenho em lixadeira orbital com e sem água corrente; (E) Aplicação de ar comprimido para a desobstrução dos vasos na seção transversal do disco de lenho

3.5.2 Demarcação e mensuração da largura dos anéis de crescimento

Para a demarcação do limite dos anéis de crescimento foram selecionados três raios na seção transversal na posição da base do lenho de cada árvore e analisados em microscópio estereoscópico (Leica modelo KI, sistema de iluminação de fibra ótica). Após a delimitação, as seções transversais do lenho foram digitalizadas (scanner HP Scanjet 3800, resolução 1200 dpi) e mensurada a largura dos anéis de crescimento através de software de análise de imagem (precisão da distância de 0,01mm) (Figura 6). Os dados obtidos gerados pelo software foram exportados para o Microsoft Office Excel.

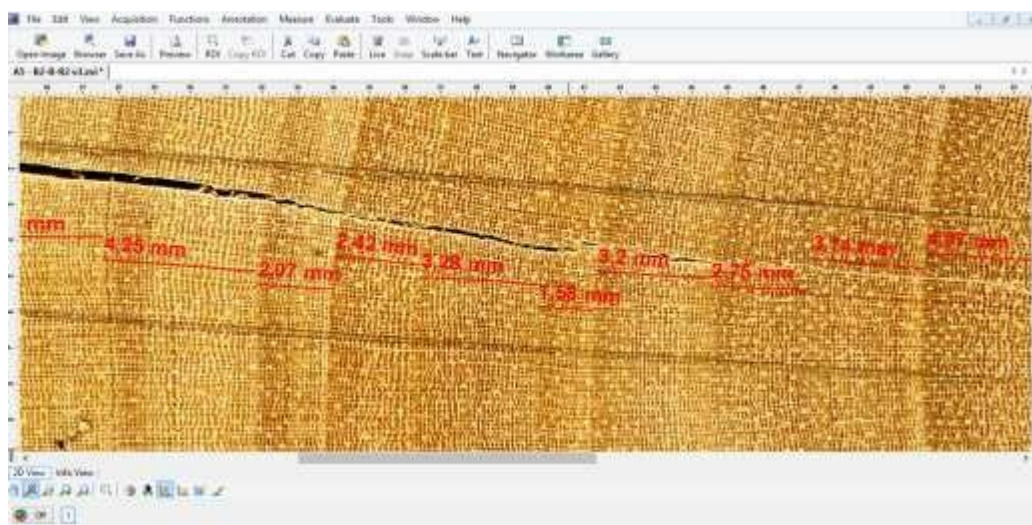


Figura 6 - Mensuração da largura dos anéis de crescimento do lenho de árvore de *C. legalis* pela da utilização de software de análise de imagem

3.5.3 Sincronização das séries de largura dos anéis de crescimento

Os valores da largura dos anéis de crescimento do lenho das árvores de *C. legalis* foram inseridos em planilha Excel para o ajuste inicial da sincronização e utilização do software COFECHA, para o controle de qualidade e a sincronização das séries de largura dos anéis de crescimento (HOLMES et al., 1986). Esse programa correlaciona os coeficientes pela sobreposição dos segmentos de cada série cronológica dos anéis de crescimento, construindo-se uma série “master”. Assim, verifica-se estatisticamente a qualidade da datação com a identificação das amostras do lenho (ou de segmentos) com problemas de demarcação ou de

mensuração dos anéis de crescimento, pela presença de anéis de crescimento falsos ou ausentes. Nas análises de dendrocronologia utilizaram-se os conceitos de Cook e Kairiukstis (1989), que consideram que as séries de anéis de crescimento são como um agregado linear de sub séries não observadas, que incluem a tendência da largura dos anéis de crescimento relacionada com o tamanho e a idade das árvores (A_t), o sinal climático relacionado com o ambiente (C_t), o indicador binário relacionado com a presença ($\delta=1$) ou ausência ($\delta=0$); os distúrbios causados por perturbações endógenas de ação individual ($D1_t$), os distúrbios causados por perturbações exógenas comuns a população ($D2_t$), a variabilidade ano a ano não relacionada com os demais fatores (E_t), em função do ano relacionado com cada fator (t), de acordo com a Equação (1):

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t \quad (1)$$

As séries cronológicas são padronizadas retirando-se as tendências de crescimento da largura dos anéis, definindo-se o seu tamanho e a idade das árvores, bem como as perturbações endógenas e exógenas, conforme a Equação (2):

$$G_t = f(A_t, \delta D1_t, \delta D2_t) \quad (2)$$

Em que:

- G_t = estimativa da tendência de crescimento como função apenas da idade;
- δ = indicador binário relacionado com a presença ($\delta=1$) ou ausência ($\delta=0$);
- $D1_t$ = distúrbios causados por perturbações endógenas e de ação localizada;
- $D2_t$ = distúrbios causados por perturbações exógenas (população).

Para a remoção das tendências seguiu-se a metodologia de Fritts (1976) com os dados transformados em índices de largura dos anéis de crescimento (Eq. 3)

$$I_t = \frac{R_t}{G_t} \quad (3)$$

Em que:

I_t = índice da largura dos anéis de crescimento;

R_t = série observada da largura dos anéis de crescimento;

G_t = tendência de crescimento estimada como função apenas da idade.

Esta padronização visa remover as tendências não climáticas, relacionadas com a idade das árvores; permite que os valores padronizados das árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, sejam calculados juntos em uma função média e corrige a heterogeneidade da variância dos dados de largura do anel de crescimento, uma vez que o desvio padrão dos índices deixa de ser função da média, como ocorria antes da padronização (MEDEIROS, 2005).

Após a utilização do software, foi possível obter uma série master de sincronização e, assim, ajustada a demarcação dos anéis de crescimento do lenho/espaçamento até a obtenção da melhor intercorrelação entre as séries.

A longitude da análise da sequência cronológica dos anéis de crescimento foi padronizada em um intervalo de 20 anos com uma janela a cada 10 anos, assim todas as séries de largura dos anéis de crescimento das árvores dos diferentes espaçamentos puderam ser rodados com uma correlação crítica de .515 (correlação mínima de significância). Ao longo das análises foram descartadas amostras do lenho visando garantir que a sincronização final atingisse o valor do nível crítico de significância (Pearson a 99%).

3.5.4 Obtenção das séries cronológicas dos anéis de crescimento

Após a correta datação das séries de anéis de crescimento, foi utilizado o software ARSTAN (COOK; HOLMES, 1984). Cada série de anéis de crescimento foi padronizada através do ajuste das mensurações originais dos anéis de crescimento, com uma função exponencial negativa, seguida da aplicação de um “spline” cúbico, com porcentagem de longitude de série de 67%, evitando problemas na cronologia de tendências relacionadas aos sinais não climáticos e outras

flutuações singulares no crescimento (COOK; KAIRIUKSTIS, 1989) (Figura 7). Através da dupla retirada de tendência, nomeada de “double detrending”, são obtidos os índices dos anéis de crescimento, que possibilitam maximizar o sinal comum de crescimento e preservar as oscilações de baixa frequência nas séries de crescimento a fim do melhor ajuste final e um maior número de séries.

No processo final de análise, o programa ARSTAN produziu três versões de cronologias, Standard, Residual e Arstan, contendo o máximo do sinal comum, o qual corresponde à variação comum de algo que pode ser explicado por um fator; e minimizando a quantidade de ruído, que é a informação irrelevante do problema analisado ou a parte de uma variação de um sistema que não pode ser explicado pelo mesmo fator (ROIG; LISI, 2013). Para as análises de correlação entre o padrão de crescimento do tronco das árvores com os fatores ambientais foi utilizado o índice residual das séries masters, o qual apresentou a maior correlação.

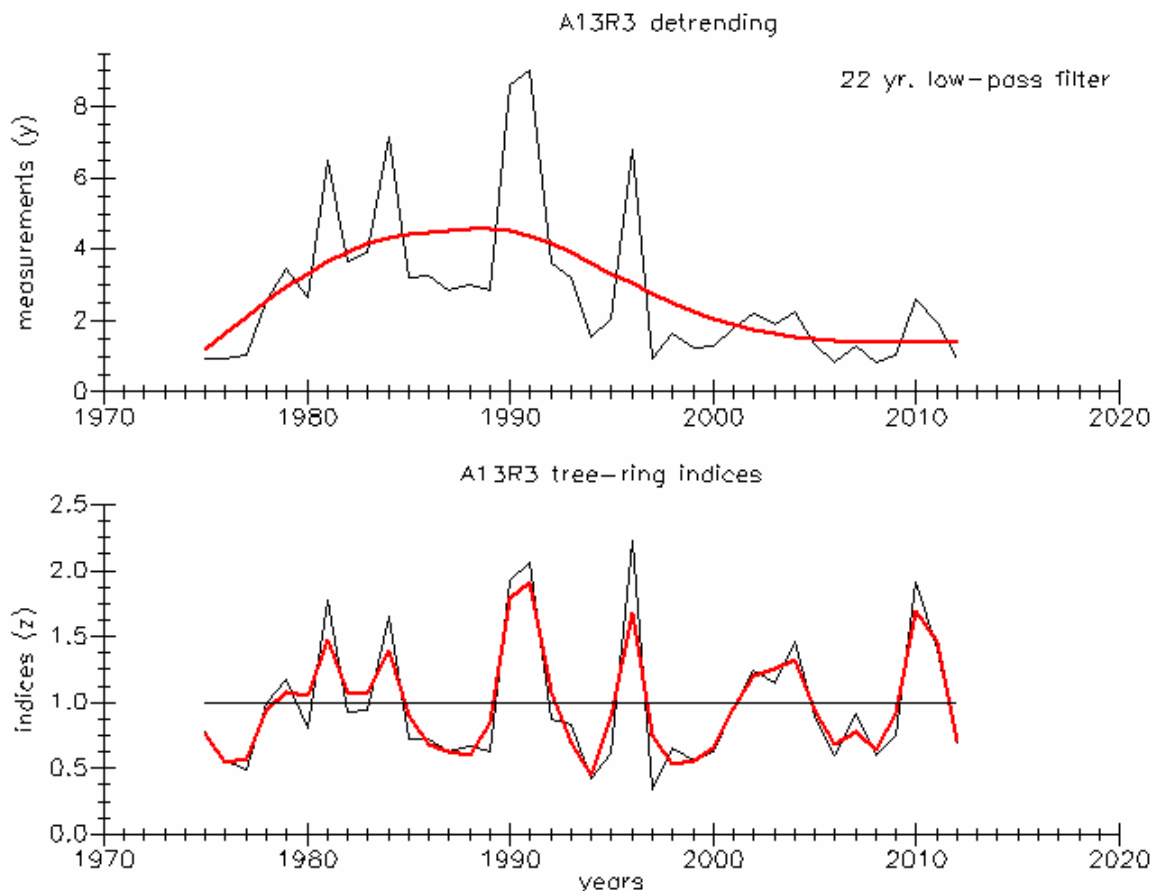


Figura 7- Exemplo de uma série padronizada de anéis de crescimento do tronco de árvore através do ajuste das suas mensurações originais

3.6 Dendroclimatologia: correlação anéis de crescimento vs. clima

Para a análise da influência climática no crescimento radial do tronco das árvores de *C. legalis* foram obtidos dados de precipitação mensal acumulada e temperatura média mensal (período 1973-2013) na Estação Meteorológica de São Simão/SP (18,3 km da área experimental) (Figura 8), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Os dados climáticos foram correlacionados com as cronologias residuais obtidas, utilizando-se os dados climáticos a partir de 1982, porque a sincronização do crescimento do tronco das árvores foi maior entre os tratamentos à partir desta data em relação ao ano de plantio (1975). As correlações foram realizadas para um período de 19 meses, correspondendo ao início do ano anterior (janeiro) e corrente (setembro) da formação dos anéis de crescimento pela atividade do meristema cambial.

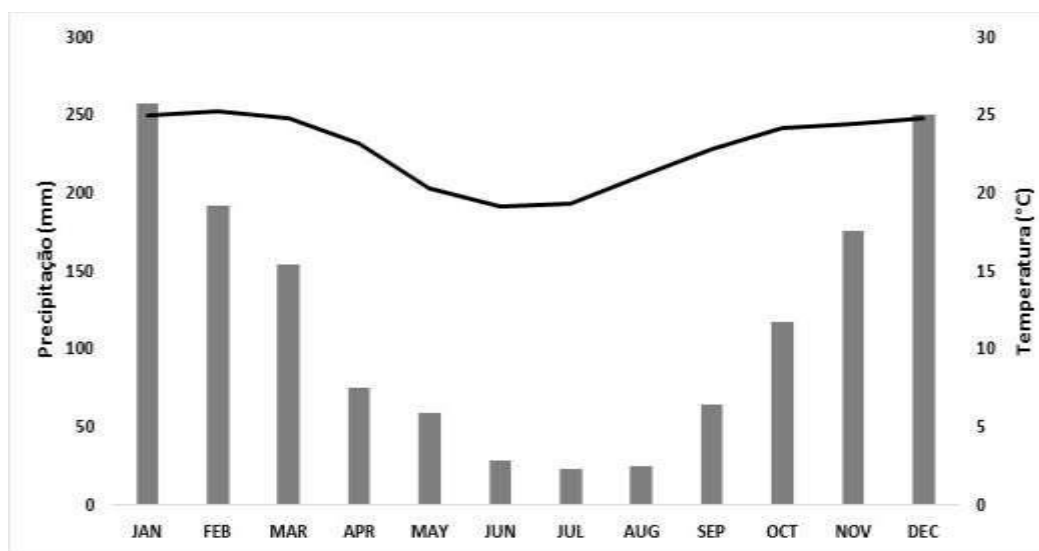


Figura 8 - Diagrama Ombrotérmico: Dados de precipitação mensal acumulada e temperatura média anual da Estação Meteorológica de São Simão – SP. Fonte: INMET (2014)

3.7 Densitometria de raios X do lenho das árvores de *C. legalis*

3.7.1 Obtenção e preparo das amostras do lenho

Na seção transversal dos discos do lenho das árvores de *C. legalis* (base, DAP, 5, 10, 15 m) foram demarcados e cortadas amostras diametrais do lenho

(2 cm de largura), fixadas e coladas em suporte de madeira, seccionadas transversalmente em equipamento de serra circular paralela (1,7 mm de espessura) e acondicionadas em sala de climatização (20°C, 60%UR, 24 h) (Figura 9A,B) (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1998).

3.7.2 Obtenção do perfil radial e longitudinal da densidade aparente do lenho

As amostras do lenho foram posicionadas em suporte metálico e transferidas para o compartimento interno e blindado do equipamento QTRS-01X e escaneadas em fonte de raios X colimados. Os valores pontuais de densidade aparente do lenho (cada 80 microns) foram determinados pela relação da atenuação dos raios X e a densidade da madeira (Figura 9C,D,E) (Equação 4):

$$I/I_0 = e^{-\mu t} \quad (4)$$

Em que:

I = intensidade do feixe de radiação após atravessar a amostra;

I_0 = intensidade do feixe de radiação sem que tenha atravessado a amostra;

μ = coeficiente de atenuação linear da amostra (cm^{-1}); t = espessura da amostra (cm);

e = base logarítmica natural.

As intensidades I e I_0 são medidas para cada ponto ao longo do perfil radial, enquanto μ é calculado. O coeficiente linear de atenuação (μ) está relacionado com a densidade de acordo com a Equação (5):

$$\mu = \mu_m \times \rho \quad (5)$$

Em que:

μ_m = coeficiente de atenuação de massa da amostra;

(cm^2/g); ρ = densidade (g/cm^3).

O coeficiente de atenuação de massa (μ_m) varia em função da energia da radiação incidente e da composição do material. A necessidade de conhecer

a umidade da amostra é essencial, pois a água presente em cada um destes componentes químicos é considerada elemento fundamental na acurácia da determinação da densidade (QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS - QMS, 1999). Assim, quando μm é conhecido, a densidade (ρ) pode ser calculada para cada ponto ao longo do perfil radial da amostra, onde μl foi determinado. Por isso, a calibração do sistema pode ser feita através da determinação do coeficiente de atenuação da massa do material o qual está sendo estudado (CHAGAS, 2013).

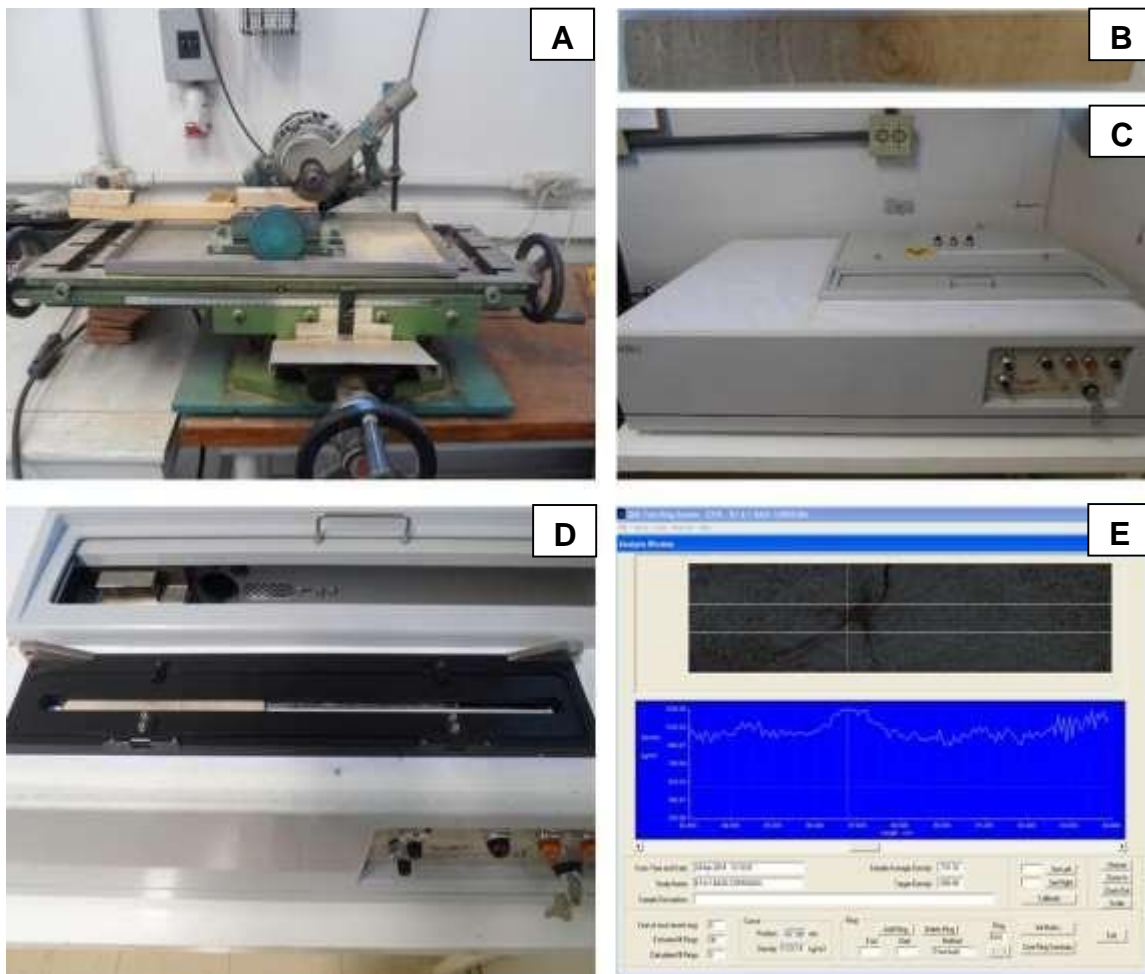


Figura 9 - Densitometria de raios X. (A) Equipamento de dupla serra circular; (B) Amostra do lenho obtida após a utilização da serra circular; (C) Equipamento QTRS-01X; (D) Suporte metálico com a amostra do lenho; (E) Perfil da densidade aparente do lenho gerado pelo software

3.7.3 Análise qualitativa do perfil radial do lenho

Na análise qualitativa das amostras do lenho de *C. legalis* com o equipamento de densitometria de raios X (Faxitron X-ray, LX 60) foram utilizadas as mesmas amostras da análise anterior (item 3.7.2.). As amostras do lenho foram

dispostas na câmara de irradiação (19 seg, 30 kV, 83 cm da fonte - ajustados em análise prévia) (Figuras 10A,B). A capacidade de foco do tubo de raios X (inferior a 0,02 mm) e o alto contraste (baixo kV e aproximação da fonte) permitem a obtenção de imagens digitais com rapidez e alta precisão para determinar a densidade aparente do lenho (FAXITRON, 2009). A imagem digital do lenho (gerada em escala de cinza) indica que a cor branca representa o maior valor de densidade (Figura 10C). As análises das imagens permitiram uma interpretação precisa da variação radial da densidade do lenho e relação com a sua estrutura anatômica (FRANCO, 2013).

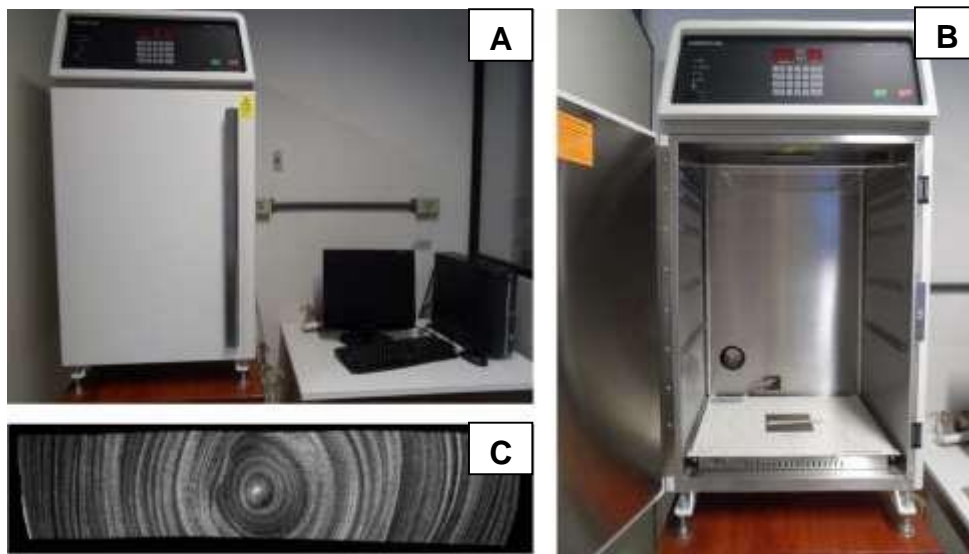


Figura 10 - Densitometria de raios X. (A) Câmara de irradiação do equipamento Faxitron X-ray; (B) Amostra do lenho inserida na câmara de radiação; (C) Imagem digital do lenho em escala de cinza

3.7.4 Variação da densidade aparente do lenho das árvores de *C. legalis*

Na construção da variação da densidade aparente do lenho na direção radial (medula-casca) e longitudinal (base-topo) do tronco das árvores de *Cariniana legalis* selecionou-se, inicialmente, a árvore que representasse o tratamento obtendo-se os perfis radiais de densidade aparente (item 3.7.2.). Em seguida, aplicou-se o software SCILAB (versão 5.3.3; matriz de 200 por 200) com o script inicial de criação baseado no trabalho de Hein (2011) (FERREIRA, 2013).

3.8 Determinação do crescimento e volume do tronco das árvores de *C. legalis*

A taxa de crescimento diametral do tronco das árvores de *C. legalis* foi obtida pelo valor do Incremento Radial Acumulado (IRA), representado pela soma do valor de largura dos anéis de crescimento de cada série e o Incremento Radial Médio Anual (IRMA), obtido pela soma dos valores de IRA dividido pelos anos que compõem cada série da largura dos anéis de crescimento.

Para a obtenção do volume de madeira mensurou-se a circunferência à altura do peito (CAP, cm) e altura total (HT, m) do tronco das árvores. Os valores de CAP foram divididos por π para a obtenção do Diâmetro a Altura do Peito (DAP). A partir dos dados do DAP e HT foi estimado o Volume Cilíndrico individual (VC_i , m^3) (Equação 6), o Volume sólido (V_s , m^3) (Equação 7) e o Fator de Forma (FF) (Equação 8).

$$VC = \frac{\pi(DAP)^2}{4} HT \quad (6)$$

$$V_{SOLIDO} = \left[\left(\frac{D}{100} \right)^2 + \left(\frac{d}{100} \right)^2 \right] \frac{\pi}{8} L \quad (7)$$

$$FF = \frac{V_{solido}}{VC} \quad (8)$$

Em que:

D = diâmetro maior; d= diâmetro menor;

L = comprimento da tora.

Com os resultados obtidos foi possível calcular o volume de madeira por hectare (m^3)/tratamento com a Equação 9.

$$V_{hectare} = \frac{10.000 \times \text{Soma do } V_{sólido}}{N^{\circ} \text{ de árvores} \times \text{Espaçamento} \times N^{\circ} \text{ de blocos}} \quad (9)$$

3.9 Análise Estatística

Nas análises estatísticas dos resultados utilizou-se o software SigmaStat. Para a análise das variáveis estudadas entre os espaçamentos e as posições ao longo do tronco foi verificada a normalidade dos dados, seguido da realização da Análise de Variância (ANOVA). Nos tratamentos com diferença estatística, foi realizado o teste de Tukey (5% de probabilidade).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características dendrométricas das árvores: pré-inventário

Os valores do DAP e da altura do tronco das 10 árvores de *C. legalis* selecionadas nos 3 tratamentos de espaçamento são apresentados nas Tabelas 1 e 2. O efeito dos tratamentos no crescimento das árvores de *C. legalis*, incluindo a análise estatística, é apresentado no Item 4.7.

Tabela 1 - Valores do DAP do tronco das árvores de *C. legalis* selecionadas de cada espaçamento

Árvore (No)	DAP (cm)		
	3 x 1,5 m	3 x 2 m	3 x 2,5 m
1	16,9	19,3	21,7
2	18,5	17,7	19,3
3	18,2	20,7	19,1
4	16,6	20,1	22,6
5	17,8	15,6	20,4
6	18,6	18,2	22,3
7	20,0	15,9	22,0
8	18,5	19,1	21,0
9	18,8	19,4	24,4
10	19,1	18,5	19,6
Média	18,3	18,4	21,2

Tabela 2 - Valores da altura do tronco das árvores de *C. legalis* selecionadas de cada espaçamento

Árvore (No)	Altura total (m)		
	3 x 1,5 m	3 x 2 m	3 x 2,5 m
1	20,0	23,8	23,0
2	17,6	21,0	20,8
3	23,3	25,0	18,0
4	18,3	23,0	24,0
5	19,0	18,2	23,0
6	20,6	19,2	23,0
7	22,1	16,0	18,3
8	19,5	20,8	24,5
9	20,5	19,5	25,0
10	29,0	20,9	19,4
Média	21,0	20,7	21,9

4.2 Caracterização anatômica dos anéis de crescimento

A seção transversal do lenho das árvores de *Cariniana legalis*, indicativa da sua estrutura anatômica macro e microscópica nos três espaçamentos de plantio, é apresentada na Figura 12, A-C, com a indicação da demarcação do limite dos anéis de crescimento.

Observa-se a presença de anéis de crescimento distintos no lenho das árvores de jequitibá rosa nas condições edafo-climáticas do local do experimento, com um mesmo padrão de variação anatômica dos anéis de crescimento nos espaçamentos. No entanto, verificam-se diferenças na largura dos anéis de crescimento, as quais variaram de 0,26-12,21; 0,52-9,98 e de 0,40-13,53 mm no lenho das árvores de *Cariniana legalis* nos tratamentos 3 x 1,5, 3 x 2 e 3 x 2,5 m, respectivamente.

A caracterização anatômica macroscópica dos anéis de crescimento indicou a presença de zonas fibrosas e de faixas de parênquima marginal. Na transição dos lenhos inicial para o tardio observa-se que as faixas de parênquima marginal tornam-se mais próximas e há uma distinção da zona fibrosa mais escura com o término da formação do lenho inicial e do início do lenho tardio do anel de crescimento. Verifica-se, ainda, que na região do lenho do tronco das árvores de *C.*

legalis próxima à medula, representativa dos anéis de crescimento formados nos anos iniciais, há maior dificuldade na sua demarcação devido à proximidade e menor largura. Eventualmente, o padrão anatômico dos anéis de crescimento foi limitante para uma nitida demarcação da zona fibrosa e da faixa de parênquima (Figura 11A). O diâmetro dos elementos de vaso apresenta variação na região do lenho do tronco próxima à casca, com os anéis de crescimento estreitos e próximos, com característica de redução do diâmetro dos vasos do lenho inicial para o tardio, não ocorrendo nas regiões próxima à medula e intermediária (Figura 11B). No tronco das árvores de *C. legalis* verificou-se a formação de anéis de crescimento falsos e ausentes, a exemplo do relatado na literatura científica para inúmeras espécies florestais (CHAGAS, 2013; GONZALES, 2013; LOBÃO, 2011; ROSA, 2008).

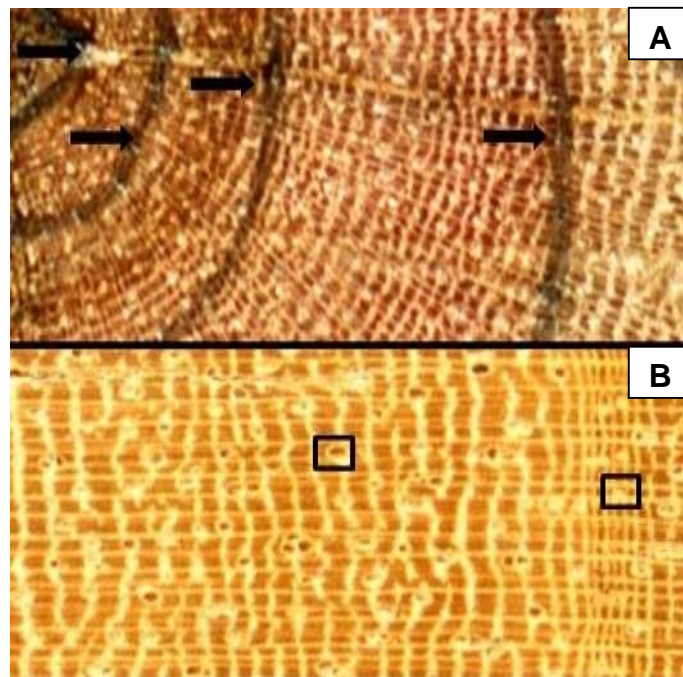


Figura 11 - Caracterização macroscópica dos anéis de crescimento de *C. legalis*, (A) região do lenho próxima à (A) medula e da (B) casca. [Setas indicam a delimitação dos anéis de crescimento; quadrados indicam os vasos, com destaque para a redução do diâmetro dos vasos do lenho inicial para o tardio]. Resolução = 1200 dpi

A estrutura anatômica microscópica do lenho das árvores de *C. legalis* evidenciou a presença de vasos com porosidade difusa, solitários ou múltiplos (2-3), diâmetro aproximadamente uniforme ao longo dos anéis de crescimento. O parênquima é caracterizado pelas faixas tangenciais, retilíneas e onduladas, estreitas a afastadas, com arranjo perpendicular aos raios; essas faixas podem ser lisas ou onduladas formando um reticulado. A espessura das faixas de

parênquima é similar a dos raios, regularmente espaçadas.

A caracterização da estrutura anatômica microscópica do lenho das árvores de *C. legalis* corrobora a descrita por outros autores na literatura especializada (BOTOSSO, 2011; LISI et al., 2008; SANTINI JUNIOR, 2013). No entanto, em relação à delimitação dos anéis de crescimento no lenho das árvores de *C. legalis*, Cury (2001) e Nisgoski et al. (2003) destacaram a presença de zonas fibrosas tangenciais mais escuras, não incluindo o afastamento das linhas de parênquima como padrão na formação dos anéis de crescimento anuais.

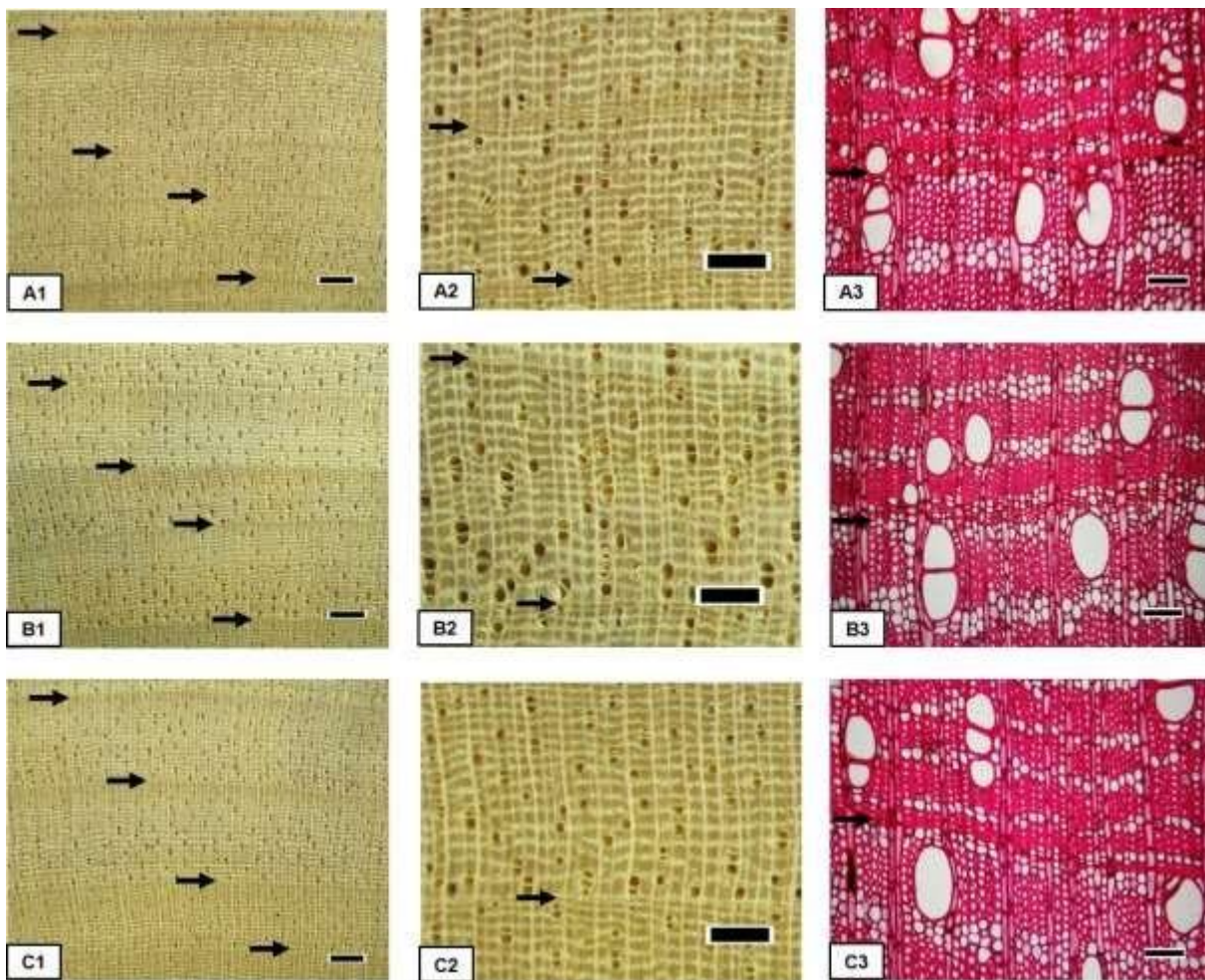


Figura 12 - Estrutura anatômica do lenho de árvores de *C. legalis*, com destaque à seção transversal, no espaçamento (A) 3 x 1,5 m, (B) 3 x 2 m, (C) 3 x 2,5 m. Escala: 40; 12 e 280 μm . Setas indicam a delimitação dos anéis de crescimento

4.3 Variação da densidade aparente do lenho no sentido radial e sua relação com a estrutura anatômica

A metodologia de densitometria de raios X aplicada na avaliação do lenho das árvores de *C. legalis* possibilitou determinar a densidade aparente média do lenho e sua variação radial, nos diferentes espaçamentos. Verificou-se um aumento da densidade média do lenho com o aumento do espaçamento entre árvores de *C. legalis*, sendo de 0,729, 0,741 e de 0,799 g.cm⁻³ para os espaçamentos 3 x 1,5; 3 x 2 e 3 x 2,5 m, respectivamente, com diferença estatística entre si (Tabela 3).

Tabela 3 - Variação da densidade aparente média do lenho no DAP do tronco das árvores de *Cariniana legalis* nos três espaçamentos estudados

Espaçamento (m)	Densidade aparente média do lenho (g.cm⁻³)
3 x 1,5	0,729 c
3 x 2	0,741 b
3 x 2,5	0,799 a

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Os valores obtidos para a densidade aparente média do lenho são superiores aos encontrados na literatura especializada para as árvores da espécie, com variação de 0,50-0,65 g.cm⁻³ (MANIERI; CHIMELO, 1989). Tomazello Filho (2006) e Tomazello Filho et al. (2008) indicam que a densidade do lenho aumenta com a idade das árvores devido, principalmente, às alterações fisiológicas do meristema cambial, que é influenciado pela sazonalidade climática, induzindo a formação das camadas de crescimento (constituída pelos lenhos inicial e tardio); também, para atender às exigências mecânico-fisiológicas de sustentação e equilíbrio do tronco das árvores, resultado do aumento da espessura da parede das fibras e da frequência do número de vasos. A diferença da densidade aparente média do lenho obtida para as árvores de *C. legalis* e a reportada na literatura pode ser resultado das condições de crescimento, da idade das árvores, etc.

A variação da densidade aparente do lenho das árvores em função do espaçamento de plantio foi, também, observada por outros autores. Berger (2000) estudando o efeito do espaçamento no crescimento e qualidade da madeira de

árvores de *Eucalyptus saligna*, observou a influência significativa do espaçamento; quanto maior o espaçamento de plantio maior a densidade do lenho das árvores. Lima, Florsheim e Longui (2009) constataram que o espaçamento de plantio influenciou significativamente a densidade aparente do lenho das árvores de *Tectona grandis*, com a densidade do lenho aumentando com o aumento do espaçamento, a exemplo do constatado no presente estudo.

Já Chies (2005), estudando o efeito de 9 espaçamentos na qualidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* verificou que a densidade aparente do lenho aumenta com a diminuição do espaçamento de plantio. Da mesma forma, Garcia, Corradin e Alvarenga (1991) verificaram para árvores de *Eucalyptus grandis* e de *E. saligna* a diminuição do valor da densidade do lenho com o aumento do espaçamento de plantio. Considerando-se que o maior espaçamento induza a formação de árvores de maior volume de madeira/unidade de área poderá ocorrer um ganho na densidade do lenho, com o aumento do espaçamento de plantio (LIMA; FLORSHEIM; LONGUI, 2009).

Em relação à esses aspectos, Berger (2000) afirma que a competição entre árvores constitui-se em um dos fatores indutores da variação da densidade do lenho. As árvores, após atingir a certa idade, formam no seu tronco menor volume de madeira adulta em espaçamentos mais apertados, acarretando na menor densidade do lenho em relação às dos espaçamentos mais largos.

A literatura menciona que os diferentes resultados obtidos para as árvores das diferentes espécies são a resposta para inúmeros fatores que influenciam a densidade do lenho em diferentes espaçamentos de plantio. Dentre estes, destacam-se a variabilidade genética dos povoamentos florestais, a aplicação de diferentes métodos de amostragem, a idade das árvores, o manejo florestal aplicado na plantação, etc. (FERREIRA, 1968).

A técnica da densitometria de raios X permitiu associar o perfil radial da densidade aparente do lenho das árvores de *C. legalis* com as suas características anatômicas micro e macroscópica. Além dos perfis radiais de densidade aparente do lenho em intervalos pontuais, as amostras do lenho submetidas à exposição da fonte de raios X possibilitaram a obtenção de imagens digitais da madeira permitindo a análise qualitativa da variação da densidade do lenho das árvores de *C. legalis* (Figuras 13, 14 e 15).

A imagem digital da seção transversal do lenho das árvores de *C. legalis*

indica as regiões do lenho de maior e menor densidade representadas pelas colorações mais claras e escuras, respectivamente, pela diferença na atenuação dos feixes de raios X. Ainda, a imagem digital do lenho permite observar a variação da sua densidade no sentido medula-casca em resposta ao espaçamento de plantio das árvores de *C. legalis* indicando um decréscimo da densidade do lenho. As avaliações das árvores de *C. legalis* em plantações de diferentes procedências, realizadas por Lima et al. (2011), no mesmo do estudo, mostraram que não há tendência significativa da variação radial da densidade básica do lenho.

A variação radial da estrutura anatômica do lenho evidenciou a formação de anéis de crescimento estreitos e pouco distintos nos primeiros anos, indicativo de um período lento de crescimento do DAP do tronco das árvores de *C. legalis*. Após os anos iniciais, verificou-se um aumento na nitidez dos anéis de crescimento e, desta forma, a evidência do aumento da largura dos anéis de crescimento; na região do lenho próxima à casca verificou-se, novamente, diminuição da largura dos anéis de crescimento. A redução da largura dos anéis de crescimento formados nos últimos anos no lenho do tronco das árvores de *C. legalis* é indicativa da formação do lenho adulto; de modo geral, a largura dos anéis de crescimento decresce no sentido radial com tendendo a aumentar e estabilizar no período de maturidade das árvores (JANKOWSKY, 1979).

Embora a técnica de densitometria de raios X possibilite a definição do limite dos anéis de crescimento no lenho do tronco de árvores de espécies florestais (CASTRO, 2014; FERREIRA, 2009) nas árvores de *C. legalis* não foi obtido resultado satisfatório, uma vez que reflete as variações da estrutura anatômica do lenho. A variação da densidade dos lenhos inicial e tardio dos anéis de crescimento não corrobora os resultados obtidos pela análise macroscópica do lenho, na seção transversal da amostra. Entende-se que o tipo de parênquima em faixas estreitas (reticulado) característico do lenho de *C. legalis* – e de outras espécies das Lecythidaceae – reflete no perfil radial de densidade do lenho e, desta forma, impossibilita a demarcação precisa do limite dos anéis de crescimento.

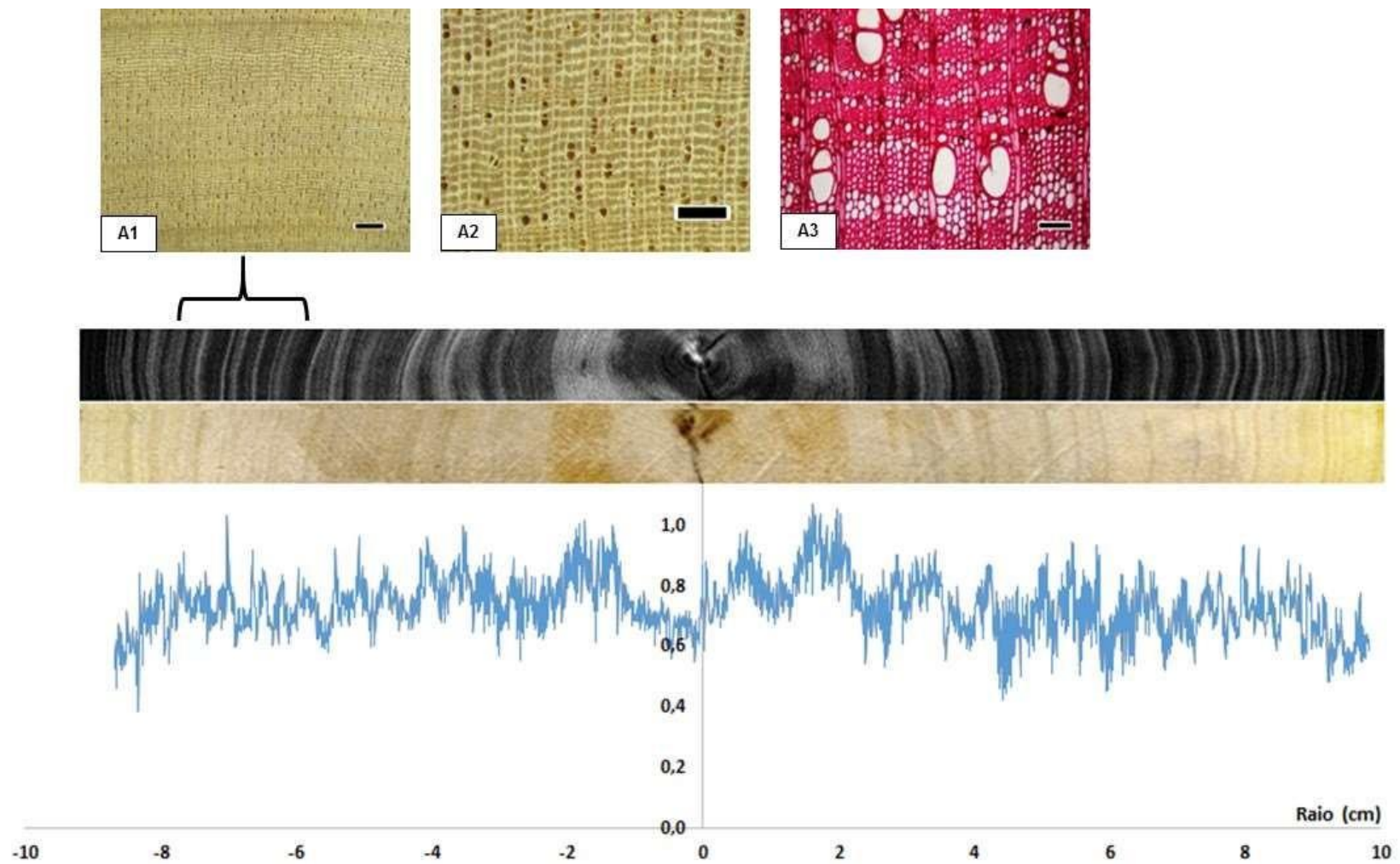


Figura 13 - Perfil radial da densidade aparente do lenho de árvore de *C. legalis* no espaçamento 3 x 1,5 m e respectivas imagem da seção transversal do lenho natural (escaneada) e digital (obtida por raios X), e destaque da estrutura anatômica macro (A1,2) e microscópica (A3). Escala = 40; 12 e 280 μ m

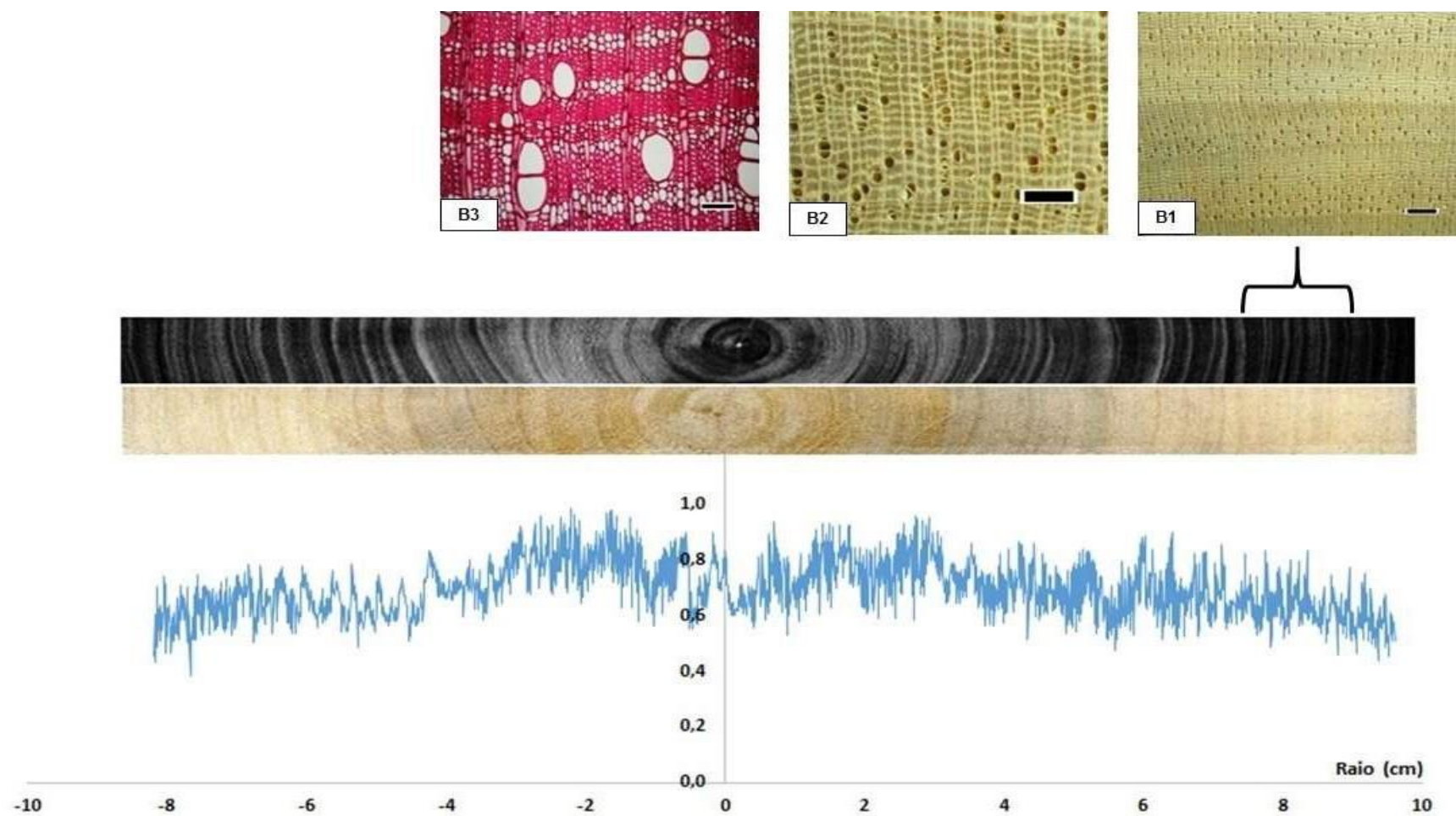


Figura 14 - Perfil radial da densidade aparente do lenho de árvore de *C. legalis* no espaçamento 3 x 2 m e respectivas imagem da seção transversal do lenho natural (escaneada) e digital (obtida por raios X), e destaque da estrutura anatômica macro (A1,2) e microscópica (A3). Escala = 40; 12 e 280 μ m

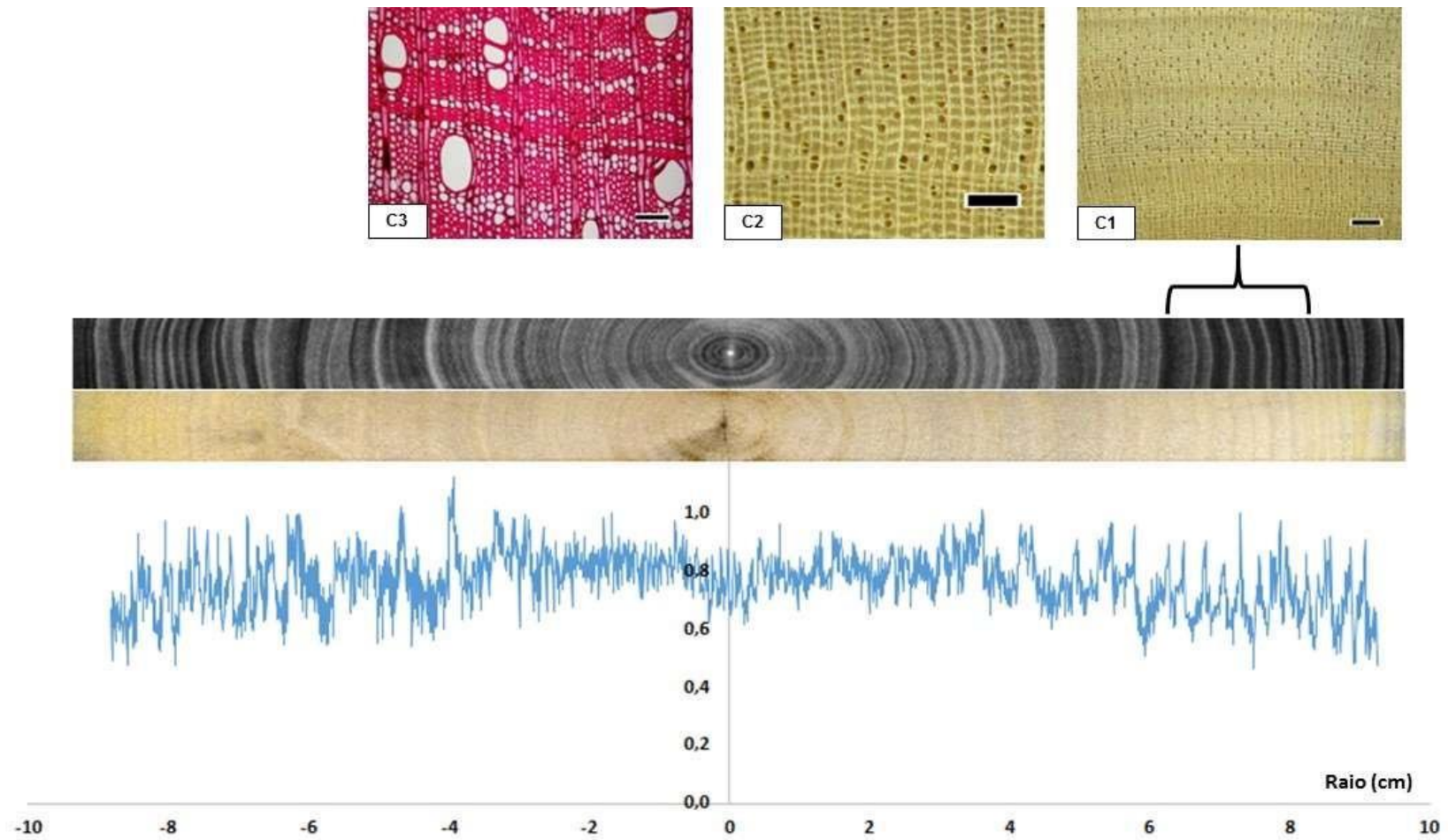


Figura 15 - Perfil radial da densidade aparente do lenho de árvore de *C. legalis* no espaçamento 3 x 2,5 m e respectivas imagem da seção transversal do lenho natural (escaneada) e digital (obtida por raios X), e destaque da estrutura anatômica macro (A1,2) e microscópica (A3). Escala = 40; 12 e 280 μ m

4.4 Variação da densidade aparente do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores

O valor da densidade aparente do lenho média, máxima e mínima, do desvio padrão e do coeficiente de variação, no sentido longitudinal do tronco das árvores de *C. legalis* nos 3 espaçamentos é apresentado nas Tabelas 4, 5 e 6.

O modelo de variação da densidade aparente do lenho ao longo do tronco das árvores de *C. legalis* é similar nos 3 espaçamentos – a densidade do lenho decresce da base para o DAP, a 5 e a 10 m, seguindo-se um aumento na altura de 15 m do tronco (Figura 16). Os valores de densidade aparente do lenho diferem estatisticamente em relação à posição, exceto nas alturas de 5 e 15 m do tronco das árvores. O maior e menor valor de densidade aparente do lenho foi 0,816 e de 0,605 g.cm⁻³ na altura da base e a 10 m de altura do tronco, respectivamente, no espaçamento entre árvores de 3 x 2 m.

Os perfis de densidade aparente do lenho – obtidos pela metodologia de densitometria de raios X – e as respectivas imagens das seções transversais do lenho escaneadas e digitais, ao longo da posição longitudinal do tronco das árvores nos 3 espaçamentos, são apresentados nas Figuras 17, 18 e 19.

O modelo de variação longitudinal da densidade aparente do lenho das árvores de *Cariniana legalis* constitui-se em um dos apresentados para inúmeras espécies arbóreas na literatura especializada (ELOY et al., 2013; PANSHIN e De ZEEUW, 1970; SETTE Jr. et al., 2012).

Considera-se que a variação da densidade do lenho ao longo do tronco das árvores ocorre em resposta da atividade do meristema cambial e para o atendimento das exigências físico-mecânicas – sustentação do peso e manutenção da posição vertical – no período de desenvolvimento e crescimento das árvores (SETTE Jr, 2010). Inúmeros autores, como Vale, Brasil e Martins (1999) citam que o aumento da densidade do lenho na região terminal do fuste do tronco está relacionado com a copa das árvores, com o adensamento dos ramos causando alterações anatômicas e aumentando a resistência mecânica do lenho. O aumento do valor da densidade do lenho é também relacionado na literatura pela formação do lenho de reação – lenho de tração em espécies de folhosas – relacionado com a inclinação do tronco ou da copa das árvores, pela ação dos ventos, etc (BRASIL,

1972). As características anatômicas macroscópicas das regiões da base e do ápice do lenho das árvores de *Cariniana legalis* indicam similaridades com o lenho de tração formado comumente no tronco das folhosas necessitando, no entanto, de confirmação através de análise e caracterização da sua estrutura anatômica microscópica.

Tabela 4 - Densidade aparente do lenho média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação ao longo do tronco das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 1,5 m

Posição	Densidade aparente do lenho (g.cm ⁻³)			C.V.%
	Média	Máx - Mín	Desv. Pad	
BASE	0,806 a	1,330 - 0,443	0,117	14,516
DAP	0,729 b	1,165 - 0,383	0,095	13,031
5 m	0,636 c	1,137 - 0,247	0,122	19,182
10 m	0,611 d	1,114 - 0,221	0,120	19,639
15 m	0,618 c	1,014 - 0,250	0,149	24,110

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Tabela 5 - Densidade aparente do lenho média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação ao longo do tronco das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 2 m

Posição	Densidade aparente do lenho (g.cm ⁻³)			C.V.%
	Média	Máx - Mín	Desv. Pad	
BASE	0,816 a	1,283 - 0,453	0,102	12,500
DAP	0,741 b	1,185 - 0,387	0,102	13,765
5 m	0,633 c	1,194 - 0,291	0,121	19,115
10 m	0,605 d	1,208 - 0,282	0,122	20,165
15 m	0,617 c	1,098 - 0,301	0,145	23,500

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Tabela 6 - Densidade aparente do lenho média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação ao longo do tronco das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 2,5 m

Posição	Densidade aparente do lenho (g.cm ⁻³)			C.V.%
	Média	Máx - Mín	Desv. Pad	
BASE	0,813 a	1,236 - 0,440	0,105	12,915
DAP	0,799 b	1,316 - 0,406	0,119	14,893
5 m	0,678 c	1,387 - 0,320	0,135	19,911
10 m	0,640 d	1,281 - 0,255	0,121	18,906
15 m	0,681 c	1,211 - 0,332	0,124	18,208

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

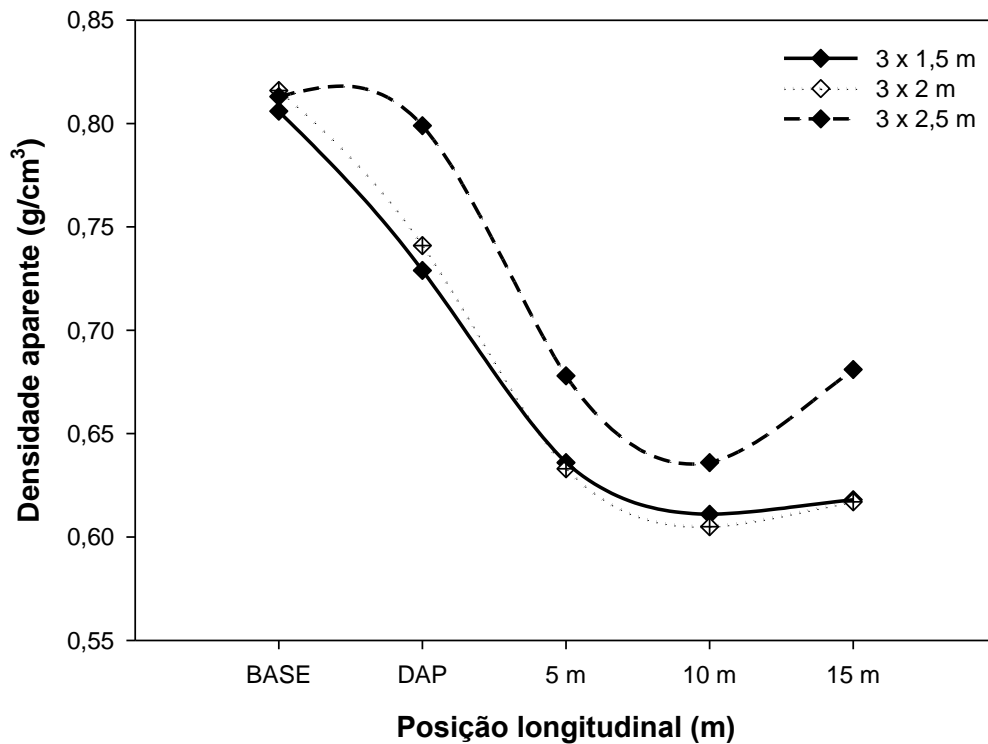


Figura 16 - Variação da densidade aparente média do lenho ao longo do tronco das árvores de *Cariniana legalis*, nos três espaçamentos

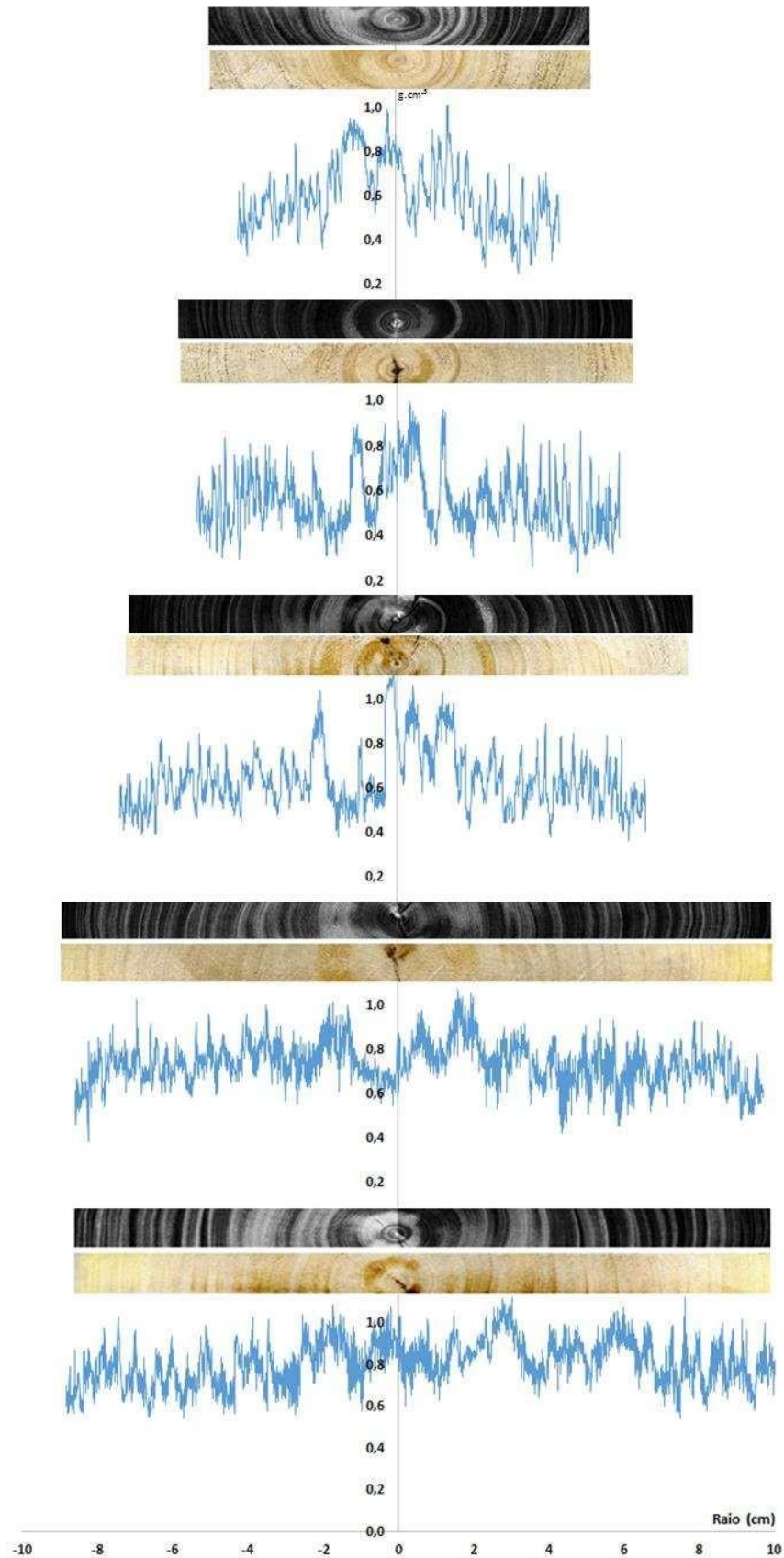


Figura 17- Perfil radial da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m
- das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 1,5 m

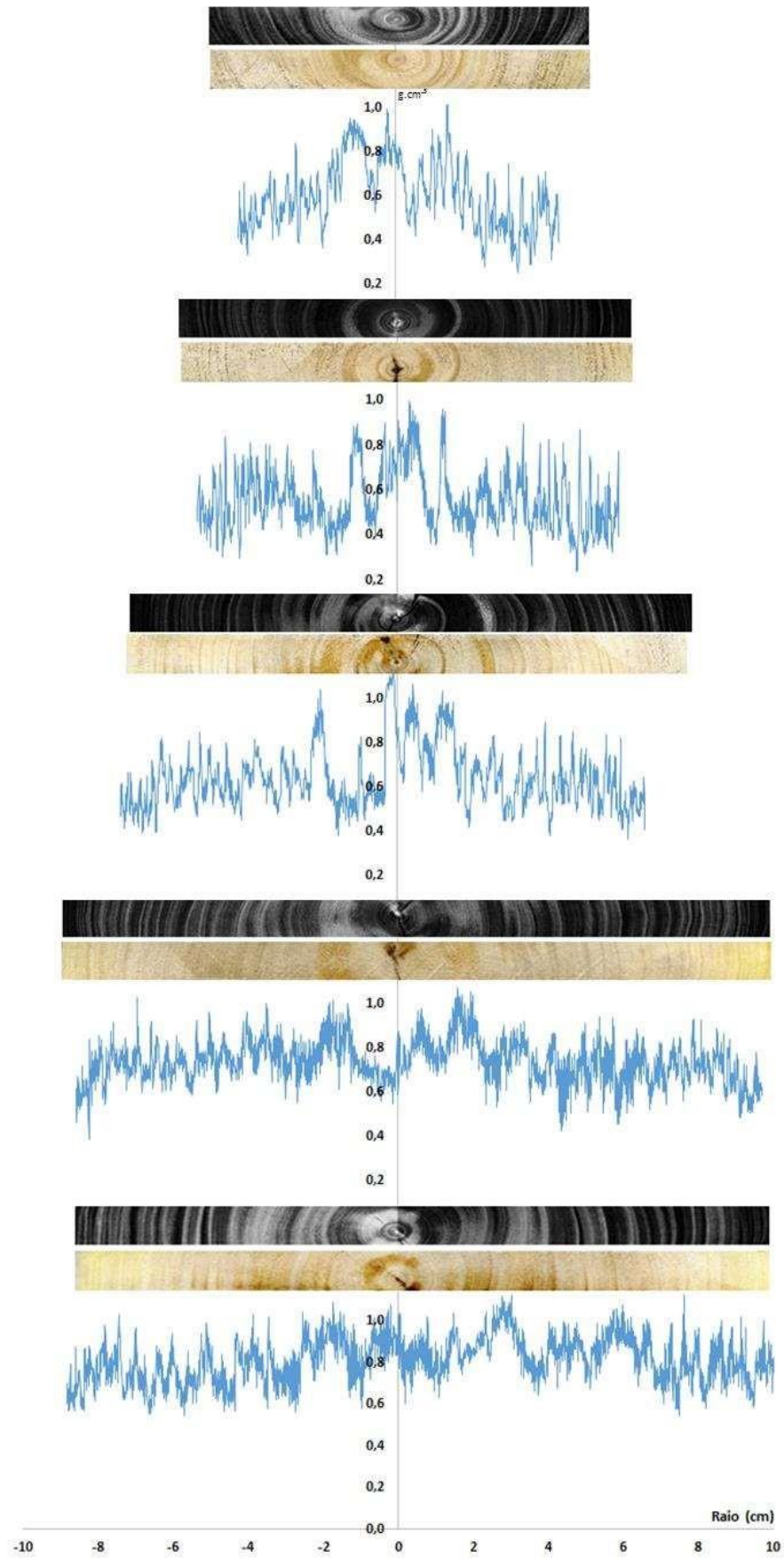


Figura 18 - Perfil radial da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m - das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 2 m

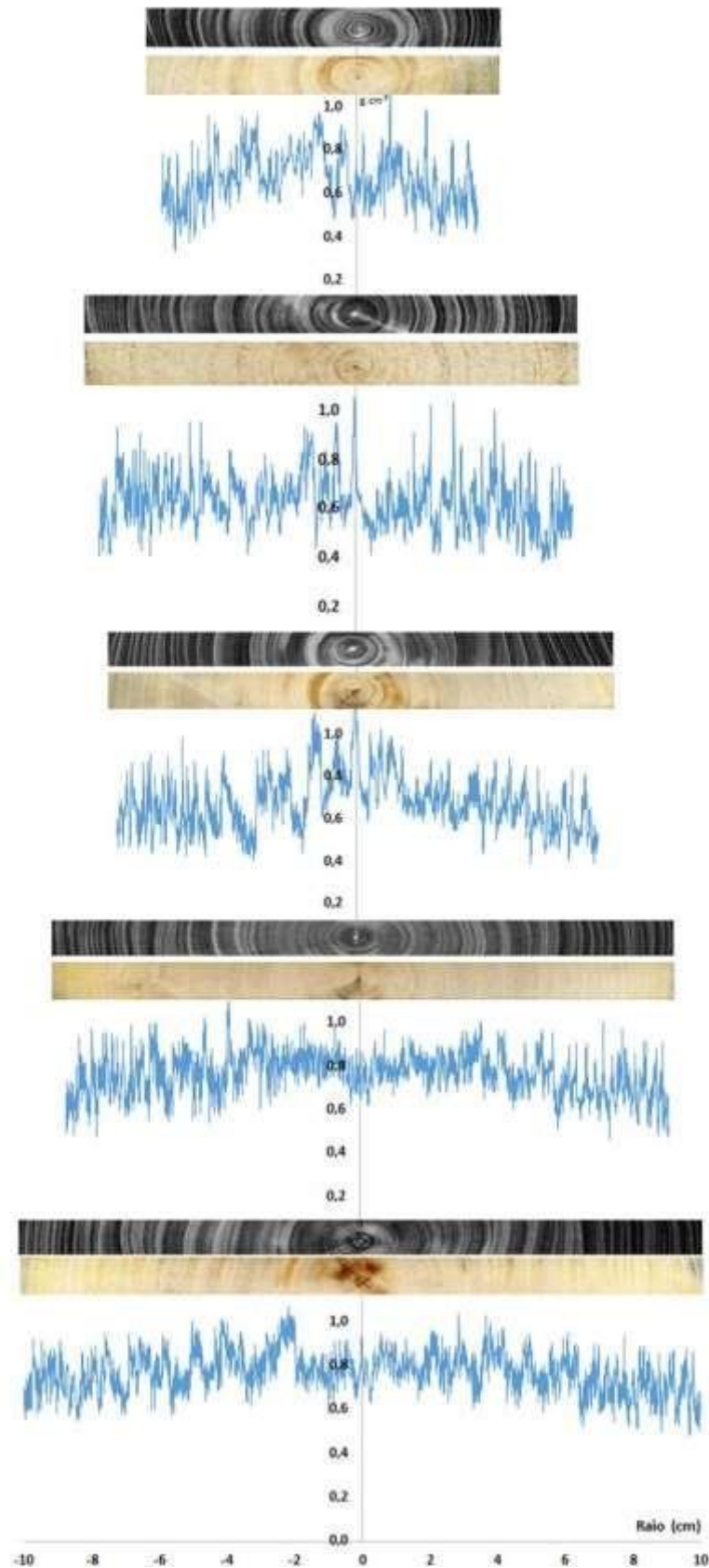


Figura 19 - Perfil radial da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m - das árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 2,5 m

O valor da densidade aparente média do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m - das árvores de *Cariniana legalis*, nos 3 espaçamentos, são apresentados na Tabela 7. Na posição da base do tronco das árvores verificou-se o aumento da densidade aparente do lenho no menor espaçamento (0,806 g.cm⁻³) seguindo-se o espaçamento intermediário (0,816 g.cm⁻³) e com pequena redução no maior espaçamento (0,813 g.cm⁻³), com diferença estatística para o espaçamento 3 x 1,5 m. No DAP do tronco houve diferença estatística significativa para os tratamentos, com decréscimo da densidade aparente do lenho do maior para o menor espaçamento entre árvores, com valores de de 0,799, 0,741 e 0,729 g.cm⁻³, respectivamente; o mesmo modelo de variação de densidade aparente foi observado nas alturas de 5 e de 15 m do tronco das árvores. O maior valor de densidade foi determinado no tronco das árvores do espaçamento 3 x 2,5 m (0,678 e 0,681 g.cm⁻³), com decréscimo no espaçamento 3 x 2 m (0,633 e 0,636 g.cm⁻³) e com um leve acréscimo no espaçamento 3 x 1,5 m (0,617 e 0,618 g.cm⁻³), com diferença estatística nas árvores do maior espaçamento. Na altura de 10 m do tronco o maior valor de densidade do lenho foi obtido no espaçamento 3 x 2,5 m (0,363 g.cm⁻³), seguido-se 3 x 1,5 m (0,611 g.cm⁻³) e 3 x 2 m (0,605 g.cm⁻³), com diferença estatística entre os mesmos.

Em árvores de *Eucalyptus grandis* cultivadas em 12 espaçamentos, Goulart et al. (2003) verificaram que a densidade do lenho varia ao longo do tronco, decrescendo da base para o DAP, com aumento até 75%, e decrescendo até a altura comercial. Ainda, o efeito espaçamento foi pequeno, apesar de significativo, não seguindo uma tendência de aumento ou diminuição da densidade do lenho. No presente estudo, para as árvores de *Cariniana legalis*, o modelo de variação da densidade aparente do lenho obtido difere do mencionado, entretanto, com tendência de aumento da densidade do lenho na região apical do tronco das árvores; o efeito do espaçamento foi semelhante, apesar da diferença estatística entre tratamentos não foi possível obter um modelo de variação longitudinal da densidade do lenho, em função do espaçamento.

Em árvores de *Mimosa scabrella*, de 36 meses, Eloy et al. (2013) verificaram um decréscimo da densidade básica do lenho da base e do DAP, com acréscimo e sem tendência de estabilização com a altura do tronco; em árvores de *Ateleia glazioveana*, houve um decréscimo da densidade do lenho da base para o topo do tronco. Os resultados obtidos para as árvores das duas espécies se assemelham

em parte com os das árvores de *Cariniana legalis*, com a densidade do lenho diminuindo até certa altura e, em seguida, aumentando com a altura do tronco. Em todas as alturas do tronco das árvores de *C. legalis* no espaçamento 3 x 2,5 m verificam-se os maiores valores de densidade do lenho; nos demais espaçamentos, apesar da diferença estatística, não houve variação, conforme apresentado para as árvores de *Mimosa scabrella* e de *Ateleia glazioviana*.

Tabela 7 - Densidade aparente média do lenho ao longo do tronco - base, DAP, 5, 10 e 15 m - das árvores de *Cariniana legalis*, nos três espaçamentos

Espaçamento (m)	Sentido base-topo do tronco das árvores					
	BASE	DAP	5m	10 m	15 m	Média
3 x 1,5	0,806 b	0,729 c	0,636 b	0,611 b	0,618 b	0,712 c
3 x 2	0,816 a	0,741 b	0,633 b	0,605 c	0,617 b	0,724 b
3 x 2,5	0,813 a	0,799 a	0,678 a	0,636 a	0,681 a	0,746 a

Médias seguidas de letras diferentes, em uma mesma coluna, diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

4.5 Variação da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - sentidos longitudinal e radial - das árvores de *C. legalis*

A variação da densidade aparente do lenho ao longo do tronco - sentidos longitudinal e radial - das árvores de *C. legalis* em cada espaçamento, obtida com o software Scilab, a partir dos perfis radiais de densidade dos discos de lenho cortados às várias alturas do tronco pela densitometria de raios X é representada na Figura 20 e no Anexo B.

A análise do tronco das árvores de *C. legalis*, no espaçamento 3 x 1,5 m, indica as variações do perfil de densidade aparente do lenho variando de 0,30 a 0,90 g.cm⁻³ pela coloração azul claro e vermelho escuro, respectivamente. Verifica-se que os maiores valores de densidade aparente do lenho ocorrem na região entorno da medula e na base do tronco das árvores de *C. legalis* com um modelo de variação caracterizado pela (i) diminuição da densidade no sentido radial e (ii) diminuição da densidade na região intermediária do lenho, com tendência a aumentar próxima ao topo do tronco, no sentido longitudinal.

A análise do tronco das árvores de *C. legalis*, no espaçamento 3 x 2 m, indica variação média do perfil de densidade aparente do lenho de 0,30-0,90 g.cm⁻³ com a tonalidade azul claro e vermelho escuro, similar à verificada para as árvores do menor espaçamento. Observa-se, ainda, que (i) no sentido longitudinal, os maiores valores de densidade aparente do lenho ocorrem na posição base, decrescendo e, em seguida, aumentando no topo do tronco das árvores, (ii) no sentido radial, as maiores densidades do lenho ocorrem na região interna, decrescendo em direção à casca.

Nas árvores de *Cariniana legalis*, no espaçamento 3 x 2,5 m, a variação da densidade aparente do lenho foi menor em relação aos demais tratamentos, com de 0,50 a 0,90 g.cm⁻³, na coloração verde e vermelho escuro. O modelo de variação é similar ao observado nas árvores de *Cariniana legalis* dos outros espaçamentos, caracterizado por maior valor da densidade do lenho na base, diminuindo na região intermediária e aumentando em direção ao topo do tronco; da mesma forma, a densidade do lenho é mais alta no interior do tronco da árvore, diminuindo no sentido medula- casca.

Os resultados da análise dos perfis de densidade aparente do lenho aplicando essa metodologia permite inferir com precisão o modelo de variação da densidade do lenho em toda a extensão do tronco das árvores de *Cariniana legalis* (sentido longitudinal-radial do tronco), corroborando com diversos autores (vide item 4.3). No entanto, o modelo de variação da densidade do lenho no sentido radial não é coincidente com o indicado por inúmeros autores e caracterizado pelo aumento da densidade do lenho no sentido medula-casca (AMARAL et al., 1971; TOMAZELLO FILHO et al., 2008; TRUGILHO et al., 2005).

O modelo de variação expresso pela diminuição da densidade do lenho no sentido radial - maior valor no entorno da medula, decrescendo para à casca – foi observado para as árvores de *Cariniana legalis*, de diferentes procedências, por Lima et al. (2011), indicando ser uma característica da espécie.

Considera-se que o maior valor de densidade do lenho na região interna no tronco das árvores de *Cariniana legalis* é resultado da formação do lenho de tração, formado no tronco em resposta aos fatores ambientais externos, como vento, declividade do terreno, copa irregular e, mesmo, de natureza genética. A madeira de reação possui características anatômicas distintas, como aumento da espessura da parede das fibras (camada G, denominada de G layer), redução do diâmetro e

da frequência dos vasos, em relação à madeira normal refletindo, desta forma, em valor mais elevado de densidade, além da maior retratibilidade (MONTEIRO et al., 2010). O efeito dos ventos parece ser indutor da formação do lenho de tração das árvores de *Cariniana legalis*, uma vez que as árvores no maior espaçamento possuem maior densidade no interior do tronco em comparação as do menor espaçamentos. A formação de medula excêntrica verificada em árvores de *Cariniana legalis* constitui-se, de acordo com Simpsons e Tenwold (1999), em forte indicativo da formação do lenho de reação. Da mesma forma, em árvores de coníferas, como as de pinus, o valor da densidade do lenho é mais alto na região do entorno da medula como resultado do lenho de compressão, em relação ao lenho normal, de acordo com Rosa (2006).

As imagens do perfil de densidade aparente do lenho no tronco das árvores de *Cariniana legalis* apresentam importância pela possibilidade de avaliação da variação da densidade da madeira e sua aplicação no manejo florestal e tecnológica, em relação à utilização das fibras, confecção de painéis, uso em bioenergia, como bioprodutos e madeira sólida, etc. (FERREIRA, 2013).

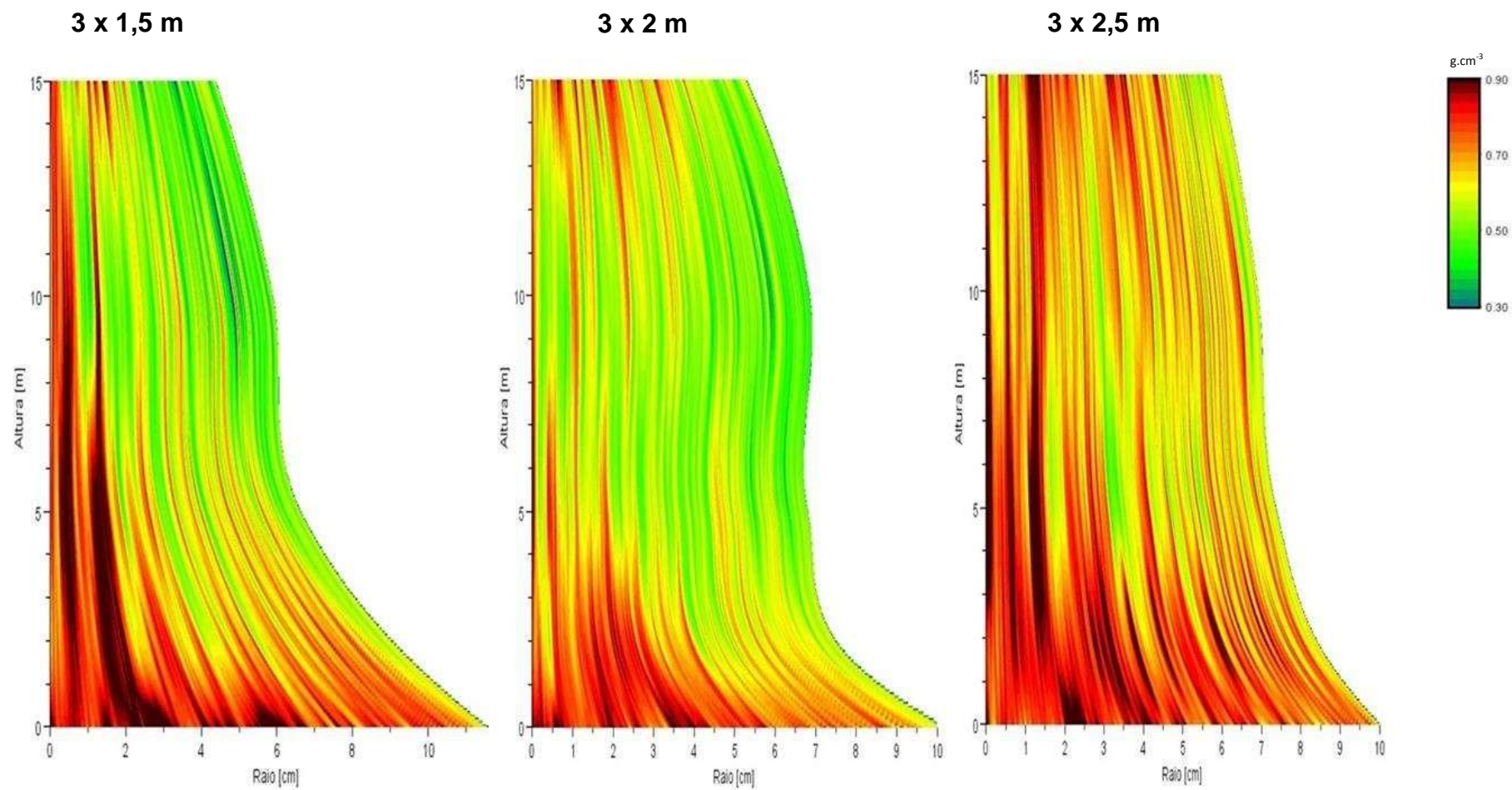


Figura 20 - Variação da densidade aparente no tronco das árvores de *Cariniana legalis* representativa dos três espaçamentos

4.6 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento do lenho das árvores de *C. legalis*

Os resultados da análise dendrocronológica dos anéis de crescimento do lenho das árvores de *C. legalis* referentes ao controle de qualidade da datação e da sincronização do crescimento radial do tronco para cada espaçamento são apresentados na Tabela 8.

Verifica-se que o exame dos anéis de crescimento confirmou a idade das árvores de *Cariniana legalis*, de 38 anos, com o indicativo de um anel de crescimento ausente. No espaçamento 3 x 1,5 m foram utilizadas amostras do lenho de 16 árvores - todas com 38 anos - com o valor da intercorrelação das séries satisfatória, valor de correlação crítica de .525 e média de sensibilidade aos fatores externos de .493. No espaçamento 3 x 2 m, foram utilizadas amostras de 15 árvores - idade de 33 a 38 anos - com intercorrelação entre as séries de .432, menos representativa que a do tratamento anterior, média de sensibilidade de .478. No maior espaçamento, 3 x 2,5 m, foram utilizadas amostras do lenho de 16 árvores - 36 a 38 anos - com a maior sincronização entre amostras, de .543 e sensibilidade média de .492.

Após a análise separada da sincronização de cada espaçamento estudado, a sincronização de todas as 47 amostras do lenho das árvores de *Cariniana legalis*, sem distinção dos tratamentos de espaçamento de plantio indicou uma sincronização com o valor do índice de .368, abaixo do encontrado na análise das árvores de cada tratamento, embora o valor da média de sensibilidade foi similar ao do obtido para cada espaçamento.

Tabela 8 - Controle de qualidade e datação cruzada dos anéis de crescimento das árvores de *C. legalis* nos três espaçamentos

Espaçamento (m)	Idade (anos) Máx - Mín	Nº de amostras	Intercorrelação das séries	Média de sensibilidade
3 x 1,5	38 - 38	16	.525	.493
3 x 2	38 - 33	15	.432	.478
3 x 2,5	38 - 36	16	.543	.492
Todos	38 - 33	47	.368	.488

Somente as árvores de *Cariniana legalis* no espaçamento 3 x 2 m indicaram

o valor da sincronização das amostras do lenho inferior à correlação crítica de .515; as árvores nos demais espaçamentos apresentaram valor de sincronização maior do que o definido pela correlação crítica, evidenciando boa sincronização dos anéis de crescimento formados no seu lenho.

Em relação à idade das árvores de *Cariniana legalis* verificou-se que, para a maioria dos espaçamentos de plantio, confirmou-se através da análise dos anéis de crescimento, a idade das árvores (38 anos), corroborando com a data do plantio. Do total de amostras do lenho das árvores de *Cariniana legalis* no espaçamento 3 x 2,5 m, 7 apresentaram idade inferior da data do plantio; no 3 x 1,5 m, todas as amostras foram coincidentes com a data do plantio (38 anos); no 3 x 2 m, de 15 amostras analisadas, em 3 houve coincidência com a data do plantio (38 anos).

Em relação à esses resultados, destaca-se que os anéis de crescimento apesar de distintos e anuais, são de difícil demarcação nos primeiros anos de formação no lenho do tronco das árvores de *C. legalis*; assim a idade menor das árvores obtida em algumas amostras do lenho, pela análise dos anéis de crescimento em relação à data do plantio deve-se à dificuldade da visualização dos anéis de crescimento formados nos primeiros anos. A análise dos anéis de crescimento das árvores de *Cariniana legalis*, realizadas por Fernandes et al. (2005), visando determinar a taxa de crescimento do tronco indicou que a presença de anéis de crescimento incompletos ocorre pela formação do lenho de reação (vide Item 4.4, Figura 20), dificultando a demarcação, mas não restringindo a contagem, determinação da idade e a taxa de crescimento do tronco das árvores.

O valor da sensibilidade média das séries dos anéis de crescimento foi acima da média (>0.30) para todos os tratamentos de espaçamento de plantio (GRISSINO-MAYER, 2001). Essa média reflete as variações do fator ambiental que é mais limitante para o crescimento do tronco das árvores; quando as árvores não estão afetadas pelo estresse ambiental, os anéis de crescimento tendem a apresentar uma menor variabilidade, sendo caracterizados como complacentes (FRITTS, 1976), ao contrário do observado nas árvores de *Cariniana legalis*, cujos anéis de crescimento são caracterizados como sensitivos aos fatores ambientais.

A análise da correlação entre os espaçamentos (Tabela 9) indica o maior valor da correlação para o menor espaçamento entre árvores de *Cariniana legalis*; o maior valor da correlação foi determinado no 3 x 1,5 e 3 x 2 m (0,404) seguido do 3 x 2 e 3 x 2,5m (0,313) e o menor entre os mais distintos, 3 x 1,5 e 3 x 2,5 m (0,180).

O resultado do valor do índice residual obtido após a utilização do software Arstan mostra a existência de mesmo padrão de crescimento do tronco das árvores de *Cariniana legalis* nos diferentes espaçamentos; nota-se, no entanto, que o espaçamento influenciou diretamente no ritmo de crescimento radial do tronco das árvores (Figura 21). A maior proximidade do crescimento das árvores, entre os espaçamentos verificados na análise de correlação indica, também, sua forte influência no desenvolvimento das árvores. Observa-se, assim, que a largura e o padrão de variação dos anéis de crescimento são fortemente influenciados pelas condições de crescimento, ressaltando-se a disponibilidade do espaço vital em que as árvores de *Cariniana legalis* estão inseridas.

Tabela 9 - Correlações entre os índices residuais das árvores de *Cariniana legalis* nos três espaçamentos

Espaçamento (m)	Correlação		
	3 x 1,5	3 x 2	3 x 2,5
3 x 1,5	.	0,404	0,180
3 x 2	.	.	0,313
3 x 2,5	.	.	.

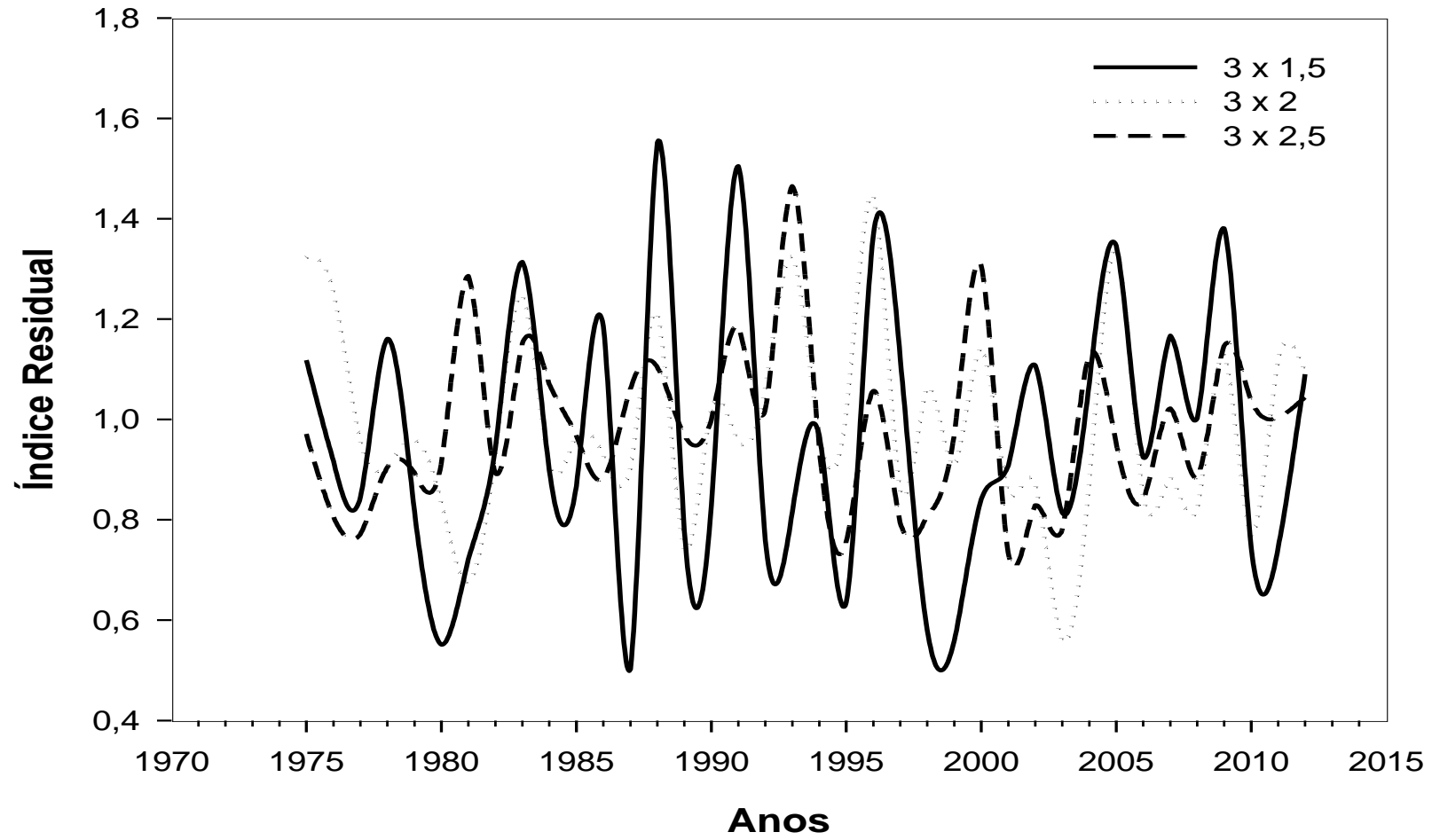


Figura 21 - Séries cronológicas padronizadas das árvores de *Cariniana legalis* nos três espaçamentos

4.7 Dendroclimatologia das árvores de *C. legalis*

A análise dendroclimatológica indicou a influência significativa das variáveis climáticas (i) precipitação mensal acumulada e (ii) temperatura mensal média no crescimento radial do tronco das árvores de *Cariniana legalis* (Tabela 10).

No entanto, a resposta das árvores de *Cariniana legalis* foi divergente nos 3 espaçamentos de plantio, com diferença significativa em relação aos meses que influenciaram o crescimento radial do tronco, ou seja, as árvores não apresentam o mesmo comportamento nos 3 espaçamentos. Apesar da diferença detectada, observa-se um padrão similar de crescimento do tronco das árvores considerando a relação do crescimento-precipitação mensal acumulada nos meses do ano que influenciam na atividade cambial e na formação do anel de crescimento; no presente estudo este período corresponde aos meses de janeiro do ano prévio até agosto, representativo de todo o ciclo biológico da formação do anel de crescimento anual no tronco das árvores.

Os resultados dos estudos dendroclimatológicos em árvores de espécies tropicais e sub-tropicais indicam os meses de maior temperatura e precipitação (verão), os quais exercem maior influência positiva no desenvolvimento do tronco das árvores; nas árvores de *C. legalis* nos três espaçamentos observou-se um padrão semelhante e, também, diferenciado em relação às informações da literatura.

Desta forma, para a variável climática precipitação houve correlações positivas e negativas no crescimento do tronco das árvores, sendo que (i) no menor espaçamento (3 x 1,5 m) o mês de maio do ano anterior (prévio) à formação do anel de crescimento exerce correlação significativa positiva com o crescimento do tronco das árvores; (ii) no espaçamento intermediário (3 x 2 m) os meses de setembro (prévio) e junho (corrente) exercem influência significativa positiva; (iii) no maior espaçamento (3 x 2,5 m) houve influência positiva no crescimento no mês de setembro (anterior) à formação do anel de crescimento e negativa em fevereiro (corrente), correspondente à formação do anel de crescimento anual (Figura 22).

Para a variável climática temperatura média mensal houve correlação negativa com o crescimento radial do tronco das árvores de *Cariniana legalis* nos três espaçamentos, (i) no espaçamento 3 x 1,5 m houve influência do mês de julho (prévio) a formação dos anéis de crescimento; (ii) no espaçamento 3 x 2 m houve

influencia significativa dos meses de março e novembro (prévios) e maio (corrente); (iii) no espaçamento 3 x 2,5 m houve influencia significativa dos meses de fevereiro e agosto (prévio) à formação dos anéis de crescimento anuais no lenho do tronco das árvores (Figura 23).

Tabela 10 - Correlação entre as séries cronológicas das árvores de *C. legalis* com a precipitação mensal acumulada e a temperatura mensal média nos três espaçamentos

Mês	Precipitação mensal acumulada			Temperatura mensal média		
	Espaçamento (m)					
	3 x 1,5	3 x 2	3 x 2,5	3 x 1,5	3 x 2	3 x 2,5
JANp*	0,1150	-0,2119	-0,1496	-0,2807	-0,0076	-0,1984
FEVp	0,0383	0,1842	0,2904	-0,1105	0,1980	-0,3758
MARp	0,2581	0,2545	0,0986	-0,0551	-0,4158	-0,2159
ABRp	0,0944	0,0021	0,2546	0,1146	0,0860	-0,1584
MAIp	0,3817	0,2889	0,0478	0,2944	0,1774	0,1132
JUNp	0,1681	0,1497	0,0784	0,0014	-0,0405	-0,1780
JULp	0,2734	-0,0034	0,1908	-0,4553	-0,0903	-0,2672
AGOp	0,0545	0,0878	0,1428	0,0906	0,0042	-0,4331
SET	0,1527	0,3827	0,4468	0,1272	0,0968	-0,0825
OUT	0,0892	0,1381	-0,1171	0,1261	0,0507	0,0450
NOV	0,0626	-0,0795	-0,3264	0,1924	-0,4114	0,1273
DEZ	-0,1921	-0,0719	-0,2911	0,0227	-0,1064	-0,0538
JAN	-0,1795	-0,1444	-0,2998	-0,0119	-0,3442	-0,1058
FEV	-0,1612	-0,2485	-0,3908	0,0695	0,2410	0,2532
MAR	-0,0953	0,0350	0,1312	0,0353	0,2653	-0,1608
ABR	-0,0039	-0,1226	-0,0706	-0,1746	-0,2734	-0,0983
MAI	-0,0466	-0,1997	-0,0402	0,0548	-0,4570	0,0869
JUN	-0,0123	0,3816	0,1129	0,1368	-0,1902	-0,1354
JUL	0,0995	-0,0987	-0,0074	0,1929	-0,2130	-0,0559
AGO	0,0138	-0,0974	-0,0138	-0,0928	-0,1023	-0,3008

*Ano prévio à formação do anel de crescimento. Valores em negrito indicam correlações significativas (Pearson-95%)

A literatura especializada reporta a complexidade dos estudos da relação da formação dos anéis de crescimento anuais das árvores das espécies florestais com os fatores climáticos, principalmente em ambientes subtropicais e tropicais havendo necessidade de incluir os parâmetros relacionados com a biologia e a

fenologia das espécies, características do sítio, etc. (CHAGAS, 2013).

Os estudos fenológicos indicam que, de modo geral, a fenofase da perda das folhas das árvores coincide com o período de redução e/ou cessação da atividade cambial influenciando na formação dos anéis de crescimento. Para as árvores de *Cariniana legalis* esta fenofase ocorre nos meses de menor déficit hídrico e temperatura (inverno), compreendendo junho, julho e agosto (MARIA, 2002). Nas árvores de *Cariniana legalis*, no presente estudo, plantadas nos menores espaçamentos (3 x 1,5 e 3 x 2 m), os meses de maio e junho correspondem ao período de transição e de dormência da atividade cambial e, desta forma, da formação completa dos anéis de crescimento no tronco das árvores. Conclui-se que a correlação positiva da largura dos anéis de crescimento, no lenho do tronco das árvores de *Cariniana legalis* com a precipitação indica que, neste período, as árvores absorvem através das raízes, a água acumulada no lençol freático na estação chuvosa.

A correlação entre atividade cambial de árvores de *Swietenia macrophylla* e a intensidade de chuvas foi analisada por Alvarado (2009) nas florestas tropicais da Amazonia; o autor verificou que as baixas precipitações ocorrentes dos meses de maio a julho induzem a dormência da atividade cambial afetando o crescimento do tronco das árvores. Para árvores de *Tabebuia pentaphylla*, Chagas (2013) observou uma correlação positiva entre a precipitação e o crescimento no mês de abril, similar ao resultado do mês de maio para as árvores de *Cariniana legalis* no presente estudo.

Na floresta tropical seca da Bolívia, Mendivelso et al. (2014) constataram para as árvores de *Centrolobium*, *Acosmium*, *Caesalpinia*, *Zeyheria*, *Anadenanthera* e *Tabebuia* uma forte resposta no crescimento do tronco em resposta à precipitação nos meses de novembro-março (estação chuvosa); para as árvores de *Aspidosperma*, a maior correlação ocorreu de abril a maio, transição da estação úmida para a seca.

A precipitação pluviométrica ao repor a água armazenada no lençol freático - em quantidade e qualidade adequadas - é absorvida pelo sistema radicular das árvores e, desta forma, influencia positivamente no crescimento em extensão e diâmetro das árvores; no entanto enquanto fator de crescimento escasso ou em excesso pode afetar e reduzir o crescimento das árvores. Nesse aspecto, observou-se uma correlação negativa do crescimento do tronco das árvores de *Cariniana*

legalis, no maior espaçamento avaliado (3 x 2,5 m), com a precipitação do mês de fevereiro. Possivelmente as árvores no tratamento de maior espaçamento (7,5 m²/planta) extraíam do solo menor quantidade de água/área, em relação aos demais tratamentos, resultando em excesso e saturação de água no solo nos meses anteriores (período de outubro prévio a janeiro) e resultando em menor crescimento do diâmetro do tronco. Essa relação foi relatada por Spathelf et al. (2000) em árvores de *Ocotea pulchella* verificando que o excesso de água influenciou negativamente o crescimento do diâmetro do tronco das árvores.

Nesse período é provável que as árvores de *Cariniana legalis* diminuam o crescimento do tronco em função da saturação de água do solo e redução do teor de oxigênio. De acordo com Nouvellon et al. (2010) a condição hídrica da planta no período de desenvolvimento foliar e/ou a radiação fotossintética ativa absorvida pela folha são importantes e influenciam a área foliar. Ainda, o nível de severidade do estresse hídrico para as plantas é dependente do período de duração, afetando inúmeros processos fisiológicos, como o fechamento dos estômatos, acarretando a diminuição da taxa de fotossíntese e no menor crescimento das árvores (LANDSBERG, 1986 apud DIAS, 1996).

As árvores de *Cedrela fissilis* ocorrentes na região de Santa Maria-RS, com clima do tipo Cfa, caracterizado pela precipitação pluviométrica em todos os meses do ano apresentam, segundo Munareto (2007), nos meses de março e de abril um decréscimo do crescimento do tronco correlacionado pelo aumento na quantidade de chuvas nos meses de março, indicando que a maior precipitação pluviométrica no período resulta em menor crescimento das árvores.

A correlação positiva do crescimento do tronco das árvores de *Cariniana legalis* nos 2 tratamentos de espaçamento (3 x 2; 3 x 2,5m) com a precipitação do mês de setembro representa a influência das chuvas no início da estação chuvosa para o estímulo da atividade cambial e formação dos anéis de crescimento. Dunisch et al. (2003) estudando os anéis de crescimento de árvores de *Swietenia macrophylla* em uma floresta primária no estado do Mato Grosso obteve uma correlação positiva do crescimento do tronco com a precipitação no início e no final da estação de crescimento.

Em relação à temperatura, as árvores de *Cariniana legalis* nos 3 espaçamentos apresentaram resposta negativa do crescimento do tronco. A temperatura e a interação com a precipitação – nos meses da estação seca, que

coincidente com o período de inverno (maio- agosto) houve uma queda significativa no crescimento radial do tronco das árvores. A literatura relata estudos que demonstram que a queda da temperatura e da precipitação pluviométrica no período climático acentua o efeito do déficit hídrico na transição do período seco para o chuvoso, resultando na redução do crescimento do tronco das árvores (CHAGAS, 2009; LOBÃO, 2011).

No tronco das árvores de *Cariniana legalis*, nos espaçamentos 3 x 2 e 3 x 2,5 m, houve uma redução significativa da largura dos anéis de crescimento em resposta às condições climáticas dos meses de fevereiro-março e novembro (verão) anterior à formação do anel de crescimento. Nesse período verifica-se uma leve queda da precipitação, mas com temperatura mantendo-se elevada e, desta forma, com alta taxa de evapotranspiração, com drástica redução da disponibilidade de água no solo, limitando o seu crescimento (TROVATI; FERRAZ, 1984).

Em árvores de outras espécies, como as de *Centrolobium*, *Acosmium*, *Caesalpinia* e *Anadenanthera*, Mendivelse et al. (2014) verificaram resposta negativa do crescimento do tronco com a temperatura, sendo os maiores coeficientes de correlação em novembro e dezembro; exceto para as árvores de *Anadenanthera* em janeiro e março.

Apesar da influencia da temperatura no crescimento das árvores de *Cariniana legalis*, verificou-se que a precipitação é a variável climática mais efetiva em relação ao crescimento do tronco das árvores nos 3 espaçamentos de plantio. Nesse aspecto a literatura indica que as florestas temperadas e tropicais são diretamente afetadas pelas variações climáticas e, em condições de déficit hídrico, observa-se uma redução no crescimento do tronco e aumento da taxa de mortalidade das árvores (ALLEN, 2009).

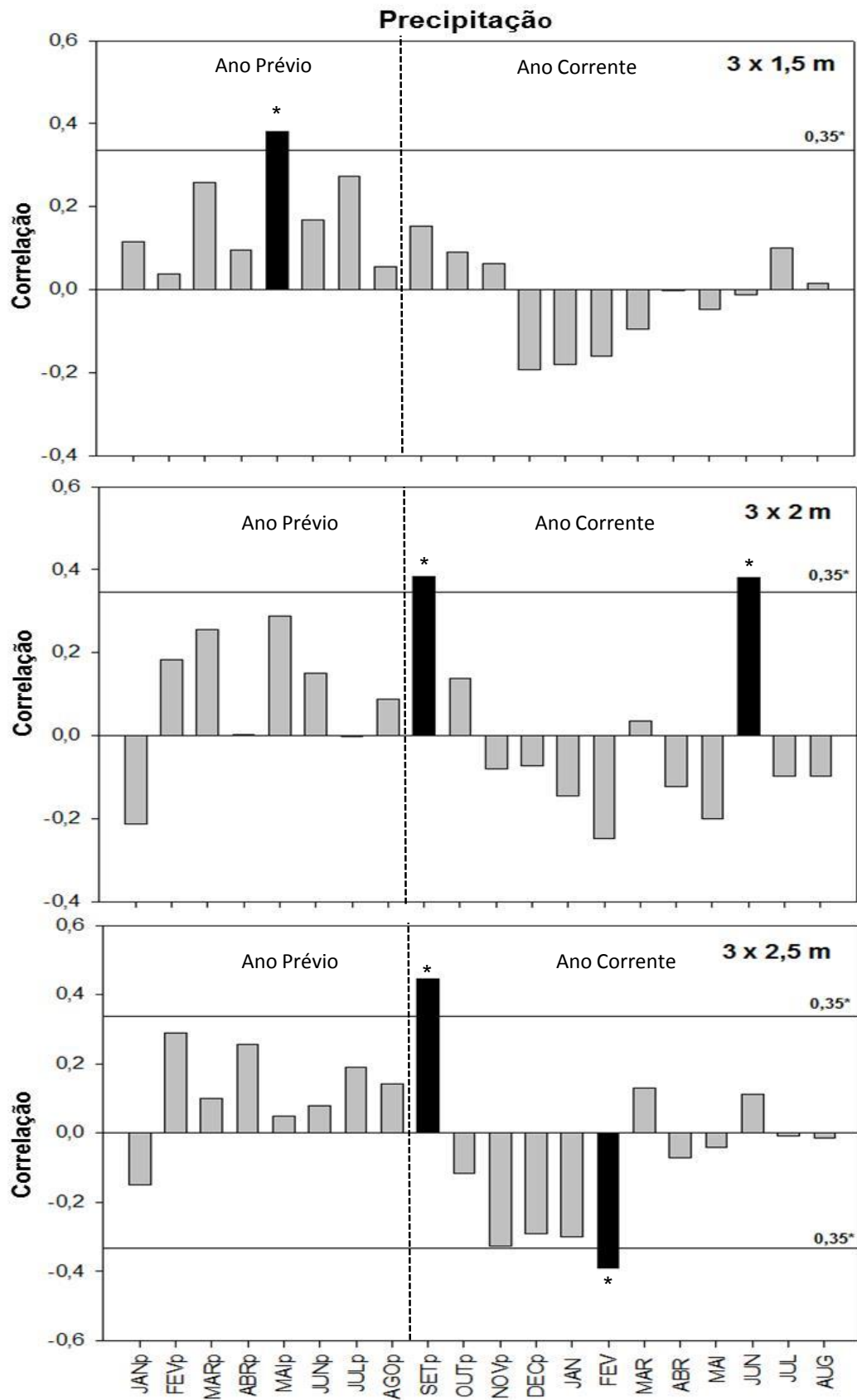


Figura 22 - Correlação das cronologias dos anéis de crescimento de árvores de *C. legalis* com a precipitação mensal acumulada nos três espaçamentos. Linha pontilhada indica o início da formação do anel de crescimento

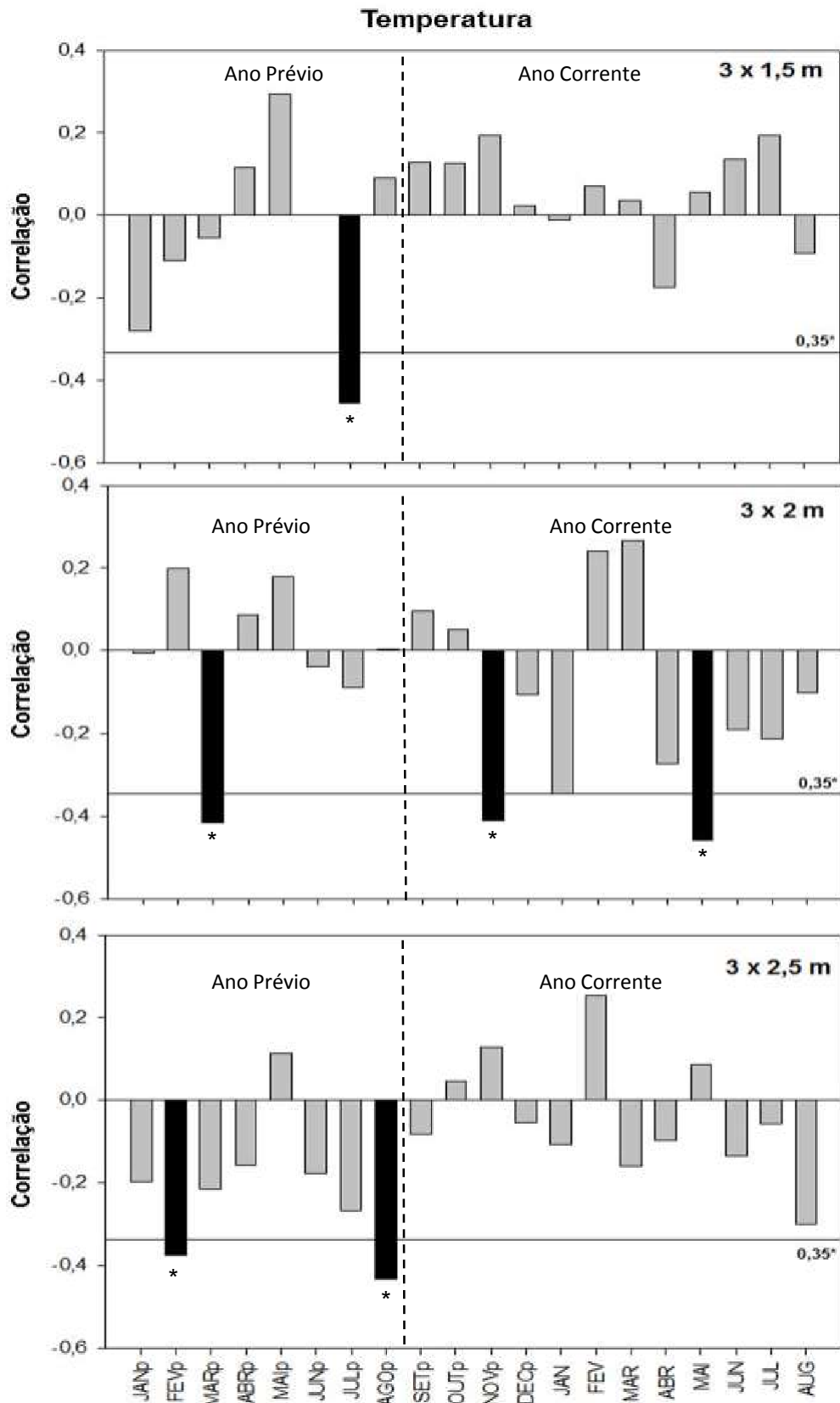


Figura 23 - Correlação das cronologias dos anéis de crescimento de árvores de *C. legalis* com a temperatura média mensal nos três espaçamentos. Linha pontilhada indica o início da formação do anel de crescimento

4.8 Crescimento em altura e diâmetro do tronco das árvores de *Cariniana legalis*

Os resultados da análise do crescimento em altura, DAP do tronco, volume por árvore e por hectare, incremento radial acumulado do tronco e médio anual das árvores de *Cariniana legalis* evidenciaram o efeito significativo do espaçamento de plantio para alguns dos parâmetros (Tabela 11).

Em relação à altura total do tronco das árvores de *Cariniana legalis* não foi detectada diferença estatística, com valores de 21,0, 20,7 e 21,9 m, nos espaçamentos de 3 x 1,5, 3 x 2 e 3 x 2,5 m, respectivamente; no entanto para o DAP do tronco as árvores do maior espaçamento (3 x 2,5 m) foi de 21,2 cm, diferenciando significativamente das do espaçamento de 3 x 2 e 3 x 1,5 m, com valor de 18,4 e 18,3 cm, respectivamente (Figuras 24 A,B,C,D).

Em relação ao volume do lenho do tronco das árvores de *Cariniana legalis* obteve-se para o (i) volume do lenho/árvore o valor de 0,394, 0,264 e de 0,293 m³ nos espaçamentos de 3 x 2,5, 3 x 2 e 3 x 1,5 m, respectivamente, com diferenças estatísticas, sendo maior nas árvores com área de 7,5 m²; (ii) volume do lenho das árvores/ha o valor de 648,550, 440,064 e de 529,550 m³ nos espaçamentos de 3 x 1,5, 3 x 2 e 3 x 2,5 m, respectivamente, com diferenças estatísticas, sendo maior nas árvores com área de 4,5 m²

Em relação ao incremento radial do tronco das árvores de *Cariniana legalis* obteve-se para o (i) incremento radial acumulado do tronco/IRA o valor de 63,013, 51,417 e de 52,932 mm nos espaçamentos de 3 x 2,5, 3 x 2 e 3 x 1,5 m, respectivamente, sem diferenças estatísticas, embora sendo maior nas árvores com área de 7,5 m²; para o (ii) incremento radial médio anual das árvores/IRMA o valor foi de 2,838, 2,459 e de 2,526 mm nos espaçamentos de 3 x 2,5, 3 x 2 e 3 x 1,5 m, com diferença estatística para as árvores do maior espaçamento.

Na análise quantitativa dos parâmetros de crescimento observa-se tendência das árvores de *Cariniana legalis* do maior espaçamento apresentar maior incremento (Figura 25). Observa-se, de modo geral, uma relação direta do crescimento das árvores de *C. legalis* com os espaçamentos, sendo que as plantas no maior espaço vital (7,5 m²) apresentaram maior altura, DAP e volume por árvore e, portanto, maior produção volumétrica do lenho.

Tabela 11 - Altura total (HT), diâmetro a altura do peito (DAP), volume por árvore (Varv) e por hectare (Vha), incremento radial acumulado (IRA) e médio anual (IRMA) das árvores de *C. legalis* nos três espaçamentos

Espaçamento	(HT)	DAP	(V.arv)	(V.ha)	IRA	IRMA
(m)	(m)	(cm)	(m³.árvore⁻¹)	(m³.ha⁻¹)	(mm)	(mm)
3 x 1,5	21,0 a	18,3 b	0,293 ab	648,550 a	52,932 a	2,459 b
3 x 2	20,7 a	18,4 b	0,264 b	440,064 b	51,417 a	2,526 b
3 x 2,5	21,9 a	21,2 a	0,394 a	529,550 ab	63,013 a	2,838 a

Médias seguidas de letras diferentes, em uma mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Avaliando todas as árvores de *Cariniana legalis* nos 3 espaçamentos, na mesma área experimental, no período de 1977-1985, Zanatto et al. (1986) verificaram a inexistência de diferença significativa entre espaçamentos para a altura e, no entanto, significativa para o DAP; a partir do ano de 1979 as árvores do maior espaçamento diferiram significativamente das demais; no período de 1980-1985, houve incremento do DAP das árvores diferindo estatisticamente nos espaçamentos. Observa-se que, após 28 anos da avaliação das árvores de *Cariniana legalis*, não há variação significativa para a altura do tronco; e o DAP do 3 x 1,5 e 3 x 2 m não diferem estatisticamente.

Em plantação de *Gochnatia polymorpha* em diferentes espaçamentos (1,5 x 1; 2 x 1; 2,5 x 1; 3 x 1 m), analisada por Aoki e Zimback (2010) avaliaram-se a altura e o DAP do tronco das árvores até o 12^o ano, não havendo diferença significativa para as variáveis; semelhante ao obtido neste estudo para a altura das árvores de *Cariniana legalis*.

Em experimento sobre o efeito do espaçamento (1; 2; 4; 6; 9 m²/planta) constatou-se que a altura e DAP das árvores de *Poecilanthus parviflora* (13 anos) tenderam a aumentar no maior espaçamento; a altura e o DAP das árvores de *Miroxylum peruiferum* (14 anos) diminuíram com o aumento do espaço vital (NOGUEIRA; SIQUEIRA, 1977 apud KAGEYAMA; CASTRO, 1989).

Para as árvores de coníferas, de *Pinus taeda*, Lima (2010) verificou que, em 9 espaçamentos (1 a 16m²/planta) a altura do tronco não diferiu e o DAP do tronco foi maior no maior espaçamento (16 m²/planta); o volume de lenho das árvores/ha foi maior no espaçamento de 1 e 2 m²/planta. Ainda, em árvores de *Pinus*

taeda, Inoue et al. (2010) constataram que a altura do tronco não variou nos diferentes espaçamentos; o DAP do tronco variou significativamente, com o maior valor no maior espaçamento.

Em árvores de eucaliptos avaliadas em 4 espaçamentos (3 x 2; 6 x 2; 6 x 3; 6 x 4 m), Magalhães et al. (2005) verificaram que o DAP e volume de madeira/planta foram maiores com o aumento do espaçamento e inverso para o volume de madeira/ha; com a altura das árvores não influenciada pelo espaçamento. Ainda, em árvores de *Eucalyptus grandis* (10 anos), no menor espaçamento verificou-se o maior volume de madeira/ha; o volume de madeira/ha foi maior do menor para o maior espaçamento (SCHONAU, 1974 apud BALLONI; SIMÕES, 1980).

Segundo Fishwick (1976) o volume de madeira das árvores em uma plantação diminui com o aumento do espaçamento, sendo que a diferença do volume de madeira diminui com a idade das árvores conforme constatado para as de *Cariniana legalis*, no presente estudo – ao final de um ciclo longo da plantação, a produção volumétrica tende a ser semelhante independente do espaçamento. Novamente, os resultados do presente estudo corroboram o autor, com a produção volumétrica de madeira das árvores de *Cariniana legalis* não diferindo estatisticamente no menor e maior espaçamento. Nesse aspecto, Radosevich e Osteryoung (1987) concluíram que a diferença do volume de madeira/área, nos diferentes espaçamentos, dependerá apenas do tempo até atingir a máxima produção, igualando o volume de madeira independente da área, sendo conhecida como “lei da produção final”.

Da mesma forma, Balloni e Simões (1980) indicaram que plantações florestais mais densas originam maior volume de madeira/ha, sendo que, no entanto, maior espaçamento resulta em árvores em maior número e maior volume de madeira/árvore. Destaca-se que, para as árvores de determinadas espécies, o volume útil de madeira pode aumentar com o aumento do espaçamento, apesar do volume total de madeira diminuir, com o crescimento das árvores diretamente ligado a espécie.

O estímulo ao crescimento das árvores das espécies com o aumento do espaçamento, e indicativo da sua relação com a maior luminosidade incidente, pode estar vinculado à fase inicial de sucessão; por outro lado, a diminuição do crescimento com o aumento do espaçamento indica a proximidade com a fase final

de sucessão (KAGEYAMA; CASTRO, 1989). No presente estudo, observa-se que apesar das árvores de *Cariniana legalis* do maior e menor espaçamento apresentarem a maior produção volumétrica de madeira/ha verifica-se a tendência da maior produção de madeira/ha nas árvores do menor espaço vital.

Considera-se que o espaçamento é uma ferramenta de extrema importância em silvicultura, devendo ser definido para cada espécie e sítio, sendo dependente de fatores, como o local (qualidade do sítio), crescimento das árvores, produto final (volume, tamanho e forma do fuste), custos de implantação e de manejo, tipo de colheita, etc. (COUTO et al., 1977).

Os resultados mostraram que as árvores de *Cariniana legalis* apresentaram uma produção volumétrica satisfatória, provavelmente por terem sido inseridas em sua região de ocorrência natural, o que proporcionou sua fácil adaptação. Observa-se ainda, que após as referências citadas e resultados obtidos, fica claro que a influência do espaçamento é mais sensível no DAP (crescimento radial) em relação à altura total das plantas.

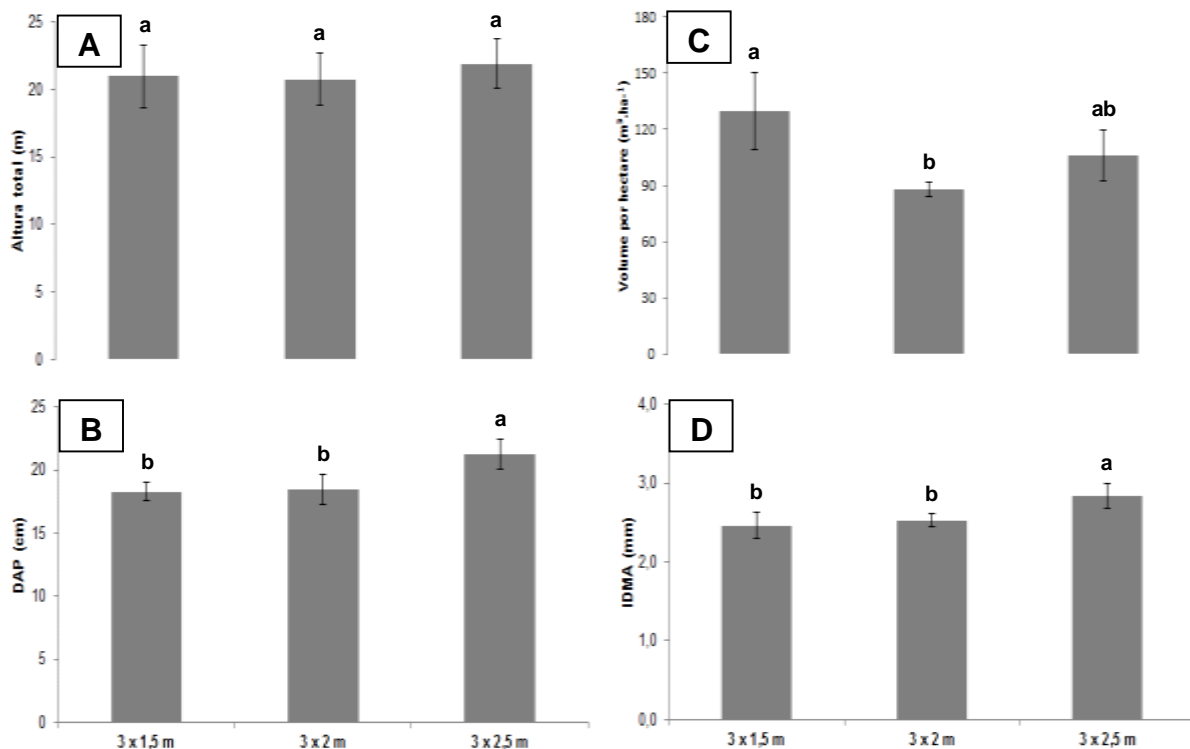


Figura 24 - Variáveis de crescimento das árvores de *C. legalis* nos três espaçamentos. (A) altura total (HT); (B) diâmetro à altura do peito (DAP); (C) volume por hectare (Vha) e (D) incremento radial médio anual (IRMA). Letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). Barras representam o erro padrão

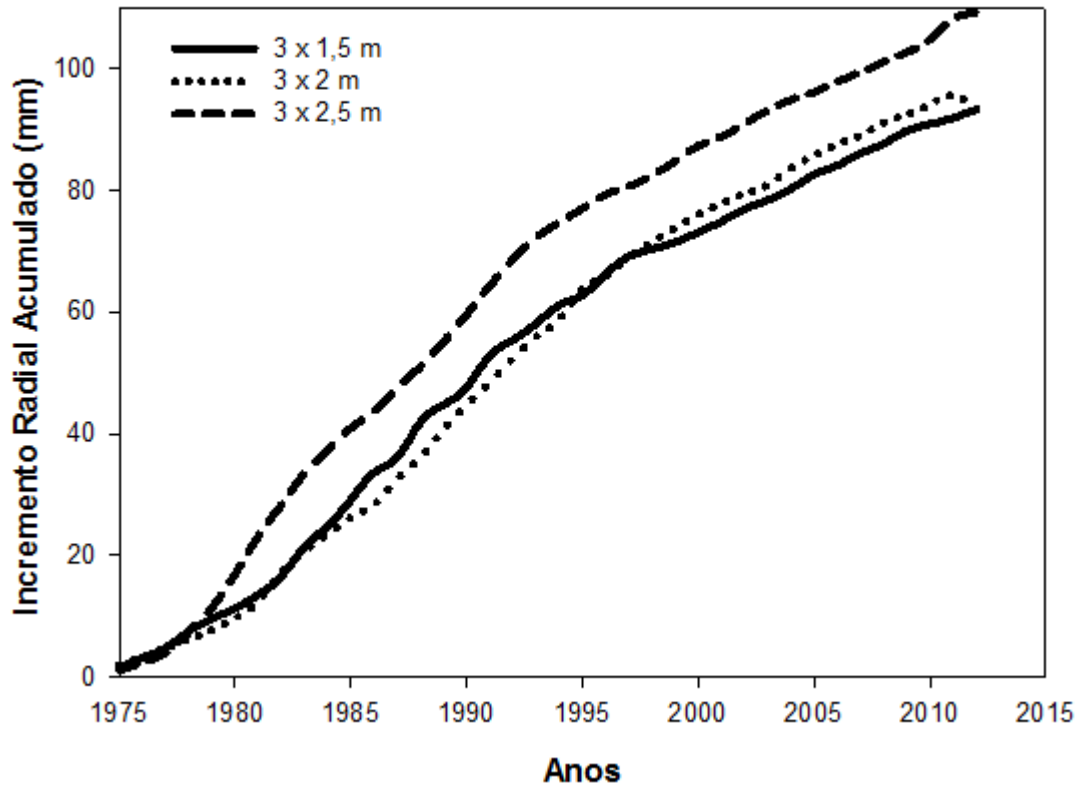


Figura 25 - Incremento Radial Acumulado (IRA) do lenho do tronco das árvores de *C. legalis* nos três espaçamentos

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que:

Os anéis de crescimento formados no lenho das árvores de *Cariniana legalis* são distintos, verificando-se anéis de crescimento falsos e ausentes;

A densidade aparente do lenho - através da densitometria de raios X - decresce da base até a região intermediária e aumenta próximo ao ápice do tronco das árvores; a densidade aparente do lenho aumenta do menor para o maior espaçamento entre árvores;

As imagens digitais do lenho - através da densitometria de raios X - indicaram um decréscimo da densidade aparente do lenho no sentido radial, relacionado com a formação do lenho de tração no entorno da região da medula;

A dendrocronologia confirmou a idade das árvores (38 anos) e a anuidade da formação dos anéis de crescimento; a dendroclimatologia indicou a influência significativa das variáveis climáticas no crescimento radial do lenho do tronco das árvores;

Os meses que influenciaram o crescimento radial do tronco das árvores foram distintos entre os espaçamentos; entretanto, há um padrão de crescimento similar do tronco das árvores e relacionado com a precipitação mensal acumulada;

As árvores no maior espaçamento apresentaram maior incremento em diâmetro, altura do tronco e o maior volume de madeira; no menor espaçamento, houve o maior volume de madeira/ha;

A área do espaço vital (m^2 /planta) influenciou significativamente o crescimento das árvores; as inseridas no maior espaçamento apresentaram maior crescimento e maior densidade aparente do lenho; o maior volume do lenho/ha foi determinado para as árvores no menor espaçamento.

6 RECOMENDAÇÕES

Os resultados do presente trabalho possibilitam apresentar as seguintes recomendações:

Avaliação da xilogênese das árvores relacionada aos espaçamentos, incluindo a sazonalidade da atividade cambial e a fenologia das árvores para a compreensão da formação do lenho e dos anéis de crescimento, através do uso de dendrômetros e da extração não destrutiva e sequencial das amostras da camada cambial, montagens de lâminas histológicas e avaliação microscópica da atividade cambial;

Aplicação da dendrocronologia e dendroclimatologia em árvores das plantações e de populações naturais, possibilitando a avaliação comparativa do crescimento do tronco das árvores, da influência das variáveis climáticas, etc;

Estudo da formação e da caracterização do lenho de reação, no caso, o lenho de tração no tronco das árvores; incluindo análises da estrutura anatômica macro e microscópica, da ultraestrutura da parede celular, da composição química e da caracterização físico-mecânica; comparação com o lenho das árvores de populações naturais;

Avaliação e caracterização das propriedades químico-físico-mecânicas do lenho das árvores nos 3 espaçamentos e preconização do uso e aplicação da madeira; incluindo a avaliação econômica de plantações florestais e da qualidade e aplicações da madeira em regime de manejo de longo prazo para espécies florestais.

REFERÊNCIAS

ALLEN, C.D. Climate-induced forest dieback: an escalating global phenomenon? **Unasylva**, Rome, v. 60, p. 231-232, 2009.

ALVARADO, J.R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King. Meliaceae, ocorrentes na floresta Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru.** 2009. 129 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira.** 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 11/12, n. 6, p. 17-23, 1998.

AMARAL, A.C.B.; FERREIRA, M.; BANDEL, G. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no sentido medula- casca em árvores do sexo masculino e feminino. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 2/3, p. 119-127, 1971.

AOKI, H.; ZIMBACK, L. Influência do espaçamento na conformação do fuste, diâmetro à altura do peito e altura do camará – *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabr. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 289-295, 2010.

BALLONI, E.A.; SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.

BARNETT, J.R.; JERONIMIDIS, G. **Wood quality and its biological basis.** Oxford: Blackwell, 2003. 226 p.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** 2000. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BORMANN, F.H.; BERLYN, G. **Age and growth rate of tropical trees: new directions for research.** New Haven: Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, 1981. 137 p.

BOTOSSO, P.C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 65 p.

- BRASIL, M.A.M. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propinqua* em função do local e do espaçamento**. 1972. 75 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.
- BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian trees species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 226, p. 256-267, 2006.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1994. v. 1, 640 p.
- _____. Jequitibá-Rosa. In: _____. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. v. 1, p. 631-636.
- CASTELO, P.A.R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 2007. 151 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- CASTRO, V.R. de. **Efeitos do potássio, sódio e da disponibilidade hídrica no crescimento e qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 2014. 142 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_314.html>. Acesso em: 19 jul. 2013.
- CLARK III, A.; SAUCIER, J.R. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile wood formation in southern pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 39, n. 7/8, p. 42-48, 1989.
- 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. 113 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- _____. **Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo**. 2013. 159 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

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

COOK, E.R.; KAIRIUKSTIS, L. **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. 394 p.

COSSALTER, C.; PYE-SMITH, C. **Fast-wood forestry: myths and realities**. Bogor: CIFOR, 2003. v. 59, 50 p.

COSTER, C. Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen - und Jahresringbildung in den Tropen. **Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg**, Buitenzorg, v. 37, p. 49-160, 1927.

COUTO, L.; BRANDI, R.M.; CONDÉ, A.R.; PAULA NETO, F. de. Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus "urophylla"*, de origem híbrida, cultivada na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 57- 71, 1977.

CURY, G. **Descrição da estrutura anatômica do lenho e sua aplicação na identificação de espécies arbóreas do Cerrado e da Mata Atlântica do Estado de São Paulo**. 2001. 178 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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

DIAS, H.C.T.; OLIVEIRA FILHO, A.T.O. Fenologia de quatro espécies arbóreas de uma floresta estacional semidecídua montana em Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 66-88, 1996.

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

ELOY, E.; CARON, B.O.; TREVISAN, R.; SCHMIDT, D.; ZANON, M.L.B.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G.C. Variação longitudinal e efeito do espaçamento na massa específica básica da madeira de *Mimosa scabrella* e *Ateleia glazioviana*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 327-334, abr./jun. 2013.

FAO. **States of the world's forests**. Rome, 2012. p. 24-41.

FAXITRON X-RAY. **Model LX-60 technical manual**. Lincolnshire, 2009. 82 p.

FERNANDES, J.B.; CASTRO, B.S.; VOIGT, A.R.A.; LISI, C.S.; LUCCA, A.L.T. de; TOMAZELLO FILHO, M. *Cariniana legalis* (Mart.) Huntze - jequitibá-rosa - Lecythidaceae, imponente árvore da floresta estacional semidecídua: determinação da sua idade e taxa de crescimento pelos anéis de crescimento. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 13., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2005.

FERREIRA, A.T.B. **Avaliação da estrutura anatômica e da densidade aparente do lenho e do carvão de árvores de *Eucalyptus* sp. e de *Corimbia* sp.** 2013. 131 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

FERREIRA, A.T.B. **Caracterização da estrutura anatômica do lenho, dos anéis de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. Et Golf.** 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FERREIRA, M. **Estudos da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith.** 1968. 72p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

_____. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reiw e *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, n. 1, p. 83-96, 1970.

FICHTLER, E.; TROUET, V.; BEECKMAN, H.; COPPIN, P.; WORBES, M. Climatic signals in tree rings of *Burkea africana*. **Trees**, Santa Monica, v. 18, n. 4, p. 442-451, 2004.

FISHWICK, R.W. Estudos de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 7, n. 26, p. 13-23, 1976.

FRANCO, M.P. **Efeito da substituição do potássio pelo sódio em árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, visando a expansão das plantações florestais sob condições de estresse hídrico.** 2014. 199 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

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

GARCIA, C.H.; CORRADINE, L.; ALVARENGA, F.S. **Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos.** Piracicaba: IPEF; ESALQ, Depto. Ciências Florestais, 1991. 10 p. (Circular Técnica, 179).

GONZÁLEZ, A.D.V. **Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. Et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP.** 2013. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

GOULART, M.; HASELEIN, C.R.; HOPPE, J.M.; FARIAS, J.A.; PAULESKI, D.T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

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

HEIN, P.R.G. **Genetic and environmental control of microfibril angle on *Eucalyptus* wood: its effects on wood traits and implication for selection.** 2011. 168 p. Tese (Docteur de L’Universite Montpellier) – Sciences et Techniques du Languedoc, Universite Montpellier, Montpellier, 2011.

HOADLEY, B. **Understanding wood: a Craftsman's guide to wood technology.** Newtown: Taunton Press, 2000. 280 p.

HOLMES, R.L.; ADAMS, R.K.; FRITTS, H.C. **Tree-ring chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin, with procedures used in chronology development work.** Tucson: Arizona University, 1986, (Chronology Series, 6).

IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for wood identification. **IAWA Bulletin**, Oakland, v. 10, n. 3, p. 226-332, 1989.

INOUE, M.T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAÚJO, A.J.; LIMA, R. Crescimento juvenil de *Pinus taeda* em função do espaço vital de crescimento. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 57-62, 2010.

INSIDEWOOD. **LECYTHIDACEAE *Cariniana legalis* (JEQUITIBA ROSA).** Disponível em: <<http://insidewood.lib.ncsu.edu/description?3>>. Acesso em: 13 out. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas de procedimentos em estudos da anatomia da madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae.** Brasília, 1991. 19 p.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. **The IUCN red list of threatened species: *Cariniana legalis*.** Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org/details/34747/0>>. Acesso em: 04 set. 2014.

JANKOWSKY, I.P. **Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial.** Piracicaba: IPEF; ESALQ, Depto. Ciências Florestais, 1979. 18 p. (Circular Técnica, 81).

JIMÉNEZ, J.A.G.; ARANGO, J.I.V. del. Estudio del crecimiento de *Prioria copaifera* (Caesalpinaceae) mediante técnicas dendrocronológica. **Revista Biología Tropical**, Medellín, v. 59, n. 4, p. 1813-1831, dez. 2011.

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: MacGraw-Hill, 1940. 450 p.

KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C.F.A. de. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **IPEF**, Piracicaba, n. 41/42, p. 83-93, jan./dez.1989.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; MOREIRA, A.M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 603-612, 2006.

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

LIMA, I.L. de; TONIATO, M.T.Z.; SATO, A.S.; ZIMBACK, L. Efeito do espaçamento no desenvolvimento de *Poecilanthe parviflora* Benth (coração-de-negro) aos 42 anos, em Bauru, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 111-120, jun. 2010.

LIMA, I.L. de; LONGUI, E.L.; GARCIA, 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, out./dez. 2011.

LIMA, R. **Crescimento de *Pinus taeda* L. em diferentes espaçamentos**. 2010. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2010.

LIMA, R.; INOUE, M.T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAÚJO, A.J.; MACHADO, S.A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 2, p. 223-230, 2013.

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

LOBÃO, M.S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil**. 2011. 215 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LOBÃO, M.S.; COSTA, D.P.; ALMONACID, M.A.A.; TOMAZELLO FILHO, M. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 374-384, 2012.

LORENZI, H. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 512 p.

MADERN, J.H. The heritability of wood density Intern. **Union Forest Research Organization**, Melbourne, v. 2, n. 41, p. 102-106, 1965.

MAGALHÃES, W.M.; MACEDO, R.L.G.; VENTURIM, N.; HIGASHIKAWA, E.M.; YOSHITANI JÚNIOR, M. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus spp.* em quatro espaçamentos de plantio na Região Noroeste de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2006.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Ficha de característica das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, Divisão de Madeira, 1989. 432 p.

MARIA, V.R.B. **Estudo da periodicidade do crescimento, fenologia e relação com a atividade cambial de espécies arbóreas tropicais de florestas estacionais semidecíduais**. 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MARTINS, R.J. **Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo da colheita com colhedora florestal**. 2008. 84 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MEDEIROS, J.G.S. **Anéis de crescimento de árvores de *Araucaria columnaris* Hook: caracterização anatômica, densitométrica e aplicação no monitoramento ambiental**. 2005. 85p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MENDIVELSO, H.A.; CAMARERO, J.J.; GUTIÉRREZ, E. ZUIDEMA, P.A. Time-dependent effects of climate and drought on tree growth in a Neotropical dry forest: short-term tolerance vs. long-term sensitivity. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 188, n. 1, p. 13-23, 2014.

MONTEIRO, T.C.; SILVA, R.V. da; LIMA, J.T.; BARAÚNA, E.E.P.; CARVALHO, D.M. de; LIMA, M.T. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 1, n. 1 p. 6- 11, nov. 2010.

MORI, S.A.; PRANCE, G.T. **Lecitidaceas: família da castanha-do-pará**. Ilhéus: EMBRAPA; 1983. 35 p. (Boletim Técnico, 116).

MUNARETO, F.F. **Dendrocronologia de quatro espécies florestais nativas com potencial silvicultural e econômico**. 2007. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G.I.B. de.; CECCANTINI, G. anatomic characterization of wood species used in veneer production in Curitiba-PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 4, n. 1/2, p. 47-52, 2003.

NOUVELLON, Y.; LACLAU, J. P.; EPRON, D.; KINANA, A.; MABIALA, A.; ROUPSARD, O.; BONNEFOND, J.M.; MAIRE, G.; MARSDEN, C.; BONTEMPS, J.D.; SAINT-ANDRE, L. Within-stand and seasonal variations of specific leaf area in a clonal Eucalyptus plantation in the Republic of Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1796-1807, 2010.

NYLINDER, P. **Variations in density of planted Spruce**: in the influence of Environment and Genetics on pulpwood quality; an annotated bibliography, Skogsförkningsinst: TAPPI, 1962. 44 p. (Monograph Series, 24).

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3rd ed. New York: Mcgraw-Hill, 1970. 736 p.

PAULESKY, D.T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 196 p. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PEIXOTO, A.L.; ROSA, M.M.T.; JOELS, L.C.M. Diagramas de perfil e de cobertura de um trecho da Floresta de Tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 177-194, 1995.

PEREIRA, M.C.S. **Produção e consumo de produtos florestais**: perspectivas para a região sul com ênfase em Santa Catarina. Florianópolis: BRDE; AGFLO; GEPLA, 2003. 51 p.

POLGE, H. Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants: applications dans les domaines technologique et physiologique. **Annales des Sciences Forestières**, Paris, v. 23, n. 1, p. 1-206, 1966.

PONCE, R.M. Produção de madeira de qualidade para processamento mecânico. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 1., 1983, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: SDB, 1983. p. 9-13.

REMADE. Espécies tropicais promissoras. **Revista Madeira**, Brasília, n. 108, 2007. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 02 ago. 2014.

PRYOR, L.D. *Eucalyptus* in plantations: present and future – Austrália. In: WORLD SYMPOSIUM ON MAN MADE FOREST AND THEIR INDUSTRIAL IMPORTANCE, 2., 1967, Canberra. **Proceedings...** Canberra: FAO, 1967. p. 24-41.

QMS. **Tree ring analyzer users guide**: model QTRS-01X. Knoxville, 1999. 72 p.

RADOSEVICH, S.R.; OSTERYOUNG, K. Principles governing plant environment interactions. In: WALSTAD, J.D.; KUCH, P.J. **Forest vegetation management for conifer production**. New York: John Wiley, 1987. p. 105-156.

REITZ, R. **Lecitidáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa, 1981. 32 p.

REZENDE, M.A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. 1997. 153 p. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1997.

RIDDER, M. de; BULCKE, J.V. den; ACKER, J.V.; BEECKMAN, H. Tree-ring analysis of an African long-lived pionner species as a tool for sustainable forest management. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 304, p. 417-426, 2013.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**: manual de dendrologia brasileira. São Paulo: Edgard Blucher; EDUSP, 1971. 294 p.

ROIG, F.; LISI, C. **Bases conceituais para explicar a variação temporal do crescimento do xilema das árvores e sua aplicação nos estudos dendrocronológicos**. Sergipe: CONICET; UFS, 2013. Não paginado.

ROIG, F.; FERNANDEZ, M.; GARECA, E.; ALTAMIRANO, S.; MONGE, S. Estudios dendrocronológicos en los ambientes húmedos de la puna boliviana dendrochronological studies in the humid puna environments of Bolivia. **Revista Boliviana de Ecología**, Cochabamba, v. 9, p. 3-13, 2001.

ROSA, L.D.S. **Variação da densidade básica no sentido medula-casca e ao longo da circunferência do tronco, em secções transversais de *Pinus caribaea* com lenho de reação**. 2006. 40 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

ROSA, S.A. **Modelos de crescimento de quatro espécies madeireiras de floresta de várzea da Amazônia Central por meio de métodos dendrocronológicos**. 2008. 68 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

SANTINI JUNIOR, L. **Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no Estado de São Paulo – Programas “São Paulo Amigo da Amazônia” e “Cadmadeira”**. 2013. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

SASS, J.E. **Botanical microtechnique**. 2nd ed. Iowa: State College Press, 1951. 350 p.

SATO, A.S.; LIMA, I.L. de; TONIATO, M.T.Z.; ZIMBACK, L. crescimento e sobrevivência de duas procedências de *Aspidosperma polyneuron* em plantios experimentais em bauru. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 23-32, jun. 2008.

SCHONGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): a new concept towards sustainable forest management in Central Amazon várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, p. 46-58, 2008.

SCHONGART, J.; WITTMANNA, F.; WORBES, M.; PIEDADE, M.T.F. KRAMBECKA, H.J; JUNK, W.J. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, n. 64, p. 657-664, 2007.

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

_____. **Anatomie europaischer Holzer / Anatomy of European Woods**. Bern; Stuttgart: Verlag Haupt, 1990. 800 p.

SCOLFORO, J.R.S. **Manejo florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras; Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 1997. 433 p.

SEBBENN, A.M.; FREITAS, M.L.; ZANATTO, A.C.S.; MORAES, E. Seleção dentro de progênies de polinização aberta de *Cariniana Legalis* Mart. O. Ktze (Lecythidaceae), visando à produção de sementes para recuperação ambiental. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 27-37, jun. 2009.

SEBBENN, A.M.; KAGEYAMA, P.Y.; SIQUEIRA, A.C.M.F. de; ZANATTO, A.C.S. Sistema de cruzamento em populações de *Cariniana legalis* Mart. O. Ktze.: implicações para a conservação e o melhoramento genético. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 25-40, 2000.

SETTE JUNIOR, C.R. **Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden**. 2010. 151 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SETTE JUNIOR, C.R.; OLIVEIRA, I.R. de; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F.M.; LACLAU, J-P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

SILVA, C.R. **Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JR.; S.; MATOS, J.L.M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, jan./abr. 2004.

SILVA, J.N.M. **Manejo florestal**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1996. 46 p.

SILVA, L.F.; SILVA, M.L.; CORDEIRO, S.A. Análise econômica de plantios de jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*). **Revista Agrogeoambiental**, Inconfidentes, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2012.

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. Physical properties and moisture relations of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. chap. 3, p. 3-24. (General Technical Report FPL-GTR, 113).

SIQUEIRA, A.C.M.F.; NOGUERIA, J.C.B.; ZANATTO, A.C.S.; MARIANO, G.; CRUZ, I.I. **O Jequitibá-rosa-cariniana legalis uma espécie em extinção**. São Paulo: Instituto Florestal, 1986. 11 p.

SOUZA, C.C. de. **Modelos de crescimento, com variáveis ambientais, para o ipê felpudo em diferentes espaçamentos**. 2004. 96p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SPATHELF, P.; FLEIG, F.D.; VACCARO, S.; ESBER, L.M. Análise dendroecológica de *Ocotea pulchella* Nees et Mart. ex Nees (canela lageana) na serra geral de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 95-108, 2000.

STAHLEA, D.W.; MUSHOVEB, P.T.; CLEAVELANDA, M.K.; ROIGC, F.; HAYNESD, G.A. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 124, n. 2/3, p. 217- 226, 1999.

STOKES, M.A.; SMILEY, T.L. **An Introduction to tree – ring dating**. Chicago: University of Chicago Press, 1968. 73 p.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla***. 2006. 135 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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

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

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

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

TRIANOSKI, R.; MATOS, J.L.M. de; IWAKIRI, S.; PRATA, J.G. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 503-510, jul./set. 2013.

TROPICALFLORA. **Jequitibá rosa**. Disponível em: <<http://www.tropicalflora.com.br>>. Acesso em: 02 ago. 2014.

TROVATI, L.R.; FERRAZ, E.S.B. Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa*. **IPEF**, Piracicaba, n. 26, p. 31-36, 1984.

TRUGILHO, P.F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, set./out. 2009.

TRUGILHO, P.F.; BIANCHI, M.L.; GOMIDE, J.L.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M.; MORI, F.A.; GOMES, D.F.F. Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 145-155, 2005.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; MARTINS, I.S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* willd aos sete anos de idade. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

VALENTE, B.M.R.T.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C. de; LUCIA, R.M.D. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 485-496, dez. 2013.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 6, n. 4, p. 337-351, 1995.

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

WORBES, M.; JUNK, W.J. Dating tropical trees by means of ¹⁴C from bomb tests. **Ecology**, Tempe, v. 70, n. 2, p. 503-507, 1989.

YOUNG, C.E.; GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I.G. Causas socioeconômicas do desmatamento da Mata Atlântica brasileira. In: _____. **Fundação SOS Mata Atlântica: conservação internacional**. São Paulo; Belo Horizonte: IDM Editora, 2005. p. 103-115.

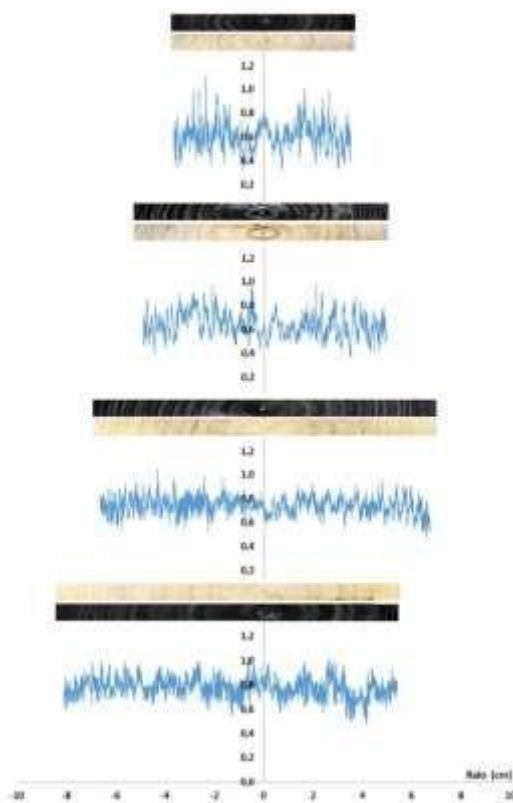
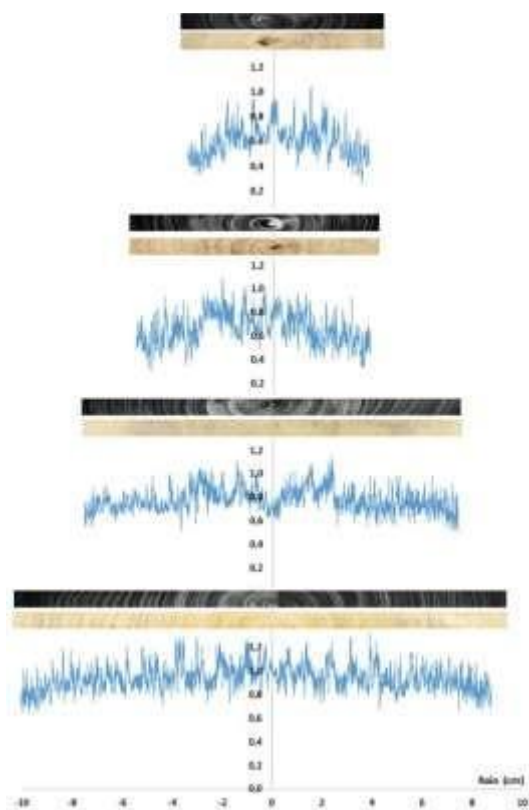
ZANATTO, A.C.S.; NOGUEIRA, J.C.; SIQUEIRA, A.C.M.; BERTOLDI, S.E. Ensaio de espaçamento com jequitibá vermelho *Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze. Frente às condições de Luis Antônio – São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 10., 1982, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Silvicultura em São Paulo, 1982. p. 1047-1050.

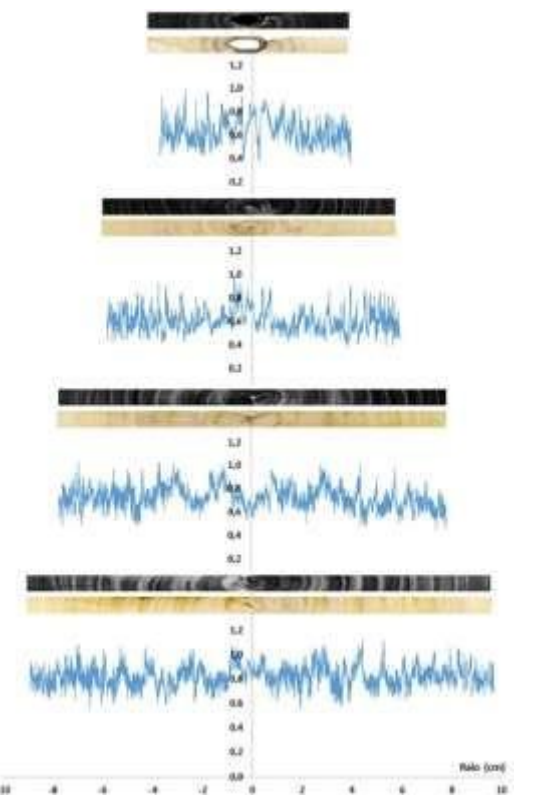
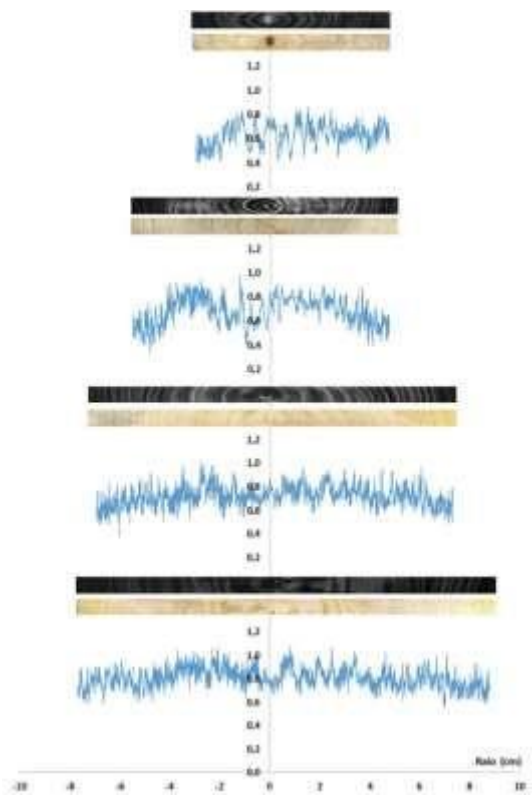
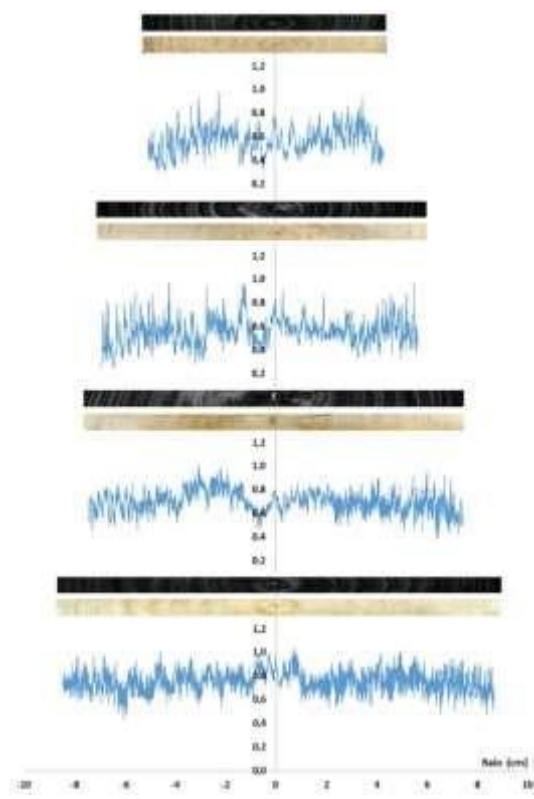
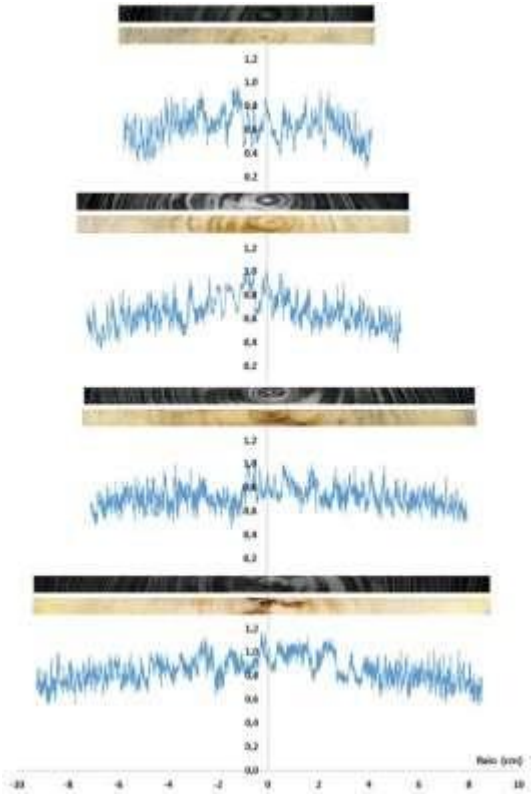
ZOBEL, B.J.; VAN BUIJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin., Springer-Verlag, 1989. 418 p.

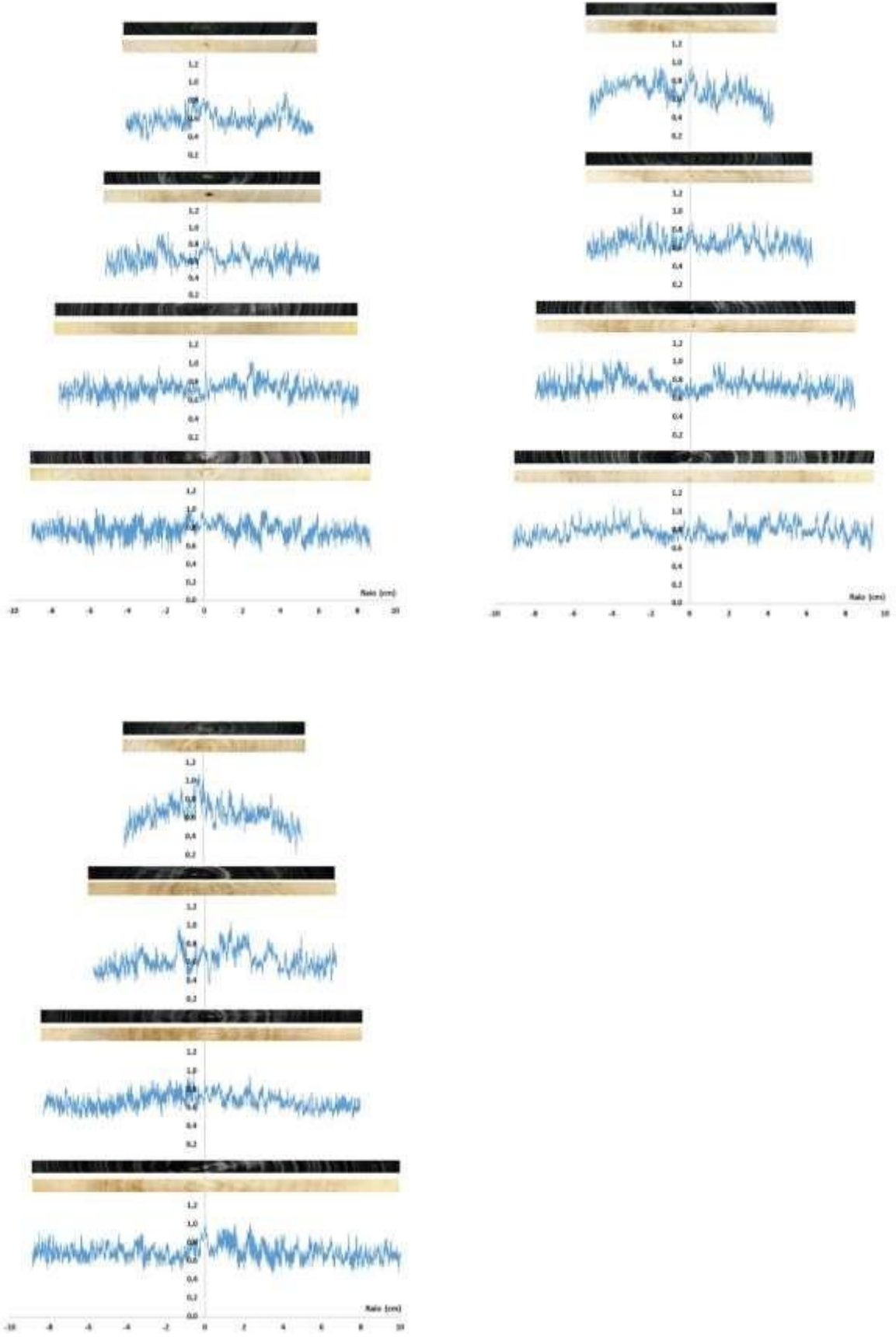
ANEXOS

Anexo A - Gráficos do perfil radial de densidade aparente na base e a cada 5 m até a altura comercial das árvores de *Cariniana legalis* nos três espaçamentos

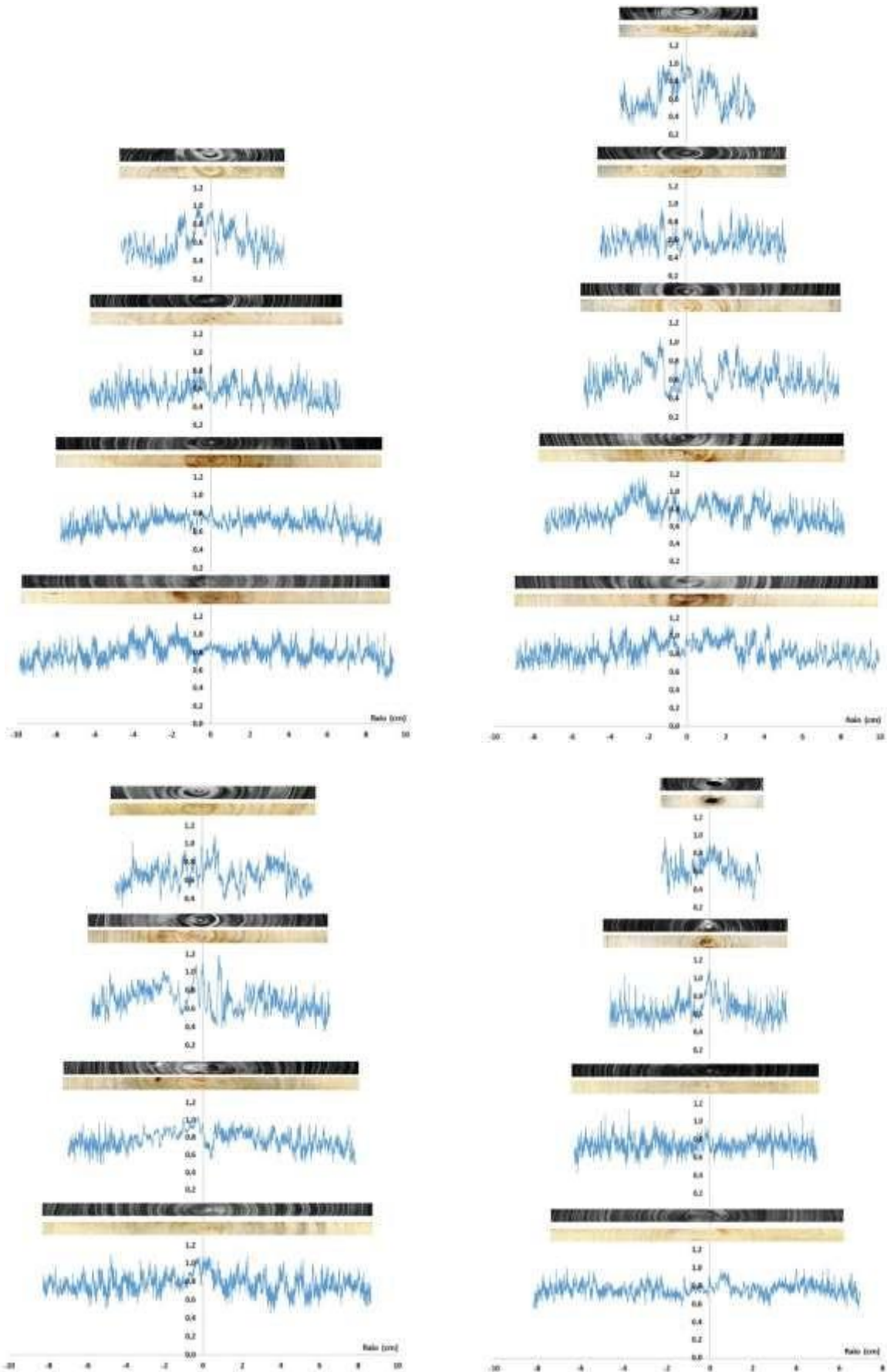
Espaçamento 3 x 1,5 m

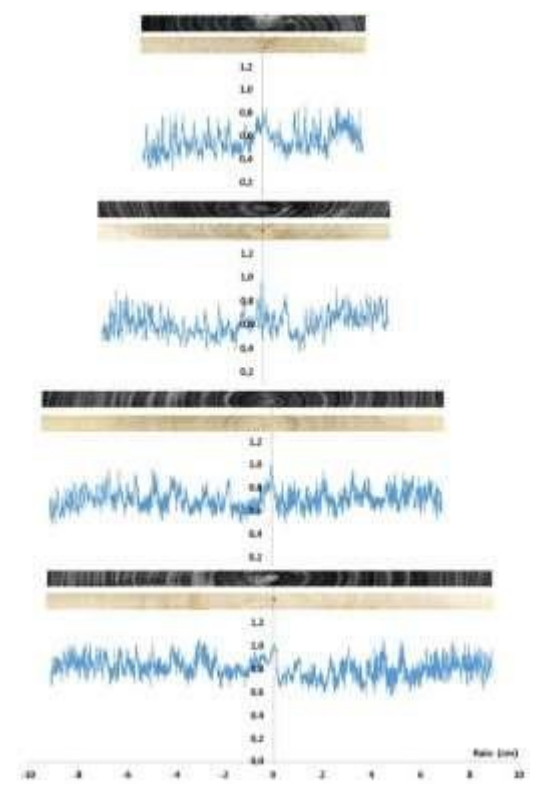
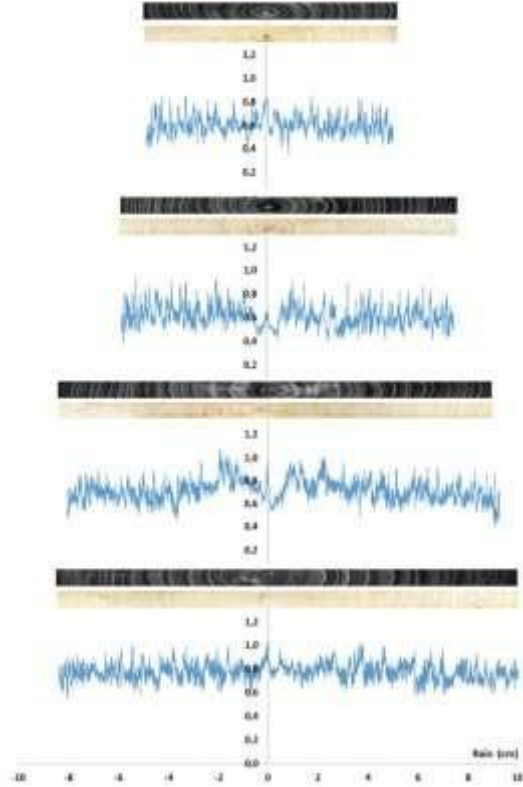
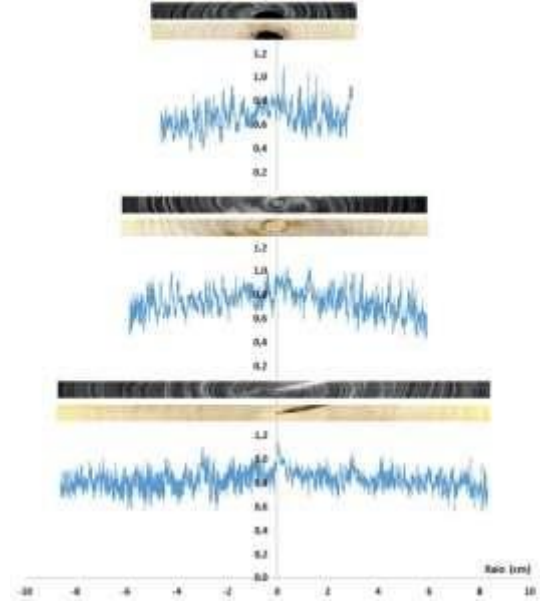
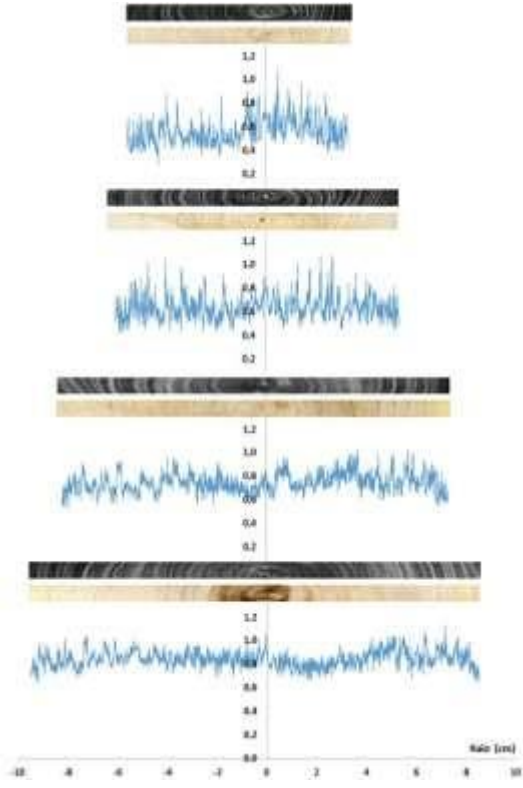


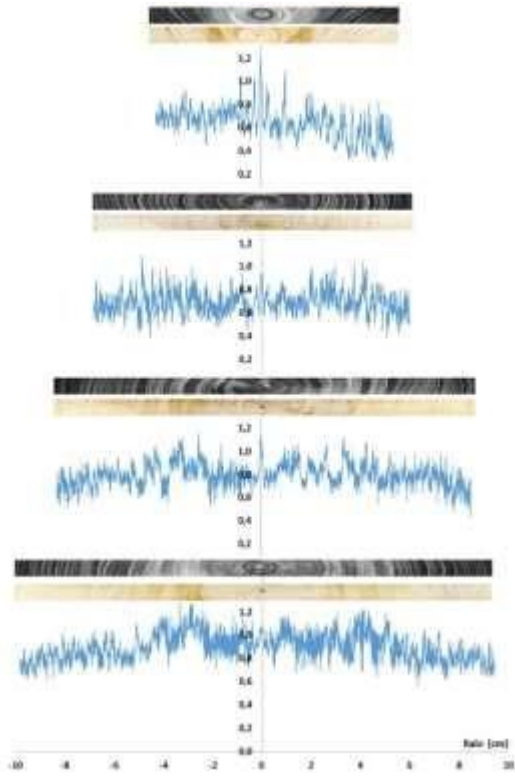




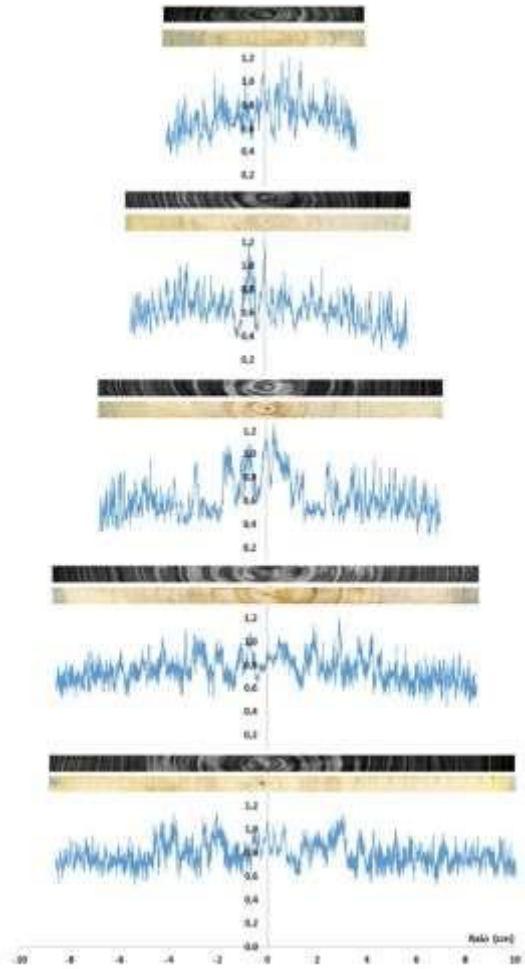
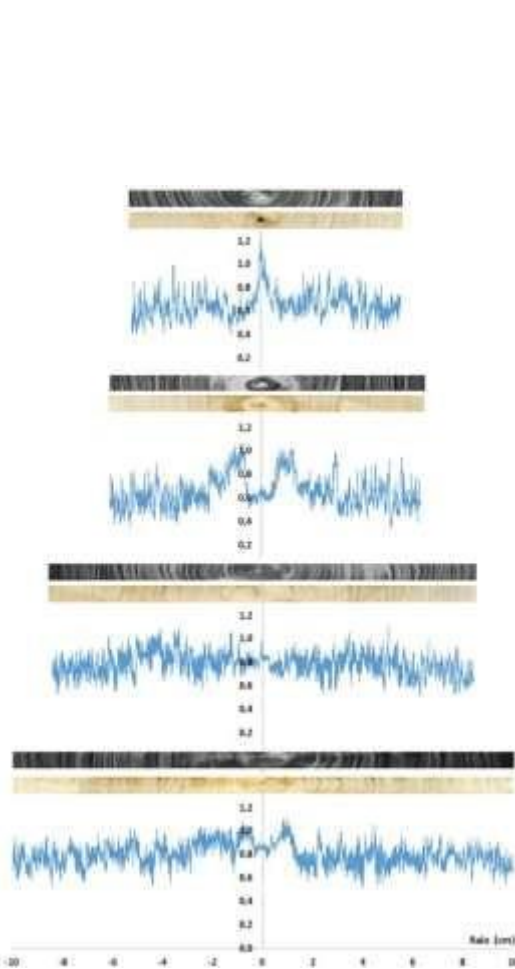
Espaçamento 3 x 2 m

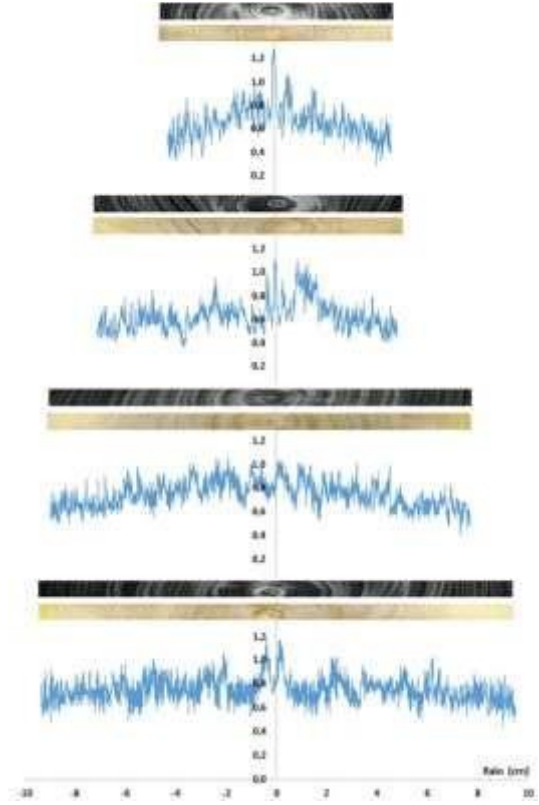
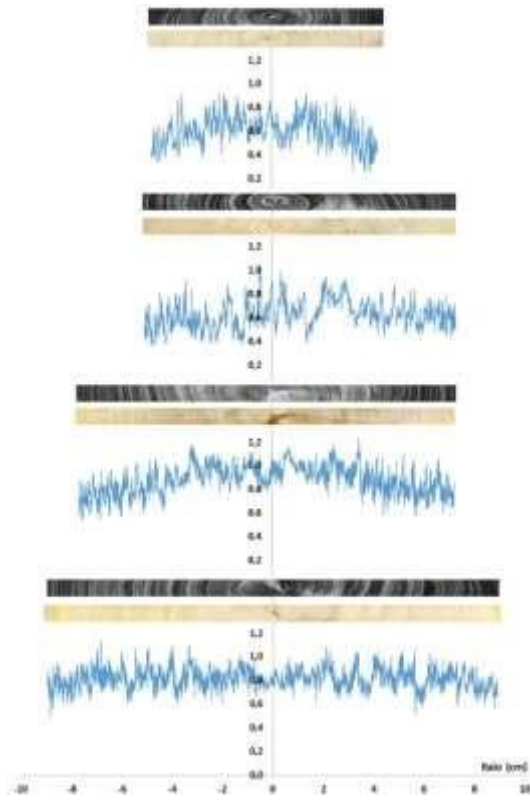


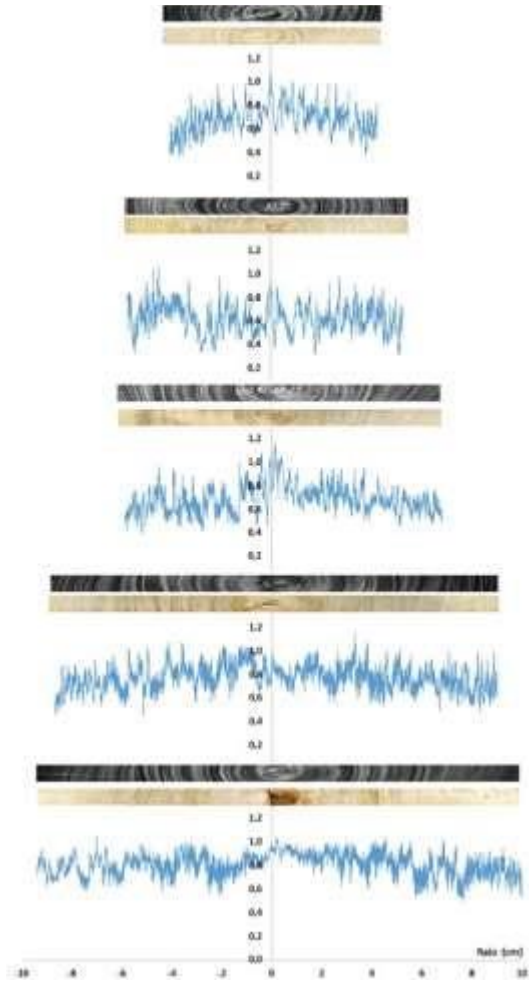
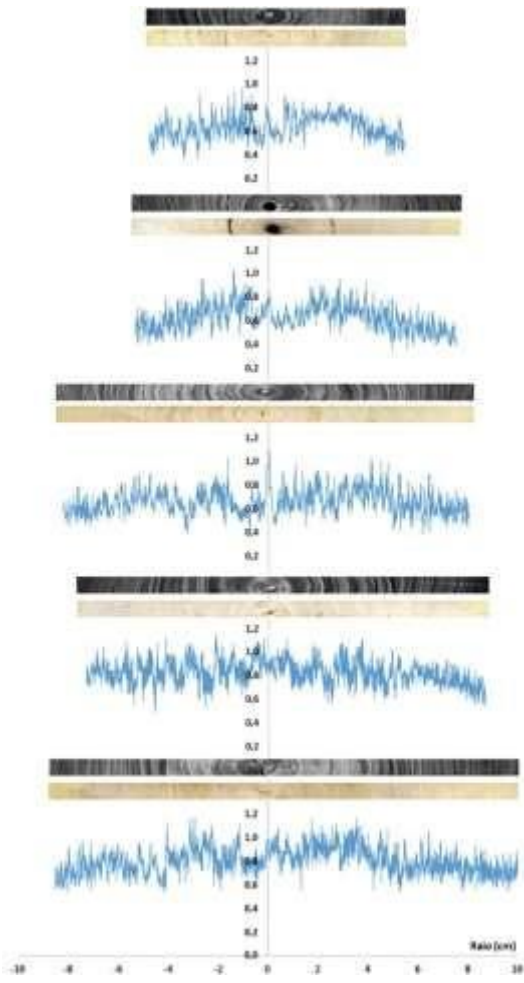


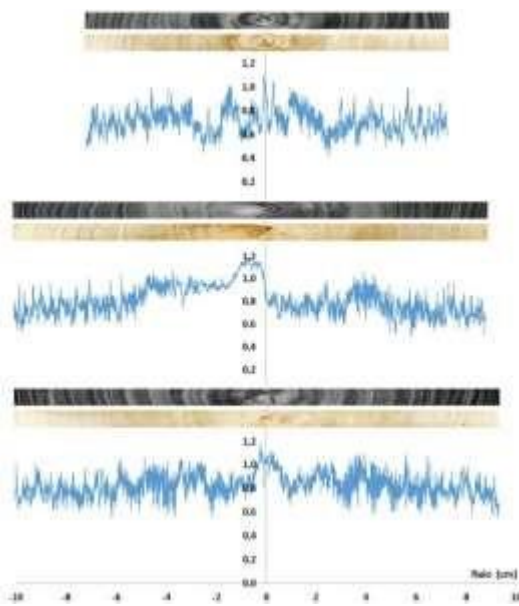
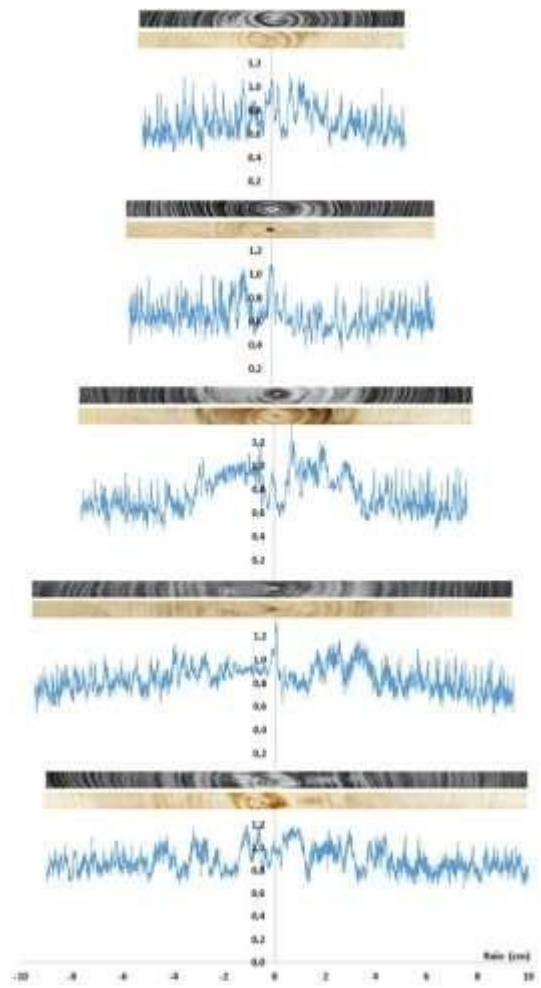
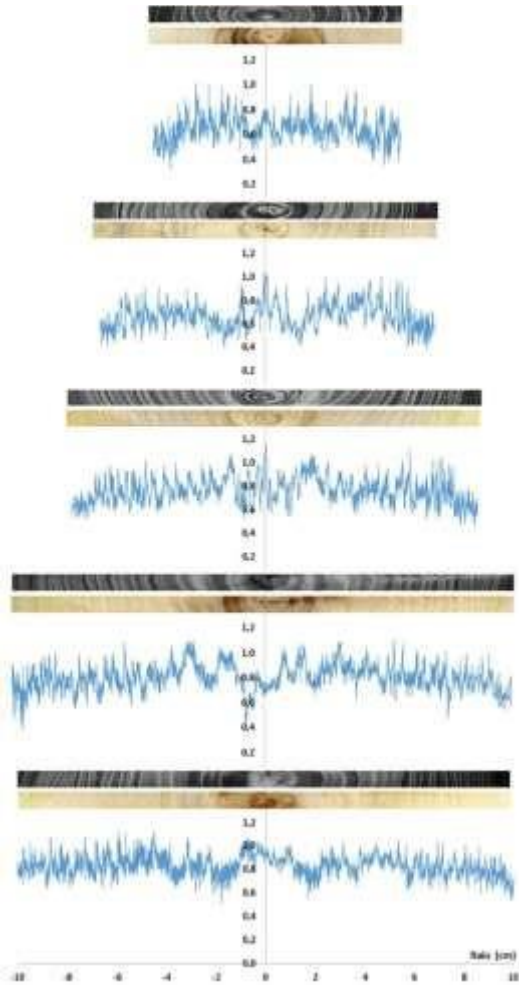


Espaçamento 3 x 2,5 m









Anexo B - Imagens do perfil radial-longitudinal da densidade aparente do lenho das árvores de *Cariniana legalis* nos três espaçamentos

