



**TATIANE ANTUNES DA SILVA**

**VARIAÇÃO RADIAL E LONGITUDINAL DA  
DENSIDADE APARENTE E ESTIMATIVA DE  
MASSA DE *Toona ciliata***

**LAVRAS – MG**

**2015**

**TATIANE ANTUNES DA SILVA**

**VARIAÇÃO RADIAL E LONGITUDINAL DA DENSIDADE APARENTE  
E ESTIMATIVA DE MASSA DE *Toona ciliata***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em A Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Natalino Calegário

Coorientador

Dr. Paulo Fernando Trugilho

**LAVRAS – MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Tatiane Antunes da.

Varição radial e longitudinal da densidade aparente e estimativa de massa de *Toona ciliata* / Tatiane Antunes da Silva. – Lavras : UFLA, 2015.

59 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador: Natalino Calegário.

Bibliografia.

1. Densidade aparente. 2. Densitometria de raios X. 3. Cedro australiano. 4. Estimativa de massa. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**TATIANE ANTUNES DA SILVA**

**VARIAÇÃO RADIAL E LONGITUDINAL DA DENSIDADE APARENTE  
E ESTIMATIVA DE MASSA DE *Toona ciliata***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em A Madeira como Matéria-Prima, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 03 de agosto de 2015.

Dr. José Tarcisio Lima      UFLA

Dra. Vássia Carvalho Soares      IFMG

Dr. Natalino Calegário  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2015**

*À minha família, a base de tudo...*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças para seguir em frente, mesmo com as dificuldades e limitações encontradas pelo caminho.

Aos meus pais, Aparecido e Dulcinéia, por todo apoio e incentivo, que, mesmo com toda a distância, se fazem presentes em minha vida. Ao meu irmão, por todo carinho e companheirismo, a toda minha família, por ser meu porto seguro e estar ao meu lado sempre. Amo vocês!

Às minhas amigas Thaís, Taís, e Cinthia por estarem sempre presentes e me apoiando durante esta etapa.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade concedida.

Ao professor Natalino Calegário, pelo conhecimento e ajuda para a realização do presente trabalho. Ao professor Paulo Fernando Trugilho, pelos ensinamentos e contribuições para este trabalho.

Ao professor Mario Tomazello Filho por disponibilizar o laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de raio X, da ESALQ para a realização das análises. A Mariana e Nayara pelo ajuda nas análises.

Aos queridos amigos e colegas da Universidade Federal de Lavras, pelo incentivo e pelos momentos de descontração.

A Lari, por estar sempre presente e me proporcionando momentos alegres.

Aos professores do Programa de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pelo conhecimento e apoio.

Aos meus amigos de laboratório: Joice, Miriam, Isaac, Gabriela, Ulisses, Cainã, pelo companheirismo e descontração.

À Mônica, Anna, Raul, Luizinho, Ylian, Áureo, Lidiane, Lisiane Milene, pela amizade e bons momentos.

As minhas amigas de apartamento: Lisiane, Lidiane, Ana Carolina, Gisele, por proporcionarem momentos de alegria e ser a minha família mineira.

Ao Paulo Figueiredo, por estar ao meu lado sempre, apoiando-me nos momentos difíceis e compartilhar comigo os momentos bons, mesmo estando a milhares de quilômetros de distância.

A CAPES pelo apoio financeiro para a realização do projeto.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigada.

## RESUMO

O cedro australiano (*Toona ciliata*), pertencente à família *Meliaceae*, vem sendo utilizado como uma opção ao uso de madeiras nativas, como, por exemplo, o mogno (*Swietenia macrophylla*) e o cedro (*Cedrella odorata*), sendo uma espécie de rápido crescimento em comparação com as espécies nativas. No presente trabalho, objetivou-se avaliar a variação da densidade aparente e propor um modelo de estimativa de massa. Para este estudo, foram utilizadas árvores de 52 meses de idade, provenientes de plantios em Campo Belo – MG. Duas progênies distintas foram escolhidas e retirados discos a 0,15 m; 0,70 m; 1,30 m; 30%; 50%; 70% e 85% da altura total da árvore. Dos discos, foram retiradas amostras para a realização da densitometria de raio X. A densitometria de raio X possibilitou a visualização da variação da densidade ao longo do perfil radial, que indicou uma tendência de aumento da densidade aparente da medula para a casca e, ao longo do perfil longitudinal que indicou um maior valor da densidade aparente na base, seguido de decréscimo até o DAP e um aumento progressivo até o topo. O valor de densidade aparente média encontrado foi de 0,422 g/cm<sup>3</sup>. Com o perfil de variação longitudinal de densidade aparente da árvore, foi possível propor um modelo de estimativa de massa. A partir do modelo utilizado para a estimativa que considera a densidade aparente estimada, foi possível se obter um valor de massa total (ton/ha) maior que o obtido quando utilizada apenas a densidade média no DAP. O valor obtido para a espécie *Toona ciliata* aos 52 meses considerando-se um espaçamento 3 x 3 m, foi de aproximadamente 53 ton/ha.

Palavras-chave: Densidade aparente. Densitometria de raio X. Cedro australiano. Estimativa de massa.



## ABSTRACT

Australian Cedar (*Toona ciliata*), belongs to the Meliaceae family and has been cultivated in many Brazilian sites. When compared to natural forest species it has fast growth and has been used as an option to substitute native woods, such as mahogany (*Swietenia macrophylla*) and cedar (*Cedrella odorata*). The main purpose of this work was to evaluate the variation in apparent density and propose a model for stem mass estimation this study used trees with 52 months old, from plantation areas, in Campo Belo county, Minas Gerais state, Brazil. Two distinct progenies were chosen and had wood discs removed in the following positions from the tree base: 0.15 m, 0.70 m, 1.30 m and 30%, 50%, 70% and 85% of the total height. Wood samples from the disks were collected in order to conduct X-ray densitometry. The X-ray densitometry allowed us to know density variation from pit to bark and from base to top of trees. The density increases from pit to bark. From base to top of the tree, the density decreases up to DBH position and, after that, increases until the top of the tree. The estimated value for mean apparent density was 0.422 g/cm<sup>3</sup>. Based on the longitudinal variation of apparent density it was possible to propose a model for mass estimation. The model, which considers the estimated apparent density, was used to estimate the total mass (ton/ha). The total mass estimated by the model (53.1 ton/ha) was greater than that estimated using DBH wood density values (50.9 ton/ha).

Keywords: Apparent density. X-ray densitometry. Australian cedar. Mass estimation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Características da espécie <i>Toona ciliata</i> A) tronco B) folha e inflorescência C) inflorescência D) frutos e sementes ..... 18
Figura 2	Esquema de amostragem do lenho das árvores de <i>Toona ciliata</i> para a realização das análises.....26
Figura 3	Esquema da retirada das amostras para análise de densitometria de raio X .....27
Figura 4	(A) densitômetro de raios X; (B) suporte metálico utilizado para encaixe das amostras dentro do equipamento; (C) amostras utilizadas para análise.....28
Figura 5	(A) vista geral do equipamento de raios X digital; (B) perfil radial digital em escala de cinza gerado pelo equipamento; (C) local para disposição das amostras na câmara de irradiação .....29
Figura 6	Perfil radial de densidade aparente do lenho de <i>Toona ciliata</i> , no sentido medula casca. (A) Amostra A5R1 (disco da base); (B) Amostra A3R1 (disco da base).....35
Figura 7	Variação da densidade medula-casca, base-topo da árvore A2 de <i>Toona ciliata</i> , onde $r$ = raio da árvore em centímetros, $h$ = altura da árvore em metros. ....36
Figura 8	Variação longitudinal da densidade aparente média do lenho de <i>Toona ciliata</i> .....38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Médias e coeficientes de variação de <i>Toona ciliata</i> por progênie.....	32
Tabela 2	Resultados de densidade aparente média, mínima e máxima (g/cm <sup>3</sup> ) do lenho de cedro australiano .....	33
Tabela 3	Valores dos coeficientes de determinação obtidos através das três equações testadas .....	39
Tabela 4	Valores estimados para plantios de cedro australiano com espaçamento 3 x 3 m .....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>3.1</b>	<i>Toona ciliata</i> .....	15
<b>3.1.1</b>	Origem e distribuição.....	15
<b>3.1.2</b>	Características da espécie .....	16
<b>3.1.3</b>	Características da madeira .....	19
<b>3.2</b>	Densidade aparente .....	20
<b>3.3</b>	Densitometria de raios X.....	21
<b>3.4</b>	Estimativa de massa .....	22
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
<b>4.1</b>	Caracterização da área experimental .....	25
<b>4.2</b>	Seleção das árvores.....	25
<b>4.3</b>	Densitometria de raios X.....	26
<b>4.4</b>	Modelo de estimativa de massa de densidade radial e longitudinal. ....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>5.1</b>	Características de crescimento.....	32
<b>5.2</b>	Densidade aparente do lenho por densitometria de raio X.....	33
<b>5.3</b>	Variação longitudinal da densidade aparente .....	37
<b>5.4</b>	Estimativa de massa .....	39
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	42
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43
	<b>ANEXOS</b> .....	50

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande potencial no setor florestal, por suas condições de clima e solo. O país possui cerca de 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo composta em sua maioria por *Eucalyptus* e *Pinus*, com 71,9 % e 20,5 % da área total, respectivamente (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2015).

O consumo de madeira em tora de florestas plantadas no Brasil, em 2013, foi de 185,3 milhões de m<sup>3</sup>, superior ao ano de 2012 em 2,8% (IBÁ, 2014). O aumento na demanda por madeiras provenientes de plantios gera preocupações quanto ao abastecimento futuro, com isso, as indústrias do setor florestal têm procurado ampliar o número de espécies utilizadas para suprir a carência de matérias-primas. Essas espécies possuem rápido crescimento em comparação às espécies nativas. Com isso, tem-se dado uma maior atenção aos estudos que envolvem o crescimento da floresta e as características da madeira (MURAKAMI, 2008).

O cedro australiano (*Toona ciliata*), pertencente à família *Meliaceae*, vem sendo utilizado como uma opção ao uso de madeiras nativas, como, por exemplo, o mogno (*Swietenia macrophylla*) e o cedro (*Cedrella odorata*).

Uma das características mais importantes para se avaliar a qualidade da madeira é a densidade, e visto que a madeira é um material heterogêneo, ela pode variar entre árvores e dentro da própria árvore, nos sentidos radial e longitudinal. Em decorrência desta variação, são necessários estudos sobre o comportamento da densidade dentro dos indivíduos, buscando conhecer o padrão de variação para cada espécie.

Uma das técnicas que vem sendo utilizada para a determinação da densidade, é a densitometria de raio X, por meio da qual é possível se obter

dados em intervalos micrométricos e, em menor intervalo de tempo, quando comparado aos métodos gravimétricos.

Com os valores de densidade, é possível obter-se a estimativa de massa de madeira por área, essa estimativa pode ser realizada de diversas formas, entre elas está a utilização de modelos de regressão, que leva em conta o volume do fuste e a densidade média.

Assim, para a obtenção de modelos de estimativa de massa o mais acurado possível, é necessária uma boa caracterização da densidade da madeira do caule.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação foi estimar a massa lenhosa de duas progênies de *Toona ciliata*, em função da densidade aparente e do volume detalhadamente determinados.

Como objetivos específicos, citam-se: (i) determinar a densidade do lenho pelo método de densitometria de raio X; (ii) avaliar a variação da densidade radial e longitudinal; (iii) determinar o modelo ideal para a estimativa de massa da espécie.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 *Toona ciliata*

No Brasil o gênero *Pinus* e o gênero *Eucalyptus*, são os mais cultivados, porém com o aumento da demanda por produtos de madeira, surge a procura por espécies alternativas.

O Cedro Australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*) surge como uma nova e promissora espécie de reflorestamento potencial para o abastecimento industrial madeireiro.

##### 3.1.1 Origem e distribuição

O cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*), pertence à família *Meliaceae*, sendo uma angiosperma de rápido crescimento, grande porte e com boa adaptabilidade às condições edafoclimáticas do Brasil. A espécie encontra-se distribuída naturalmente no leste da Austrália, nos estados de New South Wales e Queensland, entre os paralelos 15° e 30° (GRIJPMA; RAMALHO, 1969 citados por PINHEIRO; LANI; COUTO, 2006).

A espécie foi identificada por volta de 1790, durante a exploração da Austrália e, por sua madeira apresentar grande potencial para a construção de embarcações foi amplamente explorada. Com o aumento da população na região, aumentaram-se as necessidades de construções e artefatos de madeira e, por consequência, houve um aumento na demanda e exploração do cedro australiano (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005).

No início do século 20, o cedro havia sido explorado quase à extinção econômica, despertando no serviço florestal de Queensland e New South Wales a necessidade de programas de reflorestamento para a espécie, porém o



programa não obteve êxito, em razão do ataque da *Hypsipyla robusta* (BYGRAVE; BYGRAVE, 2005).

O cedro australiano encontra-se distribuído na América Latina, desde o paralelo 24° N até o 10°S (LAMPRECHT, 1990). No Brasil, a espécie vem sendo cultivada no Sul do estado da Bahia e em toda a região Sudeste, destacando-se os estados do Espírito Santo e Minas Gerais, onde já existem plantios em escala comercial (ZIECH, 2008).

No Brasil, a espécie é considerada promissora para plantações comerciais, por sua qualidade da madeira e por sua imunidade ao ataque da *Hypsipyla grandella* Zeller que é a principal praga do mogno (*Swietenia macrophylla*) e dos cedros brasileiros (*Cedrela fissilis* e *Cedrela odorata*) (MANGIALAVORI et al., 2003).

Em locais de ocorrência natural, o cedro australiano tem seu desenvolvimento prejudicado, em decorrência do ataque da *Hypsipyla robusta*, esse lepidóptero constrói galerias no interior da árvore e ataca as gemas apicais, reduzindo, assim, o crescimento da árvore e causando a perda da dominância apical, o que acarreta em uma ramificação do caule e redução drástica do valor comercial (CUNNINGHAM; FLOYD, 2006).

### **3.1.2 Características da espécie**

A árvore é classificada como de grande porte, podendo alcançar cerca de 50 m de altura e DAP de 2 m. Possui copa umbeliforme e ampla (LAMPRECHT, 1990), com tronco retilíneo, às vezes bifurcado, com sapopemas baixas, assimétricas e pouco desenvolvidas, casca grossa, dura, com deiscência em placas retangulares e escamiformes, e com coloração marrom-acinzentada (PINHEIRO; LANI; COUTO, 2006).

Possui folhas alternas, paripinadas, com 35-60 cm de comprimento, folíolos ovais e lanceolados, opostos a subopostos e raramente alternos, com 7,5 a 20 cm de comprimento. As flores possuem de 3-4 mm de comprimento, coloração branca, e são agrupadas em panículas terminais pendentes, com pedúnculo levemente ciliado, actinomorfas, unissexuais, heteroclamídeas, pentâmeras. Os frutos são cápsulas de 4-7 cm de comprimento, com coloração marrom escura, e se abrem ao amadurecer, liberando as sementes. As sementes possuem asas membranosas em cada extremidade e coloração marrom - clara (Figura 1). O período de floração e frutificação ocorre de março a agosto (LAMPRECHT, 1990; PINHEIRO; LANI; COUTO, 2006; MALAIRAJAN et al., 2007).



Figura 1 Características da espécie *Toona ciliata* A) tronco B) folha e inflorescência C) inflorescência D) frutos e sementes

Fonte: Encyclopedia of life (2015).

O cedro australiano é uma espécie de rápido crescimento, desenvolvendo-se em áreas com precipitação anual entre 800 e 1.800mm e com 2 a 6 meses de seca, apresentando um bom crescimento em localidades de 100 a 1.500 m de altitude (MURAKAMI, 2008).

A temperatura ideal oscila entre 20 e 26°C, suportando, ainda, temperaturas mínimas pouco abaixo de 0°C (LAMPRECHT, 1990). Prefere solos bem drenados, profundos e eutróficos, não suportando solos argilosos

compactados e solos pobres arenosos (LAMPRECHT, 1990; PINHEIRO; LANI; COUTO, 2006).

### 3.1.3 Características da madeira

A madeira do cedro australiano apresenta uma cor marrom-avermelhada, com figuras decorativas atraentes, durabilidade mediana, fácil desdobro e armazenagem. Possui cheiro agradável, percebido logo após o processamento, embora relativamente macia e de textura grossa, é facilmente trabalhada (LAMPRECHT, 1990).

A madeira possui placas de perfuração simples, vasos com arranjos radiais e linhas vasculares retilíneas, sendo esses caracteres encontrados em outras espécies da família *Meliaceae*, como o mogno (*Switenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*) e a andiroba (*Carapa guianensis*) (ZIECH, 2008).

Em relação à composição química, estudos realizados por Ziech (2008), a madeira apresenta 64% de holoceluloses, 20% de lignina e 15 % de extrativos, já em estudos realizados por Bufalino et al.( 2012) foram encontrados para os teores de holoceluloses, lignina e extrativos, valores aproximados de 70%, 19% e 10% respectivamente.

Segundo Ribeiro et al. (2014), a madeira de cedro australiano possui contrações tangenciais e radiais, de 7,23% e 2,65%, respectivamente, já em estudos realizados por Pereyra et al. (2006) os valores encontrados para contrações tangencial e radial, foram superiores a 7% e 4%,respectivamente.

A espécie vem se destacando no segmento de madeira serrada na indústria de laminados, compensados e móveis, produção de caixas para charutos, instrumentos musicais e outras finalidades especiais.

### 3.2 Densidade aparente

A densidade é uma das mais importantes propriedades do lenho, pois resulta da integração das propriedades físico-químicas e das características anatômicas do lenho como, por exemplo, as dimensões das células e espessura da parede celular. Essas variações podem refletir na qualidade e rendimento dos produtos, como a polpa, produtos de papel e nas propriedades de produtos à base de madeira sólida (NUGROHO et al., 2012).

A densidade representa a quantidade de parede celular (substância madeira) em um dado volume de madeira, ou seja, a massa do material por unidade de volume, sendo relacionada com a higroscopicidade, trabalhabilidade, retratibilidade, secagem, impregnabilidade e com as características mecânicas da madeira (GÉRARD et al., 1995; PANSHIN; ZEEUW, 1980).

Como a madeira é um material heterogêneo, a densidade varia entre árvores e dentro da própria árvore, no sentido radial e longitudinal do tronco, entre cerne e alborno, entre madeira adulta e juvenil, e dentro do anel de crescimento, entre lenho inicial e tardio. Em razão desta variação, a forma de amostragem é uma das maiores dificuldades para se obter resultados que representem a árvore toda (PANSHIN; ZEEUW, 1980; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

Pereyra et al. (2006), estudando as propriedades físico-mecânicas de espécies florestais encontraram valor de densidade básica de  $0,337 \text{ g/cm}^3$  para *Toona ciliata* em árvores com idade entre 18 e 20 anos. Já, em estudos realizados por Ziech (2008), o valor encontrado para densidade foi de  $0,306 \text{ g/cm}^3$  em árvores com 4 anos de idade.

### 3.3 Densitometria de raios X

A densitometria de raios X consiste em uma técnica utilizada para a obtenção de dados densitométricos, os quais podem ser utilizados para a caracterização do material em seu caráter tecnológico e de produção, podendo ser usado para correlacionar o crescimento ao longo do tempo com as condições climáticas ocasionais (PARKER; KENNEDY, 1973).

A utilização da técnica de raios X em madeira foi proposta por Lenz (1957) e desenvolvida por Polge (1963), contribuindo na análise de anéis de crescimento e na medida de massa específica da madeira. Por meio dessa técnica, é possível realizar medições em pequenas áreas, analisar variações dentro dos anéis de crescimento, medir a largura do lenho inicial e tardio, a largura do anel de crescimento, o percentual de lenho tardio e inicial, a massa específica do anel e dos lenhos inicial e tardio (POLGE, 1978; WORBES, 1995).

Por meio da utilização da densitometria de raios X, pode-se também avaliar a qualidade da madeira, comparar os perfis densitométricos do lenho de procedências distintas, entre outros. Os perfis densitométricos radiais do lenho são características do ano de formação dos anéis de crescimento, sendo possível, por meio dos valores de densidade distinguir os anos e sua posição no lenho (POLGE, 1966).

Na densitometria de raios X, são obtidas radiografias da madeira, por meio de um filme radiográfico, sendo que, com a revelação do filme, é possível observar o contraste entre as zonas de diferentes massas específicas (FERRAZ; TOMAZELLO FILHO, 1978).

Para a obtenção de imagens nítidas na radiografia, os limites dos anéis de crescimento devem estar orientados e deve-se utilizar amostras mais finas,

pois resultarão em imagens radiográficas com melhor definição (AMARAL, 1994).

Outro fator importante na obtenção de imagens nítidas é o teor de umidade, as amostras de madeira devem ser acondicionadas em determinado teor de umidade antes de se realizar a análise (THOMAS, 1972; THOMAS; WOOTEN, 1973).

Com o avanço da tecnologia, surgiram novos equipamentos de densitometria de raio X, como o QTRS-01X, da Quintek Measurement Systems – QMS (1999), EUA, os quais determinam a densidade aparente do lenho sem a utilização de filmes radiográficos, com maior velocidade e permitem arquivar os dados de densidade obtidos das amostras.

Em estudos realizados por Alvarado et al. (2010), foi possível determinar a largura dos anéis de crescimento e a variação radial da densidade de *Swietenia macrophylla*, através da densitometria de raio X, mostrando-se uma importante ferramenta para estudo dendrocronológicos.

Sette Junior et al. (2009) analisaram a variação radial e longitudinal da densidade do lenho de *Eucalyptus grandis*, utilizando a técnica de densitometria de raios X, a fim de comparar o efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores, obtendo uma análise acurada das variações da densidade aparente com o uso dessa técnica.

### **3.4 Estimativa de massa**

A estimativa de massa vem sendo utilizada em indústrias de papel e celulose, de chapas de fibras e em indústrias que utilizam carvão e lenha para a geração de energia, sendo que com a estimativa de massa de madeira por área é possível prever a quantidade de produtos gerados por área e material genético (TRUGILHO, 2009).

Para que as estimativas sejam o mais acuradas possível, é preciso que a densidade básica seja estimada com precisão e que seja determinado o seu incremento volumétrico. A estimativa pode ser realizada de diversas maneiras, uma delas é a utilização de modelos de regressão, que devem ser ajustados para cada área, determinando-se a relação entre massa estimada, diâmetro e altura das árvores, sendo utilizado, para isso, o volume do fuste comercial e a densidade básica média das árvores (TRUGILHO, 2009).

Existem diversos estudos que estimam a massa para grandes áreas de floresta a partir de dados obtidos empiricamente, com valores médios oriundos da literatura ou com a utilização de modelos incompatíveis, porém muitos desses valores de densidade são obtidos de apenas um disco retirado aleatoriamente da árvore, com baixo número de representantes por espécie, sem um sistema de amostragem planejado (NOGUEIRA, 2007).

O volume da árvore pode ser obtido, por meio de funções de afilamento ou *taper*, essas funções fornecem estimativas do diâmetro com ou sem casca a uma determinada altura do fuste, volume total, volume comercial, altura comercial e volumes individuais das seções da árvore. Com o uso dessas funções, é possível se reconstituir o perfil longitudinal da árvore, pois considera a árvore como um sólido de revolução (CARVALHO et al., 2014; HUSCH; MILLER; BEERS, 1972)

Existem diversas funções de *taper* desenvolvidas, algumas mais simples, que são mais fáceis de ajustar, como as apresentadas por Demaerschalk (1972), e outras mais complexas e mais difíceis de serem ajustadas, como as funções apresentadas por Kozak (1988) e as funções não lineares sigmoidais, como a logística de Gompertz e de Weibull (CALEGÁRIO, 2002).

No Brasil, as empresas florestais têm utilizado modelos lineares, por sua facilidade de ajuste e precisão, sendo utilizados principalmente em florestas de *Pinus* e *Eucalyptus* (PIRES; CALEGÁRIO, 2007).



Em trabalhos realizados por Soares et al. (2011) com onze espécies plantadas em uma unidade amostral, foi possível concluir que a função de *taper* proposta por Biging (1984) foi superior as outras para dez das onze espécies estudadas.

Pires e Calegário (2007) afirmaram que, ao comparar os modelos lineares com modelos não lineares, os modelos não lineares apresentaram vantagens como a parcimônia, extrapolação dos dados e interpretação dos parâmetros.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Caracterização da área experimental**

A área de estudo pertence à empresa Bela Vista Florestal, localizada no município de Campo Belo, MG. O clima segundo Köppen é Cwa, temperado úmido com inverno seco, verão chuvoso e temperatura do mês mais quente superior a 22°C, com altitude variando de 790 m a 1146 m e com precipitação média anual de 1250 mm.

O teste de procedência foi implantado em 6 de fevereiro de 2008, contendo 78 progênies de meio irmãos, sendo estas formadas a partir de sementes coletadas em matrizes de polinização livre nos estados australianos de Queensland e New South Wales. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados para a implantação das áreas, com três repetições e 16 plantas por unidade amostral, sendo o espaçamento entre plantas de 3 x 3 m.

### **4.2 Seleção das árvores**

Foram selecionadas seis árvores para a realização da densitometria de raios X, sendo estas de duas progênies distintas, com 52 meses de idade e originadas de Queensland.

Após o abate das árvores, realizou-se a medição da altura total (Ht) com auxílio de trena e marcaram-se as posições de onde seriam retirados os discos, sendo: 0,15 m (base); 0,70 m; 1,30 m; 30%; 50%; 70% e 85% da altura total (Figura 2). Os discos foram retirados com espessura de 4 cm, identificados com bloco, progênie, número da árvore e número do disco. Os discos coletados foram colocados em local arejado para a secagem e posterior corte e análise.

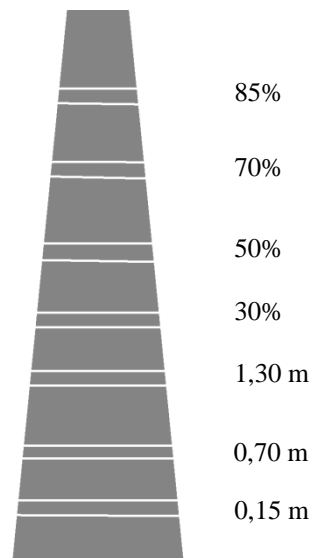


Figura 2 Esquema de amostragem do lenho das árvores de *Toona ciliata* para a realização das análises

#### 4.3 Densitometria de raios X

As análises da densidade aparente foram realizadas no Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de raios X, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP).

Para a determinação do perfil radial de densidade aparente do lenho por densitometria de raios X, foram utilizadas amostras do lenho em diferentes alturas. As amostras coletadas foram demarcadas com 1 cm de largura, cortada uma faixa diametral, coladas em suportes de madeira e seccionadas na direção transversal (1,6 mm de espessura) em equipamento de dupla serra circular paralela (Figura 3). As amostras foram acondicionadas em câmara de climatização (20°C, 60% UR) durante três dias.



Figura 3 Esquema da retirada das amostras para análise de densitometria de raio X

A densidade aparente do lenho foi determinada com o uso do equipamento QTRS-01X, da QMS (1999), EUA. As amostras foram encaixadas em suporte metálico e inseridas no compartimento interno blindado do equipamento (Figura 4). A varredura da amostra foi feita na direção medula-casca a cada 0,004 cm.

Para o escaneamento, realiza-se a autocalibração do equipamento e, posteriormente, a varredura da secção transversal do lenho por um feixe de raios X colimado. Os valores de raios X obtidos são transformados em densidade aparente por meio do software QMS, obtendo-se o perfil radial de densidade aparente do lenho em um arquivo de dados, o qual pode ser lido pelo software Excel. É possível ainda se obter os valores de densidade aparente máxima, mínima e média da amostra do lenho das árvores (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1998; QMS, 1999; TOMAZELLO FILHO, 2008).



A



B



C

Figura 4 (A) densitômetro de raios X; (B) suporte metálico utilizado para encaixe das amostras dentro do equipamento; (C) amostras utilizadas para análise

As amostras utilizadas para a obtenção da densidade aparente foram analisadas, ainda, por meio do equipamento de raios X digital, para se conseguir maiores detalhes dos perfis. As amostras foram colocadas na câmara de irradiação do equipamento Faxitron X-ray, modelo LX 60, com tempo de exposição de 19 segundos, 30 kV e 83 cm da fonte (Figuras 5A e 5C). O

equipamento possui capacidade de foco do tubo de raios X inferior a 0,02mm, alto contraste, em razão do baixo kV e prateleiras em diferentes alturas, o que permite se obter imagens com rapidez e precisão para a determinação de propriedades do lenho (FAXITRON, 2009).

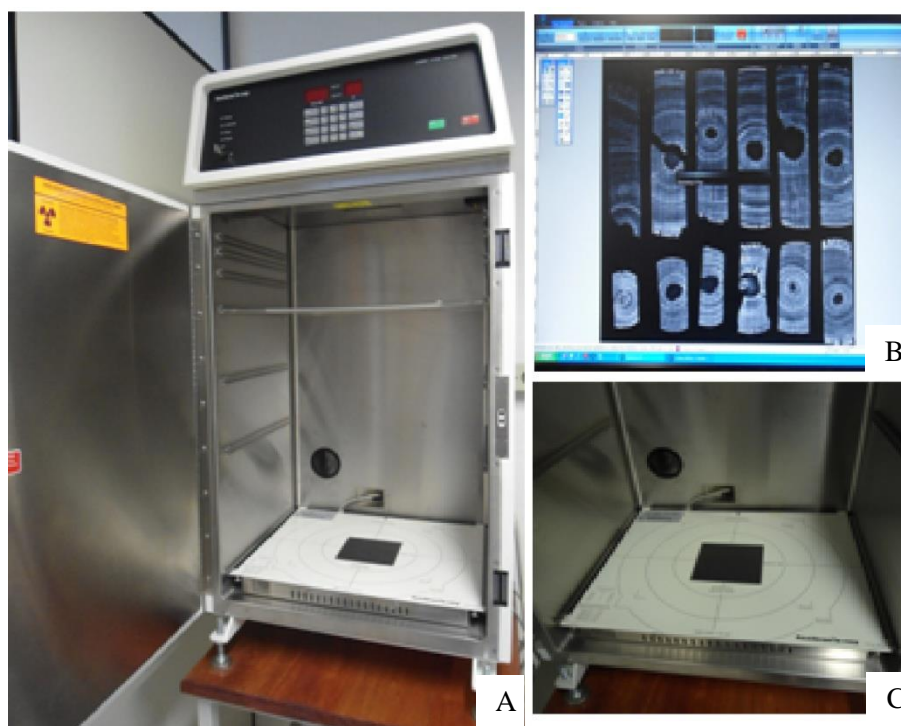


Figura 5 (A) vista geral do equipamento de raios X digital; (B) perfil radial digital em escala de cinza gerado pelo equipamento; (C) local para disposição das amostras na câmara de irradiação

As imagens digitais obtidas no raio X digital são geradas em escala de cinza, sendo que quanto mais próxima de branco for a imagem, maior é o valor de densidade(Figura 5B).

#### 4.4 Modelo de estimativa de massa de densidade radial e longitudinal

Os valores de densidade aparente que compõem o perfil radial foram tabulados em planilhas do EXCEL e analisados com média, desvio padrão e coeficiente de variação, a fim de avaliar o padrão de variação longitudinal e radial da densidade aparente da madeira de *Toona ciliata*.

A reconstituição do perfil longitudinal das árvores de cedro australiano foi realizada por uma função *taper*, representada a seguir:

$$\widehat{r}_{ij}^2 = DAP_i^2 * \left( \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{h_{ij}}{HT_i} \right) + \beta_2 \left( \frac{h_{ij}}{HT_i} \right)^2 + \beta_3 \left( \frac{h_{ij}}{HT_i} \right)^3 \right) \quad (1)$$

Onde:  $h_{ij}$  = altura da  $i$ -ésima árvore da  $j$ -ésima posição do fuste (m);  $\widehat{r}_{ij}^2$  = raio estimado da  $i$ -ésima árvore da  $j$ -ésima posição do fuste (cm);  $HT_i$  = altura total da  $i$ -ésima árvore (m);  $DAP_i$  = diâmetro à altura do peito da  $i$ -ésima árvore (cm);  $\beta_s$  = parâmetros a serem estimados. A análise dos dados e a obtenção dos parâmetros da função *taper* foi realizada no programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

A partir do padrão de variação longitudinal da densidade aparente, foram testadas as seguintes equações para se representar a variação base topo da densidade aparente do lenho:

$$\widehat{\rho}_{ij} = \beta_0 + \beta_1 r_{ij} + \beta_2 h_{ij} + \beta_3 \left( \frac{r_{ij}}{DAP_i} \right)^2 + \beta_4 \left( \frac{h_{ij}}{HT_i} \right)^2 \quad (2)$$

$$\widehat{\rho}_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \frac{r_{ij}}{DAP_i} + \beta_2 \frac{h_{ij}}{HT_i} + \beta_3 \left( \frac{r_{ij}}{DAP_i} \right)^2 + \beta_4 \left( \frac{h_{ij}}{HT_i} \right)^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$\widehat{\rho}_{ij} = \beta_0 + \beta_1 r_{ij} + \beta_2 h_{ij} + \beta_3 \left( \frac{r_{ij}}{DAP_i} \right)^2 + h_{ij}^2 \dots\dots\dots(4)$$

Onde:  $\rho_i$  = densidade aparente média na i-ésima árvore da j-ésima posição do fuste ( $\text{g/cm}^3$ );  $r_{ij}$  = raio da i-ésima árvore da j-ésima posição do fuste (cm);  $h_{ij}$  = altura da i-ésima árvore da j-ésima posição do fuste (m);  $HT_i$  = altura total da i-ésima árvore (m);  $DAP_i$  = diâmetro à altura do peito da i-ésima árvore (cm);  $\beta_s$  = parâmetros a serem estimados.

O volume total foi obtido pela equação a seguir:

$$\widehat{V}_i = \int_0^{ht} \frac{\pi \widehat{r}_{ij}^2}{10000} dh \quad (5)$$

Onde:  $\widehat{V}_i$  = volume estimado da i-ésima árvore ( $\text{m}^3$ );  $h_s$  = limites de integração correspondente as alturas da base e do topo (m);  $\widehat{r}_{ij}^2$  = estimativa do raio da i-ésima árvore na j-ésima posição (cm);  $dh$  = comprimento da seção (m).

Com base nos valores obtidos de densidade aparente estimada, e nos valores de volume, foi possível ajustar uma equação para a estimativa de massa das árvores de *Toona ciliata*.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Características de crescimento

Na Tabela 1, são apresentados os valores de média e coeficiente de variação dos diâmetros e alturas das árvores de *Toona ciliata* selecionadas para o estudo.

Tabela 1 Médias e coeficientes de variação de *Toona ciliata* por progênie

Progênie	Nº de árvores	DAP (cm)	Altura (m)
A	3	17,31 <sup>1</sup>	12,23
		14,45% <sup>2</sup>	10,66%
B	3	13,04	9,46
		8,48%	3,39%

<sup>1</sup> Média, <sup>2</sup> Coeficiente de variação

A progênie A foi a que apresentou melhor taxa de crescimento tanto em altura como em diâmetro, sendo superior em 24,66% para DAP e 22,64% para altura em relação à progênie B. A altura média encontrada para as progênies diferem entre si a um nível de significância de 5%, já para a variável DAP, a diferença é significativa a 1% (ANEXO 1A, 2A).

A diferença entre as taxas de crescimento podem ser explicadas pelos diferentes materiais genéticos, pois o plantio foi realizado em sítios homogêneos.

## 5.2 Densidade aparente do lenho por densitometria de raio X

Por meio da análise de densitometria de raio X, realizada no equipamento QTRS-01X, foi possível obter leituras diretas, precisas e pontuais da densidade aparente do lenho *Toona ciliata*.

A densidade aparente média, mínima e máxima do lenho das árvores de cedro australiano, aos 52 meses é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 Resultados de densidade aparente média, mínima e máxima (g/cm<sup>3</sup>) do lenho de cedro australiano

Árvore	DAP	HT	Densidade aparente		
			Média	Mínima	Máxima
A1	12,128	9,1	0,462(0,123) <sup>1</sup>	0,165	0,844
A2	15,576	11	0,385(0,112)	0,151	0,859
A3	12,728	9,7	0,481(0,129)	0,118	0,945
A4	14,272	9,6	0,431(0,132)	0,181	0,845
A5	20,176	13,6	0,380(0,095)	0,160	0,767
A6	16,168	12,1	0,399(0,109)	0,193	0,783
Média			0,423	0,161	0,840
Desvio padrão			0,042	0,026	0,063
Coeficiente de variação			9,946	16,197	7,516

Em que: DAP = diâmetro à altura do peito (cm); HT = altura total (m); 1= valores correspondentes ao desvio padrão (g/cm<sup>3</sup>).

A densidade aparente mínima do lenho de cedro australiano variou de 0,118 – 0,193 g/cm<sup>3</sup> e a densidade aparente máxima variou de 0,767 – 0,945 g/cm<sup>3</sup>. O indivíduo que apresentou menor valor de densidade aparente média foi o A5 e o que apresentou maior valor foi o A3.

As árvores A1, A3 e A4, indivíduos da progênie B, foram as que apresentaram uma menor taxa de crescimento, tanto em altura como em diâmetro, porém para a densidade foram as que apresentaram os maiores valores

médios. Visto que os plantios foram realizados no mesmo sítio e com o mesmo espaçamento, essa diferença pode ser atribuída ao material genético, pois em estudos realizados com *Toona ciliata* por Farias (2013) verificou-se uma elevada herdabilidade genética para a variável densidade. O comportamento da densidade em função da taxa de crescimento seguiu a mesma tendência que em estudos realizados por Brasil e Ferreira (1971), onde indivíduos com maiores valores para densidade apresentam menores taxas de crescimento.

Por meio do uso da densitometria de raio X, foi possível se obter a variação da densidade aparente de forma detalhada, sendo realizadas medições a cada 40  $\mu\text{m}$  de distância no sentido radial do caule. Com a análise dos perfis radiais, é possível verificar o comportamento crescente da densidade na direção medula– casca na maioria das amostras ( Anexo B).

Em algumas amostras, é possível visualizar os anéis de crescimento formados a cada ano, sendo caracterizados por picos de densidade na região do lenho tardio, onde as fibras são mais espessas e valores de densidade menores na região do lenho inicial, como pode - se observar no gráfico gerado com os dados de densitometria de raio X e na imagem obtida através do raio X digital (Figura 6).

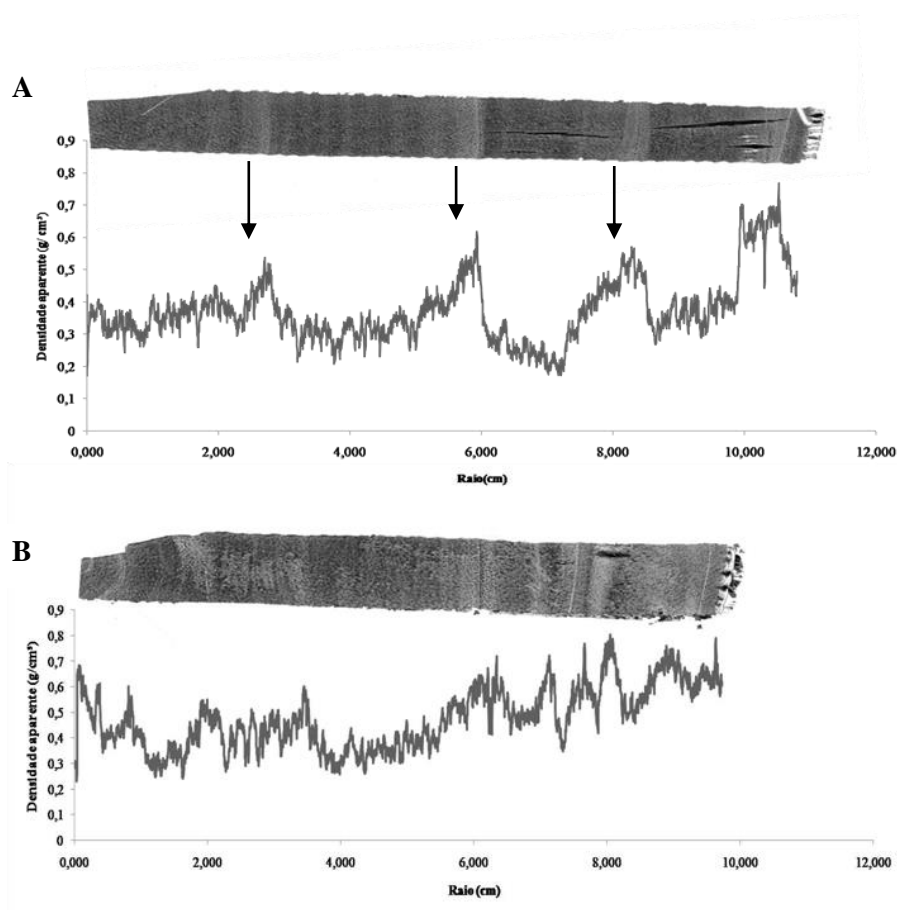


Figura 6 Perfil radial de densidade aparente do lenho de *Toona ciliata*, no sentido medula casca. (A) Amostra A5R1 (disco da base); (B) Amostra A3R1 (disco da base)

Por meio dos valores de densidade aparente obtidos pela densitometria de raio X, é possível fazer uma reconstrução gráfica do perfil da árvore, podendo ser observado a variação de densidade e, em algumas amostras, os anéis de crescimento formados (Figura 7, ANEXO C).

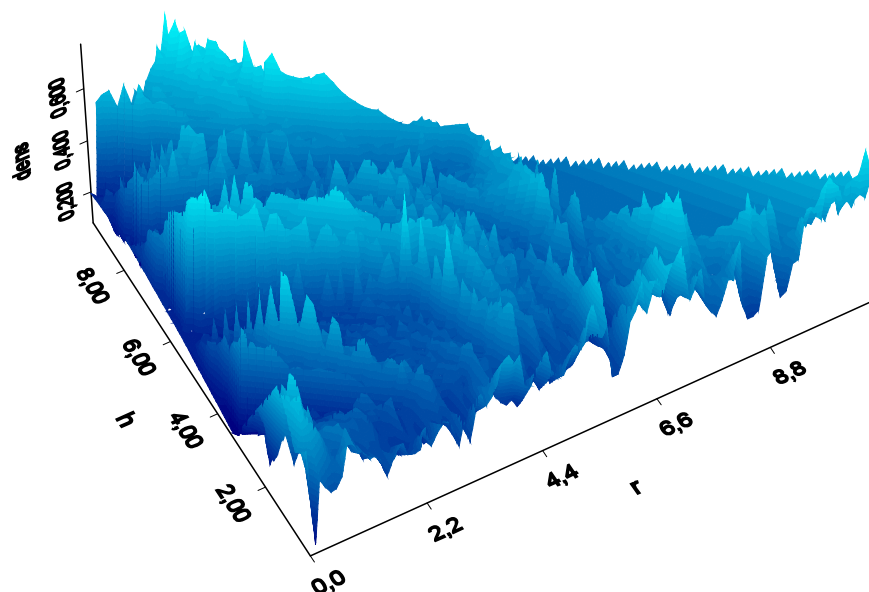


Figura 7 Variação da densidade medula-casca, base-topo da árvore A2 de *Toona ciliata*, onde r = raio da árvore em centímetros, h = altura da árvore em metros.

Em estudos realizados por Ribeiro et al. (2011) com cedro australiano, aos quatro anos de idade, foi verificado que a densidade básica da madeira próxima à casca foi superior à da madeira próxima à medula, comportamento também encontrado neste trabalho. Com isso, ela pode ser classificada, na primeira classe de variação radial proposta por Panshin e Zeeuw (1980), (i) aumento no sentido medula casca.

O valor de densidade aparente média obtido neste trabalho foi de 0,423 g/cm<sup>3</sup> e coeficiente de variação em torno de 10%. Nassur (2010), utilizando árvores de 18 anos de idade, encontrou valores médios para a densidade básica de cedro australiano de 0,314 g/cm<sup>3</sup> e Ribeiro et al. (2011), trabalhando com plantios de quatro anos de idade encontrou valores de densidade básica média de

0,304 g/cm<sup>3</sup>. Sá et al. (2010), ao analisarem a densidade básica de cedro australiano aos 18 anos, encontram valores de densidade de 0,324 g/cm<sup>3</sup>.

Os valores de densidade encontrados no presente trabalho e dos autores acima relacionados apresentam diferenças que podem ser explicadas pelas diferentes idades dos plantios, pelos diferentes espaçamentos, e diferentes sítios, os quais propiciam diferentes taxas de crescimento.

### **5.3 Variação longitudinal da densidade aparente**

A variação no sentido base topo apresentada pelos indivíduos não foi significativa, apresentando apenas uma diminuição da densidade próxima ao DAP em relação à base, e posterior aumento em direção ao topo (Figura 8).

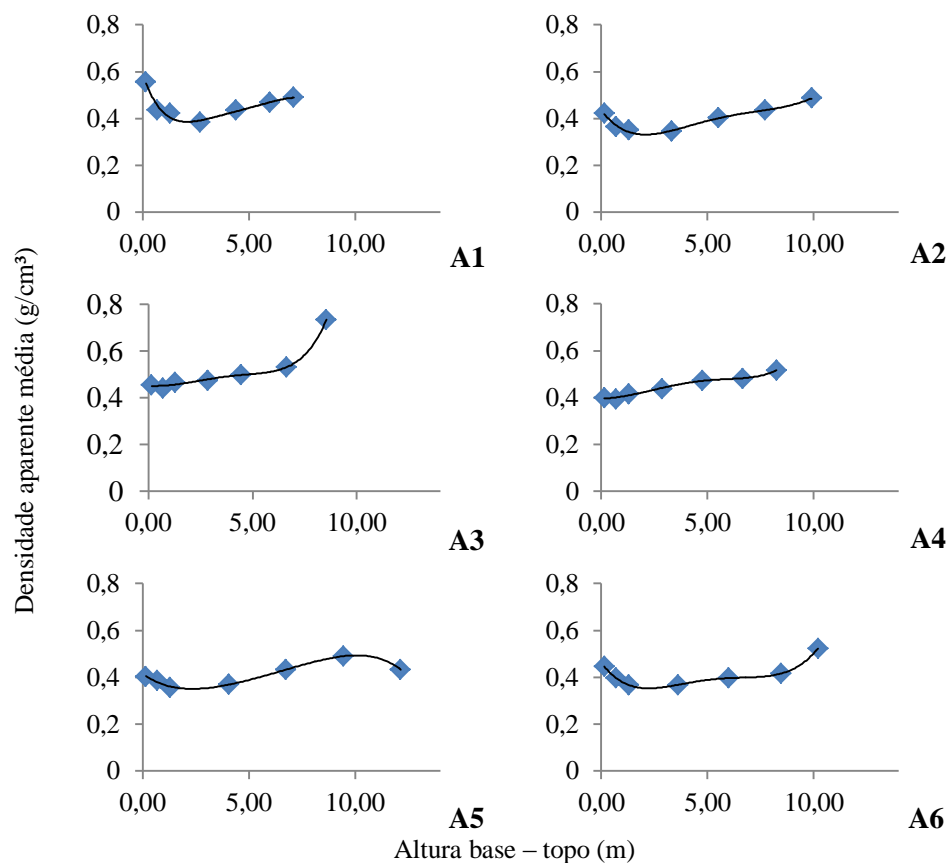


Figura 8 Variação longitudinal da densidade aparente média do lenho de *Toona ciliata*

Em estudos realizados por Ziech (2008) com cedro australiano, aos quatro anos de idade, foram verificados maiores valores de densidade na base, com queda na região do DAP e posterior aumento em direção ao topo. Autores como Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005) e Pádua, Trugilho e Lima (2006) evidenciaram o mesmo comportamento para espécies de eucalipto.

#### 5.4 Estimativa de massa

Foram testadas as 3 equações para se representar a variação base topo da densidade aparente do lenho, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Valores dos coeficientes de determinação obtidos através das três equações testadas

Equação	R <sup>2</sup>
2	0,1965
3	0,1616
4	0,1822

Com base nos resultados obtidos, a equação 2 foi a escolhida para se utilizar na estimativa de densidade, levando em conta a variação base-topo, pois foi a que apresentou maior valor.

Em decorrência da variação da densidade aparente no fuste da árvore, a estimativa de massa por árvore foi realizada com a seguinte integral:

$$\widehat{M}_{ij} = \int_{h_1}^{h_2} \pi \widehat{r}_{ij}^2 * \widehat{\rho}_{ij} * dh \quad (6)$$

Onde:  $\widehat{M}_{ij}$  = Massa estimada da i-ésima árvore na j-ésima posição (Mg);  $h_s$  = limites de integração correspondentes às alturas inferiores e superiores da seção (m);  $\widehat{r}_{ij}^2$  = estimativa do raio da i-ésima árvore na j-ésima posição (cm);  $\widehat{\rho}_{ij}$  = estimativa de densidade aparente da i-ésima árvore na j-ésima posição (g/cm<sup>3</sup>).

Em espécies em que ocorrem variações da densidade aparente do lenho ao longo do fuste e do perfil longitudinal das árvores, é preferível o uso de



equações de estimativa de massa que levem em consideração essa variação, pois, nas equações que utilizam a densidade média, apenas no DAP podem ocorrer superestimativas ou subestimativas (SILVA, 2014).

O volume total por hectare ( $m^3/ha$ ), a estimativa de massa utilizando a densidade aparente média no DAP por hectare e a estimativa de massa utilizando a integral ajustada (4) de densidade aparente do lenho por hectare, para plantios de cedro australiano com espaçamento 3 x 3 m, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Valores estimados para plantios de cedro australiano com espaçamento 3 x 3 m

Volume total ( $m^3/ha$ )	Massa total (ton/ha) ( $\rho$ DAP)	Massa total (ton/ha) ( $\rho$ estimada)
128,741	50,987	53,186
Nº de indivíduos por ha		1111

O valor obtido, utilizando-se somente o valor de densidade aparente na altura do DAP, foi menor que o valor obtido por meio da integral de estimativa de massa em 2,2 toneladas.

Em decorrência da característica de variação da densidade em *Toona ciliata*, na direção medula-casca e base-topo, a estimativa de massa utilizando somente o valor encontrado no DAP pode resultar em uma subestimativa da massa. Com o uso de equações que representem essa variação, ao longo do fuste, é possível se obter estimativas mais precisas, tornando o planejamento florestal mais eficaz.

Em estudos realizados por Franco et al. (1998), com *Eucalyptus camaldulensis* para a estimativa de peso seco total com e sem casca, foi constatado que as quatro metodologias avaliadas resultaram em valores semelhantes aos valores reais.

Silva (2014), ao realizar a estimativa de massa de *Anadenanthera* spp., observou que, com o uso de equações de estimativa de massa que levam em consideração a variação da densidade ao longo do fuste, os valores obtidos foram superiores aos encontrados com a estimativa que utiliza apenas a densidade aparente média na altura do DAP.

## 6 CONCLUSÃO

A progênie A foi a que apresentou melhores taxas de crescimento em altura e em diâmetro quando comparada à progênie B.

Os perfis radiais de densidade aparente, obtidos por densitometria de raio X, permitiram a obtenção de dados precisos no perfil e a observação da variação da densidade na direção medula- casca.

A progênie B foi a que apresentou menor taxa de crescimento e maior valor de densidade, sendo que essa diferença pode ser atribuída à herdabilidade genética, visto que o plantio foi realizado no mesmo sítio.

Os perfis radiais indicaram um aumento da densidade aparente na direção medula-casca.

A estimativa de massa, considerando a variação da densidade aparente ao longo do fuste, apresentou valores superiores em relação à estimativa que considera apenas a densidade média no DAP.

Valores mais precisos de estimativa de massa podem ser obtidos ao se utilizar métodos que levem em consideração a variação da densidade ao longo do fuste.

## REFERÊNCIAS

ALVARADO, J. R. et al. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 171-179, jun. 2010.

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

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

BIGING, G. S. Taper equations for second mixedconifers of nothern California. **Forest Science**, Bethesda, v. 30, n. 4, p. 1103-1117, Dec. 1984.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* REINW, *E. saligna* SMITH e *E. grandis* Hill ex maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 129-149, 1971.

BUFALINO, L. et al. Caracterização química e energética para o aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Brazilian Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, abr./jun. 2012.

BYGRAVE, F. L.; BYGRAVE, P. L. **Growing Australian red cedar: and other meliaceae species in platation**. Sydney: RIRDC/FWPRDC/MDBC, 2005. 84 p. (RIRDC, 04/135).

CALEGÁRIO, N. **Modeling Eucalyptus stand growth based on linear and nonlinear mixed-effects models**. 2002. 123 p. Thesis (PhD in Forest Sciences) - Universidad da Georgia, Athens, 2002.

CARVALHO, S. M. C. et al. Modelagem não linear mista para descrever o afilamento de árvores clonais de *Eucalyptus* sp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 605-614, dez. 2014.

CUNNINGHAM, S. A.; FLOYD, R. B. Toona ciliata that suffer frequent height-reducing herbivore damage by a shoot-boring moth (*Hypsipyla robusta*) are taller. **Forest Ecology and Management**, Canberra, v. 225, n. 1/3, p. 400-403, Apr. 2006.

DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, Lawrence, v. 18, n. 3, p. 241-245, Sept. 1972.

ENCYCLOPEDIA OF LIFE. **Toona ciliata Roem**. Disponível em: <<http://eol.org/pages/581919/overview>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

FARIAS, E. S. **Seleções em teste de origem e progênie de Toona ciliata M. Roemer var australis, para densidade da madeira em avaliações destrutivas e não destrutivas**. 2013. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

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

FERRAZ, E. S. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Uso de métodos nucleares nos estudos da qualidade da madeira. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-31, nov. 1978.

FRANCO, E. J. et al. Eficiência na estimativa do peso seco para árvores individuais e definição do ponto ótimo de amostragem para determinação da densidade básica de *Eucalyptus camaldulensi*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 77-92, nov. 1998.

GÉRARD, J. et al. Qualité du bois chez les *Eucalyptus* de plantation: étude de variation de tris propriétés de référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nogent-sur-Marne, n. 245, p. 101-111, 1995.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: The Ronald Press, 1972. 410 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2014**: ano base 2013. Brasília, 2014. 100 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2015**: ano base 2014. Brasília, 2015. 64 p.

KOZAK, A. A. A variable-exponent taper equation. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 18, n. 11, p. 1363-1368, Nov. 1988.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. 343 p.

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

MALAIRAJAN, P. et al. Anti-ulcer activity of crude alcoholic extract of *Toona ciliata* Roemer (heartwood). **Journal of Ethnopharmacol**, Lausanne, v. 110, n. 2, p. 348-351, Mar. 2007.

MANGIALAVORI, A. et al. Dasometria en plantaciones comerciales de toona (*Toona ciliata* var. *australis*) em la Provincia de Salta. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES Y AMBIENTALES, 2003, Eldorado. **Anais...** Eldorado: Facultad de Ciencias Forestales, 2003. 1 CD-ROM.

MURAKAMI, C. H. G. (Ed.). Cedro australiano: valorização de espécies nobres. **Boletim Florestal**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 1-6, fev. 2008.

NASSUR, O. A. C. **Variabilidade das propriedades tecnológicas da madeira de *Toona ciliata* M. Roem. com dezoito anos de idade**. 2010. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

NOGUEIRA, E. M. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 248, n. 3, p. 119-135, Sept. 2007.

NUGROHO, W. D. et al. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. **Japan Wood Research Society**, Tokyo, v. 58, n. 3, p. 185-194, June 2012.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, jan./fev. 2005.

PÁDUA, F. A.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Amostragem da madeira para a avaliação da densidade básica em *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: UNESP/CEVEMAD/IBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. E. de. **Textbook of wood technology**. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.

PARKER, M. L.; KENNEDY, W. W. The status of radiation densitometry for measurement of wood specific gravity. In: INTERNATIONAL UNION OF FOREST RESEARCH ORGANIZATIONS MEETING DIVISION, 5., 1973, Pretoria. **Proceedings...** Pretoria, 1973. v. 4, p. 1765-1787.

PEREYRA, O. et al. Estúdio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento em procesosindustriales de La madera de Kiri, Gravillea, Paraíso y Toona. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 213-223, maio 2006.

PINHEIRO, A. L.; LANI, J. L.; COUTO, L. **Cedro-australiano**: cultivo e utilização (*Toonaciliata*M. Roem. var. *australis*(F. Muell) Bahadur. Viçosa, MG: UFV, 2006. 42 p.

PIRES, L. M.; CALEGÁRIO, N. Ajuste de modelos estocásticos lineares e não lineares para a descrição do perfil longitudinal de árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 845-852, set./out. 2007.

POLGE, H. Densitometric analysis of radiographs. **Annales de L'école Nationale des Eaux et Forêts**, Paris, v. 20, n. 4, p. 530-581, 1963.

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, Jan. 1966.

POLGE, H. Fifteen years of wood radiation densitometry. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 12, n. 3, p. 187-196, Sept. 1978.

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

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 18 fev. 2015.

RIBEIRO, A. O. et al. Retratibilidade da madeira de *Toona ciliata* Roem proveniente de três municípios do sul de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 351-361, set. 2014.

RIBEIRO, A. O. et al. Variação da densidade básica da madeira de *Toona ciliata* Roem cultivada em diferentes localidades, **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 359-366, set. 2011.

SÁ, V. A. et al. Manufatura de painéis cimento-madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. australis) de diferentes procedências e idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 559-566, dez. 2010.



SETTE JUNIOR, C. R. et al. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W.Hill, aos 24 meses de idade. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 535-546, jul./set. 2009.

SILVA, G. S. **Reconstrução do histórico de crescimento e propriedade tecnológica de *Anadenanthera* spp.** 2014. 144 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SOARES, C. P. B. et al. Hypsometric, volumetric and taper equations for eleven Brazilian native species. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 9, n. 5, p. 1039-1053, set./out. 2011.

THOMAS, W. R.; WOTEN, T. E. **X-ray analysis of wood increment cores.** Clenson: University Clenson, 1973. p. 1-16. (Forest Research Series, v. 26).

THOMAS, W. R. **X-ray analysis of wood increment cores.** Clenson: University Clenson, 1972. 61 p.

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Application of x-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.

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.

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. **IAWA Journal**, Utrecht, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

ZIECH, R. Q. S. **Características tecnológicas da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) produzida no sul do estado de Minas Gerais.** 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation**: its causes and control. New York: Springer-Verlag, 1989. 357 p.

**ANEXOS****ANEXO A - Análises de variâncias**

TABELA 1A: Análise de variância da altura média das progênies A e B.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento	1	27,273	27,2725	7,2864*
Resíduo	4	14,972	3,7429	

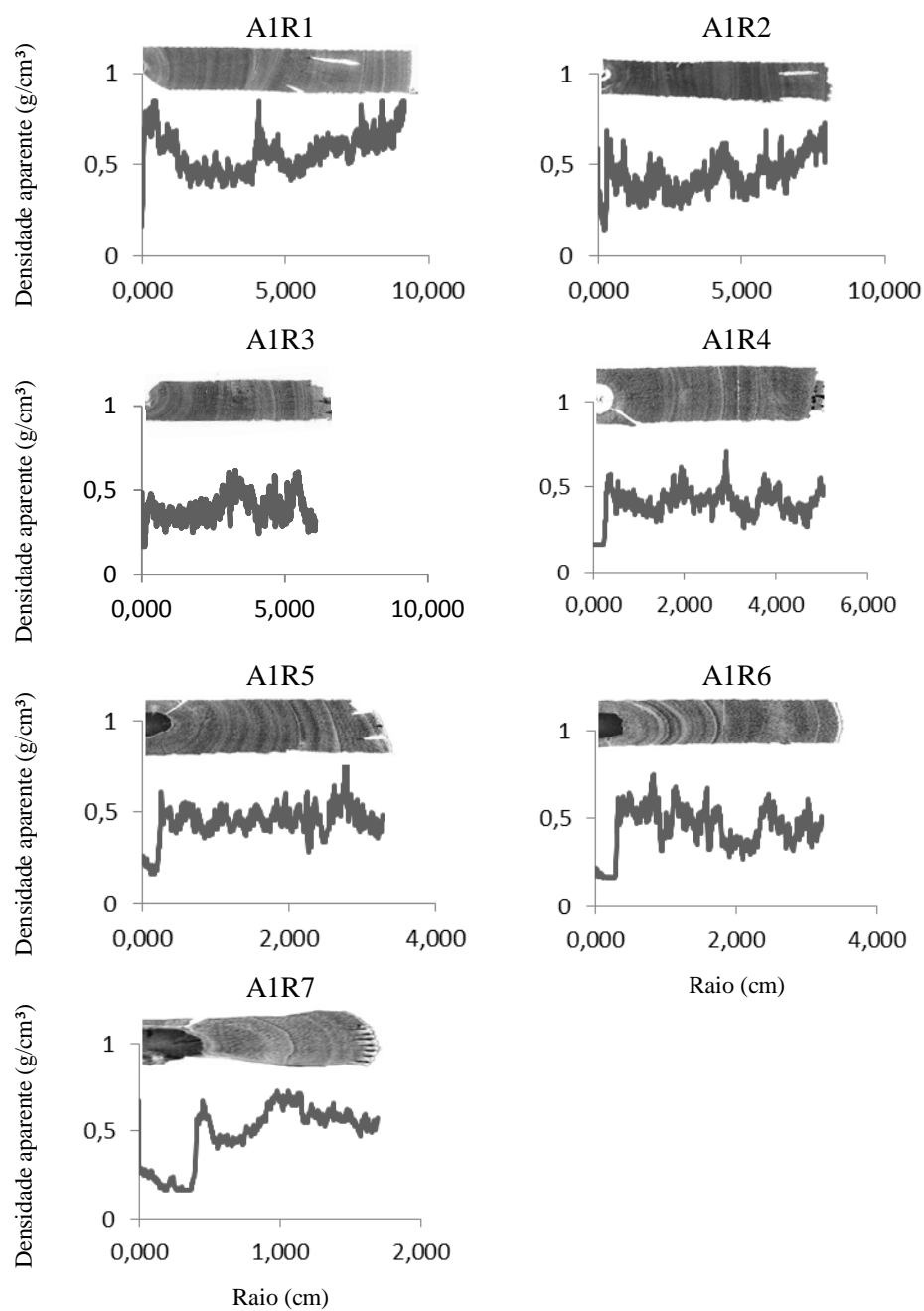
\*significativo a 1%

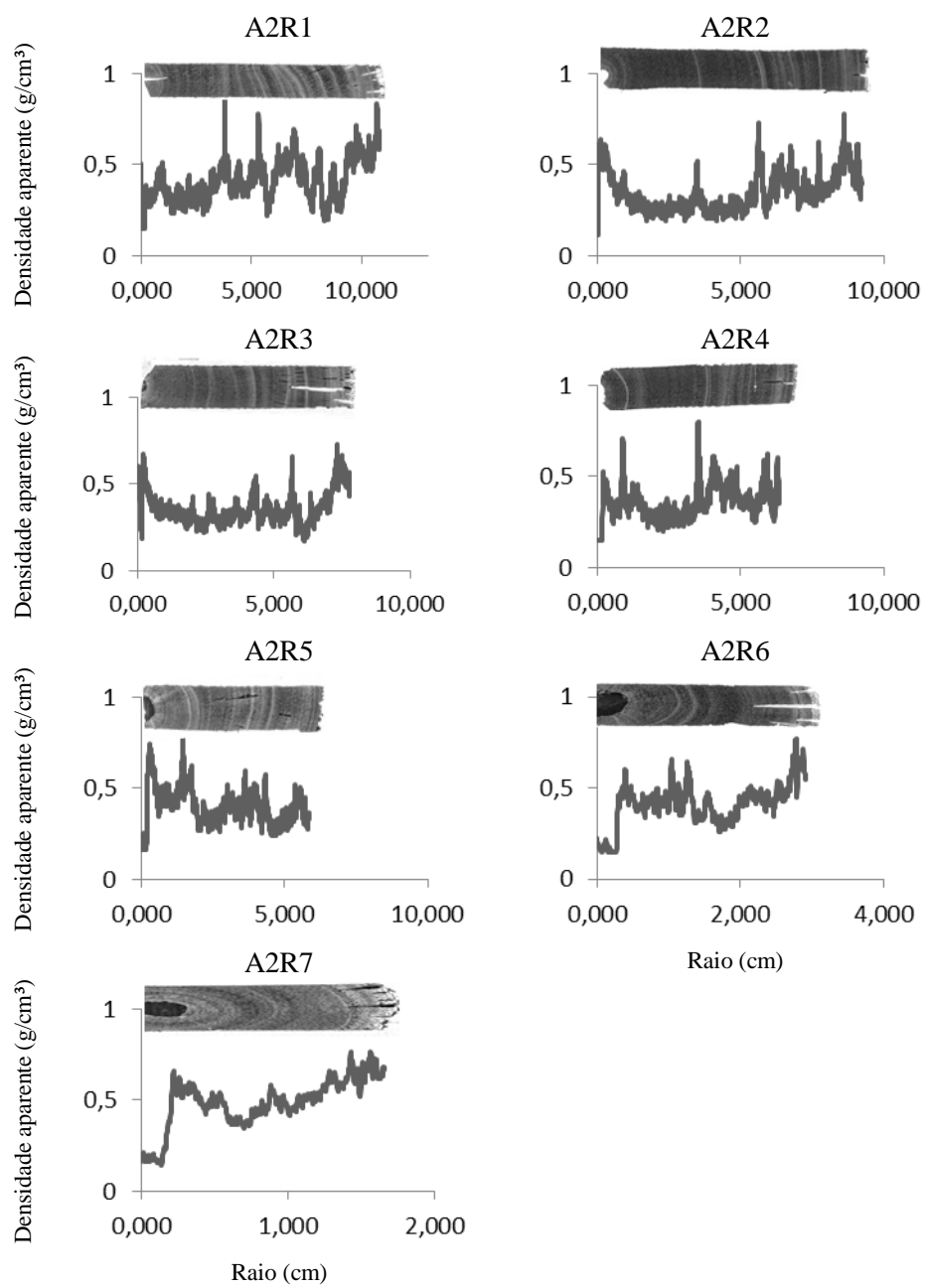
TABELA 2A: Análise de variância do DAP médio das progênies A e B.

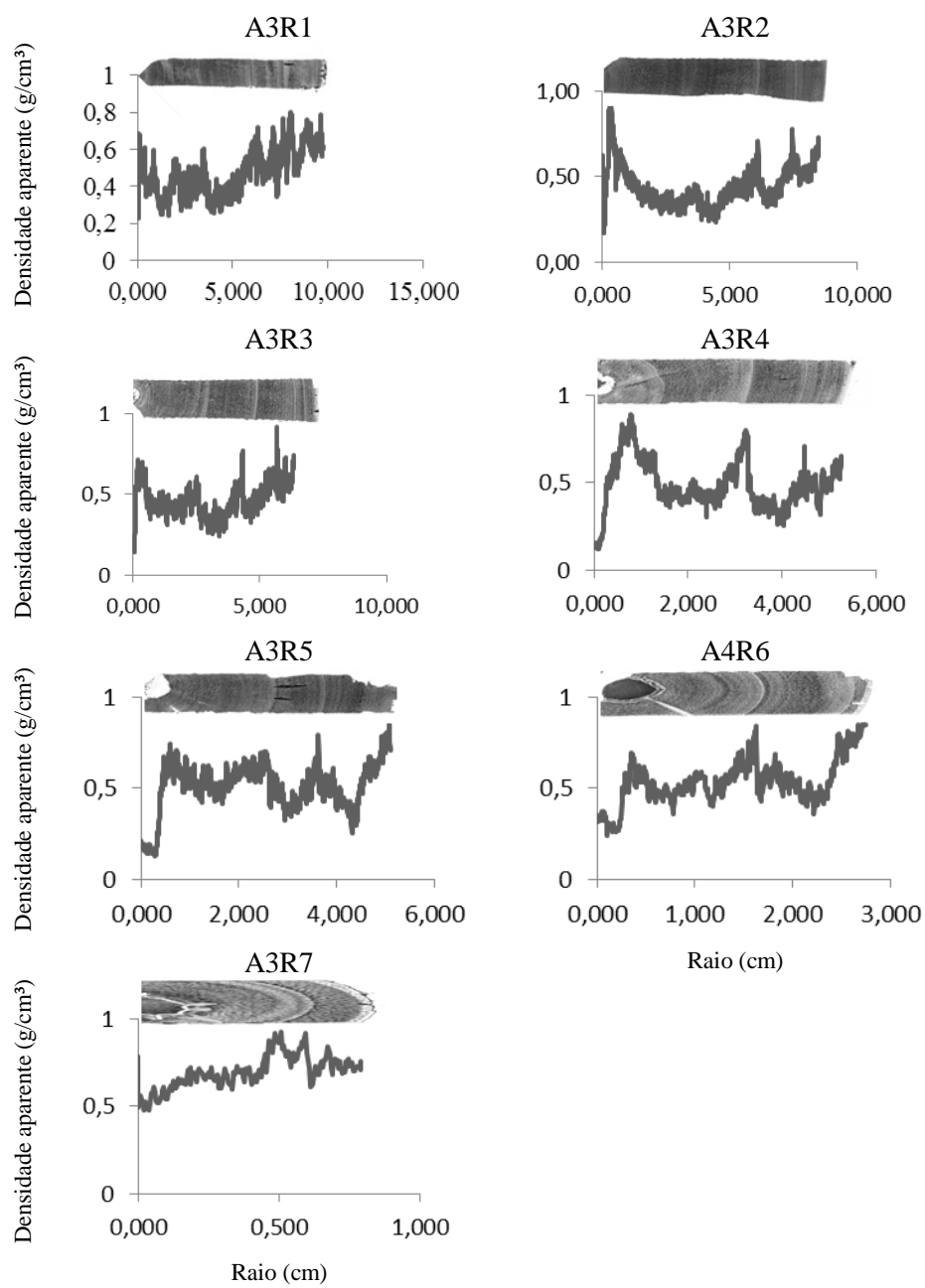
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento	1	11,4817	11,4817	12,710*
Resíduo	4	3,6133	0,9033	

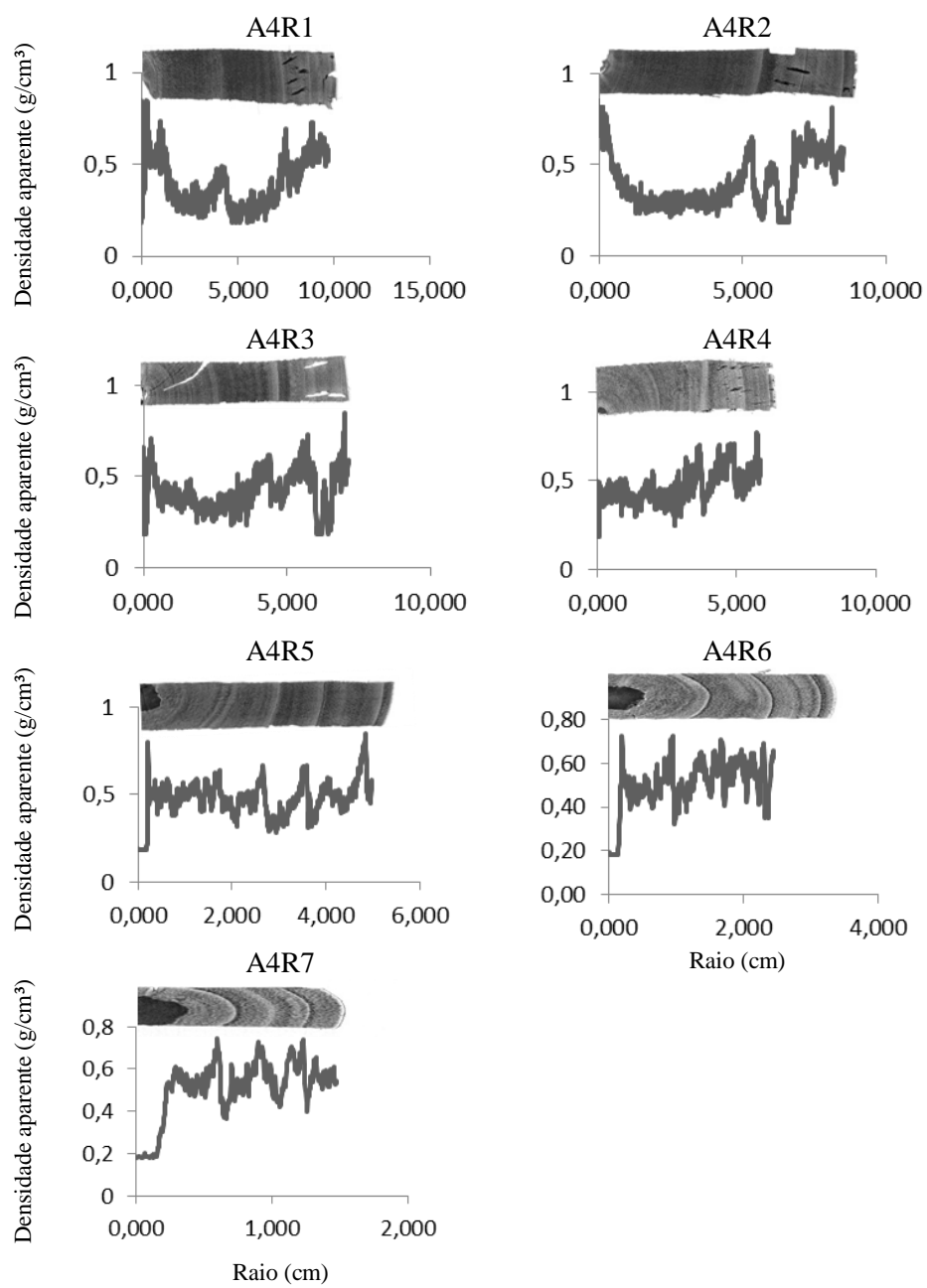
\*significativo a 5%

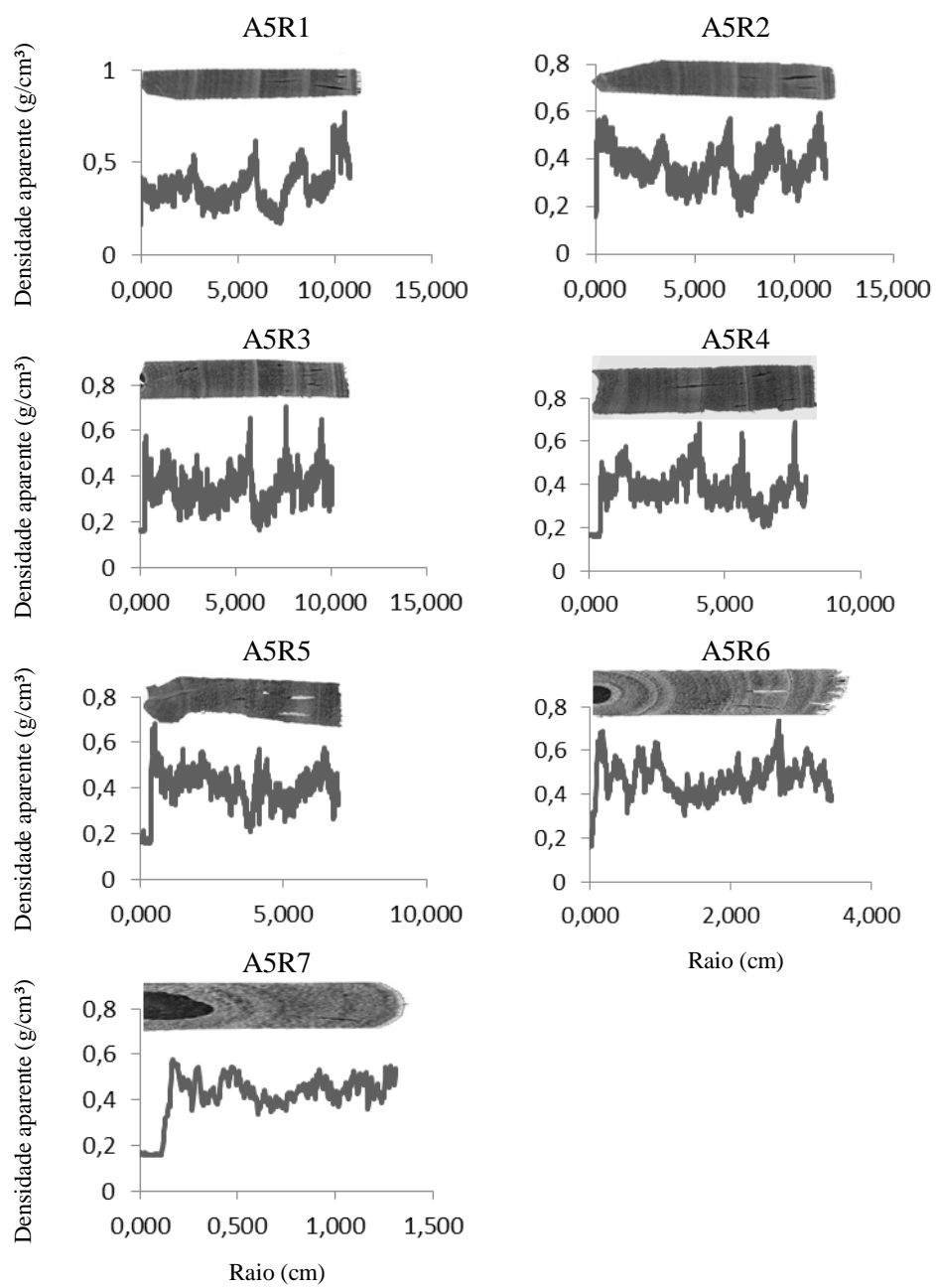
**ANEXO B - Perfis radiais de densidade aparente (medula-casca) do lenho de *Toona ciliatapor* densitometria de raio X**



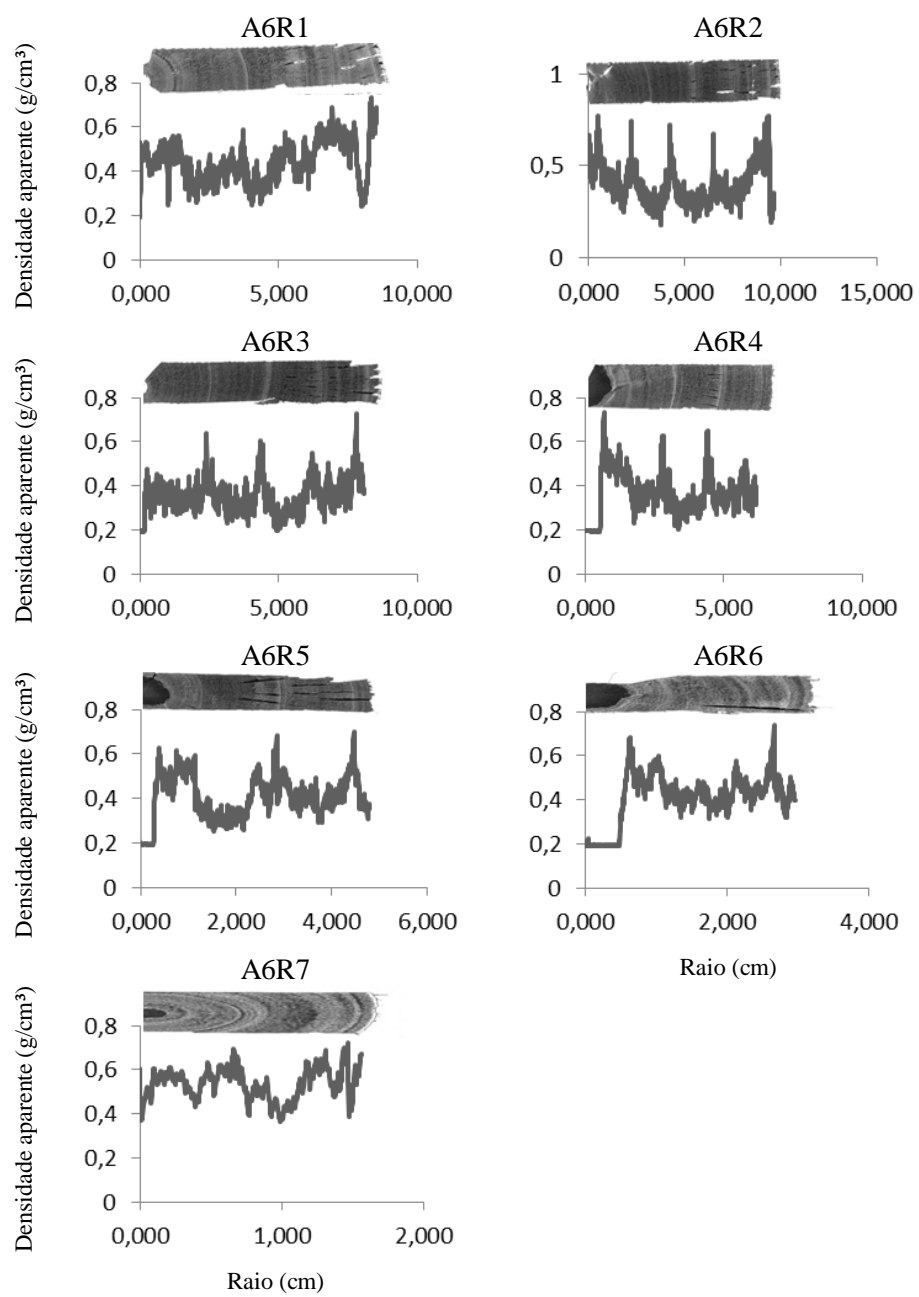






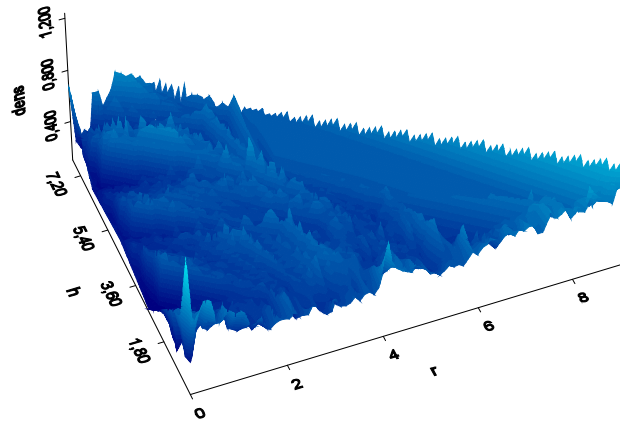




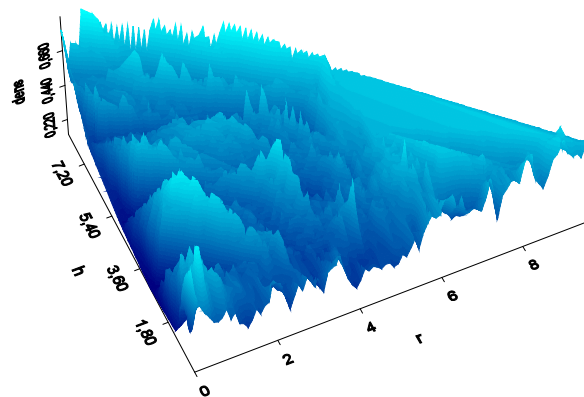


**ANEXO C - Variação da densidade medula-casca, base-topo de árvores de *Toona ciliata*.**

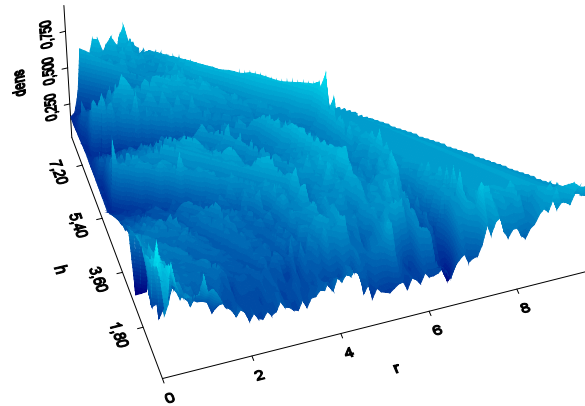
**ANEXO 1C - Variação da densidade medula-casca, base-topo da árvore A1 de *Toona ciliata*.**



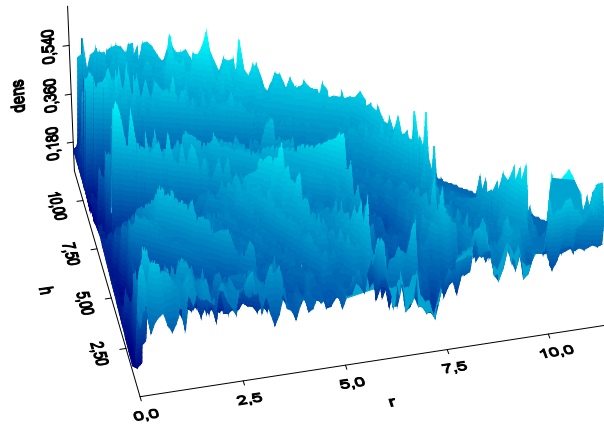
**ANEXO 2C - Variação da densidade medula-casca, base-topo da árvore A3 de *Toona ciliata*.**



ANEXO 3C - Variação da densidade medula-casca, base-topo da árvore A4 de *Toona ciliata*.



ANEXO 4C - Variação da densidade medula-casca, base-topo da árvore A5 de *Toona ciliata*.



ANEXO 5C - Variação da densidade medula-casca, base-topo da árvore A6 de *Toona ciliata*.

