



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

THIAGO LEITE BARBOSA

**QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla CULTIVADOS EM CINCO REGIÕES DO ESTADO DE
MINAS GERAIS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
JULHO – 2013

THIAGO LEITE BARBOSA

**QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla CULTIVADOS EM CINCO REGIÕES DO ESTADO DE
MINAS GERAIS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

JULHO – 2013

Dissertação, 0078.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

B238q Barbosa, Thiago Leite, 1988-
Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla cultivados em cinco regiões do Estado de Minas
Gerais para produção de celulose / Thiago Leite Barbosa. – 2013.
125 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.

Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Eucalipto – Cultivo - Minas Gerais. 2. Madeira - Qualidade. 3.
Celulose. 4. Indústria Madeireira. 5. Produtos florestais. 6. Propriedades
da madeira. I. Oliveira, José Tarcísio da Silva. II. Vidaurre, Graziela
Baptista. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

**QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus urophylla CULTIVADOS EM CINCO REGIÕES DO ESTADO DE
MINAS GERAIS PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

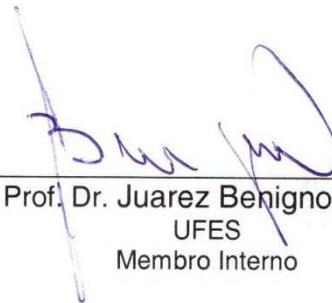
Thiago Leite Barbosa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Recursos Florestais.

Aprovada em 31 de Julho de 2013.



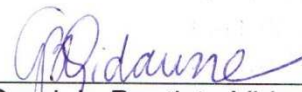
Prof. Dr. Mario Tomazello Filho
Esalq/USP
Membro Externo



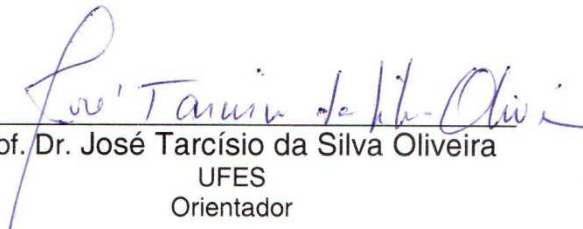
Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
UFES
Membro Interno



Prof.ª. Dr.ª. Marina Donária Chaves
Arantes
UFES
Membro Interno



Prof.ª. Dr.ª. Graziela Baptista Vidaurre
UFES
Coorientadora



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
UFES
Orientador

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis."
(José de Alencar)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por permitir a concretização de mais esta etapa em minha vida.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, por proporcionar a oportunidade de estar realizando a pesquisa.

À Empresa Celulose Nipo Brasileira S.A. (CENIBRA), por ceder o material para estudo. Aos Pesquisadores Fernando Palha Leite, Elizabete Keiko Takahashi e ao Analista Florestal Everton de Souza, que foram receptivos quando solicitados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Produtividade em Pesquisa ao Professor orientador.

Ao Professor José Tarcísio da Silva Oliveira, pela amizade, orientação e dedicação no desenvolvimento da presente pesquisa;

À Professora Graziela Baptista Vidaurre, pela disponibilidade e contribuição na coorientação deste trabalho.

Ao Professor Mario Tomazello e sua equipe (alunos e funcionários) do Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira da ESALQ/USP, pelo auxílio durante a realização das análises de densitometria de raios X, e por me receberem de forma tão amigável durante o tempo que passei em Piracicaba-SP. Em especial, agradeço ao Matheus, por ser extremamente paciente ao me ensinar cada etapa da análise.

Ao Pesquisador Antonio Marcos Rosado, pela participação inicial na pesquisa.

Aos Professores Juarez Benigno Paes, Marina Donária Chaves Arantes e Mario Tomazello Filho que prontamente aceitaram o convite para participar como membros da Banca Examinadora;

Aos Técnicos de Laboratório, José Geraldo e Gilson, que me auxiliaram durante as análises de anatomia e química da madeira.

À minha família, por acreditar e me apoiar neste trabalho.

Aos meus amigos madeireiros e floresteiros, Rafael Rosa, Jordão Moulin, Ana Carolina Boa, Walter Boschetti, Ewerthon Mattos, Dercilio Verly e Wesley Campanharo, que foram solidários quando necessitei de auxílio durante alguma etapa da dissertação.

À Flávia Brito, pela amizade e companheirismo nos muitos seminários que apresentamos juntos nas disciplinas do mestrado.

A todos os meus caroneiros, que contribuíram com a ajuda de custo para auxiliar no abastecimento do “CrossCelta”. Em especial, agradeço à Brunela Pollastrelli e ao Rafael Bridi, sendo estes, os mais fiéis passageiros durante esses dois anos de existência da linha Alegre x Jerônimo Monteiro. E também sendo amigos muito prestativos quando necessitei de algo que estivesse ao alcance deles.

Agradeço a todos os meus amigos, colegas do mestrado, alunos de graduação, professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira que, direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

Thiago Leite Barbosa, filho de Anterio da Costa Barbosa Filho e Marina Leite Costa Barbosa, nasceu em Nanuque – MG, em 16 de outubro de 1988.

Cursou o Segundo Grau no Centro Educacional São Gotardo Ltda, em São Mateus – ES, concluindo o ensino médio no ano de 2005.

Em 2006, ingressou no Curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal do Espírito Santo, graduando-se em julho de 2011.

Em agosto de 2011, ingressou no Curso de Pós-graduação *Strictu Sensu* em Ciências Florestais, em nível de Mestrado, Área de Concentração em Recursos Florestais e Linha de Pesquisa em Tecnologia de Produtos Florestais, concluindo os requisitos necessários à obtenção do título de “Magister Scientiae” em Ciências Florestais em julho de 2013.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO | x |
| ABSTRACT | xi |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL..... | 2 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 2 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i> | 3 |
| 2.2 INTERAÇÃO GENÓTIPO X LOCAL DE CRESCIMENTO | 4 |
| 2.3 QUALIDADE DA MADEIRA..... | 5 |
| 2.4 VOLUME DE MADEIRA, CASCA E RELAÇÃO CERNE-ALBURNO..... | 6 |
| 2.5 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA..... | 8 |
| 2.6 DENSITOMETRIA DE RAIOS X..... | 10 |
| 2.7 ANATOMIA DA MADEIRA..... | 11 |
| 2.8 QUÍMICA DA MADEIRA | 12 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 15 |
| 3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL E LOCAL DE AMOSTRAGEM | 15 |
| 3.2 AMOSTRAGEM DA MADEIRA..... | 19 |
| 3.3 ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA..... | 20 |
| 3.3.1 Altura comercial, volume de madeira, casca e relação cerne-alburno | 20 |
| 3.3.2 Densidade básica da madeira | 22 |
| 3.3.3 Análise de densitometria de raios X | 22 |
| 3.3.4 Análise anatômica da madeira | 24 |
| 3.3.5 Análise química da madeira | 26 |
| 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS | 28 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 4.1 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS | 28 |
| 4.1.1 Altura comercial, DAP, volume de madeira e de casca | 28 |
| 4.1.2 Teores de casca, cerne e alburno | 32 |
| 4.2 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA..... | 39 |
| 4.2.1 Variação no sentido longitudinal..... | 39 |
| 4.2.2 Variação no sentido radial..... | 43 |
| 4.3 DENSITOMETRIA DE RAIOS X..... | 44 |
| 4.4 ANÁLISE ANATÔMICA DA MADEIRA | 49 |
| 4.4.1 Frequência e diâmetro dos vasos..... | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.2 Dimensões das fibras | 55 |
| 4.5 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA | 68 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 72 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 74 |
| APÊNDICES E ANEXOS | 83 |

RESUMO

BARBOSA, Thiago Leite. **Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Graziela Baptista Vidaurre.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do local de crescimento na qualidade da madeira de dois clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com seis anos de idades, plantados em cinco regiões do estado de Minas Gerais. Os clones estudados foram provenientes de plantios clonais da Empresa Cenibra, localizados nos municípios de Belo Oriente, Ferros, Santa Bárbara, Itabira e Peçanha. Para cada clone foram selecionadas cinco árvores. Do tronco das árvores foram retirados discos em cinco posições equidistantes da altura do fuste e na altura do DAP, para mensurar os teores de casca, cerne e alburno, e determinar os volumes de madeira e de casca. Em condições de laboratório, das amostras de madeira retiradas no DAP, foram realizadas as análises dos parâmetros anatômicos, físicos e químicos. Os resultados indicaram que para os dois clones, os diferentes locais de crescimento influenciaram nos parâmetros dendrométricos. Para os dois clones, a variação da densidade básica da madeira no sentido longitudinal do tronco possuiu diferentes padrões em função das distintas regiões. O comportamento da densidade básica da madeira no sentido radial foi semelhante para os métodos de imersão e de densitometria de raios X, sendo crescente da medula para a casca. O clone B obteve melhores índices de uniformidade da densidade aparente da madeira no sentido radial, quando comparado ao clone A, sendo observado que este índice teve uma melhor relação com as variáveis de precipitação e déficit hídrico. Para o clone B, a região com maior média de precipitação refletiu em menores frequências de vasos, entretanto estes obtiveram maiores diâmetros, além da presença de fibras mais largas, com maiores diâmetros de lume e paredes mais espessas. O comprimento da fibra da madeira do clone A foi mais sensível às condições de precipitação e déficit hídrico. Na análise química, os teores de extrativos, lignina e holocelulose diferiram de forma significativa para os distintos locais onde os dois clones foram plantados, permitindo observar que para região com maior precipitação foram encontrados maiores teores de extrativos e lignina.

Palavras-chave: local de crescimento, híbridos de eucalipto, propriedades da madeira, qualidade da madeira.

ABSTRACT

BARBOSA, Thiago Leite. **Wood quality of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clones grown in five regions of the Minas Gerais state to pulp wood.** 2013. Dissertation (Master Degree in Forestry Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo State. Advisor: Prof. D.Sc. José Tarcísio da Silva Oliveira. Joint advisor: Prof. D.Sc. Graziela Batista Vidaurre.

This study aimed to evaluate the effect of site growth on wood quality at two hybrid clones of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* with six years old, planted in five regions of the Minas Gerais state. The wood was derived from clonal plantations of the CENIBRA Company, located in the counties of Belo Oriente, Ferros, Santa Barbara, Itabira and Peçanha. For each clone were selected five trees. Of the trunk of the trees were removed discs in five positions equidistant in the tree height and in the DBH position, to measure the percentage of bark, heartwood and sapwood, and to determine the volume of wood and bark. In laboratory conditions, the wood samples were taken in DBH performed analyzes of anatomical, physical and chemical parameters. The results shown that for the two clones, different sites influenced the growth parameters. To the two clones, the specific gravity varied in the longitudinal direction of the trunk in different patterns according to different regions. The behavior of specific gravity of the wood in the radial direction was similar to the methods of immersion and X-ray densitometry, with increase from pith to bark. The clone B had better indexes of uniformity of density in the radial direction when compared to the clone A, being observed that this index had a better relation with the variables of precipitation and water deficit. To the clone B, the region with the highest average precipitation reflected in a lower frequencies of vessels, however, these had greater diameters, besides the presence of wider fibers, with larger lumen diameters and thicker walls. The fiber length of the clone A was more sensitive to the conditions of precipitation and water deficit. In the chemical analysis, the percentage of extractives, lignin and holocellulose differed significantly for the different places where the two clones were planted, allowing observe the regions with higher precipitation were found higher content of lignin and extractives.

Keywords: growth site, hybrids of eucalyptus, wood properties, wood quality.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as árvores de espécies do gênero *Eucalyptus* são amplamente plantadas para atender aos diversos setores industriais que utilizam a madeira como matéria prima, sobretudo o de celulose. As indústrias desse segmento são destaque no cenário nacional por causa do elevado nível tecnológico, e também por serem exigentes em se tratando da qualidade da matéria prima.

O uso de madeira com propriedades homogêneas com relação aos elementos anatômicos, massa específica e constituição química sempre foi desejável para as indústrias de celulose. Para se atingir um nível de satisfação almejável, as empresas investem em técnicas de melhoramento genético e clonagem.

Por meio dessas técnicas, as empresas conseguem aprimorar o material genético em busca de árvores com genótipos de rápido crescimento, resistentes a doenças e fuste com formato mais retilíneo. Buscando-se ainda evitar uma série de variabilidades que normalmente podem ser encontradas nas propriedades da madeira de árvores derivadas de plantações por sementes, tendo como objetivo proporcionar maiores rendimentos industriais e consequentemente menores custos de produção.

Uma seleção de árvores embasada nas características de qualidade do sítio é de extrema importância, pois existem diversos fatores edafoclimáticos que podem influenciar no crescimento da planta e nas propriedades da madeira que está sendo formada.

Ainda que existam árvores de espécies de *Eucalyptus* que se adaptam às adversas condições ambientais, estas também precisam produzir madeira com atributos desejados pela indústria, e dessa forma, é necessário uma boa interação do genótipo com o ambiente. Assim sendo, são selecionadas espécies que possuam uma boa adaptabilidade edafoclimática e que se desenvolvam de forma satisfatória na região a ser implantada.

Entretanto, nem sempre é possível encontrar uma espécie que possa ter um bom desempenho de crescimento em uma dada localidade, e ao mesmo tempo atender às exigências industriais. Assim, os melhoristas florestais

modificam geneticamente as espécies com o objetivo de gerar um genótipo perfeito.

Contudo, nota-se ainda, que é de interesse a seleção de materiais genéticos que se comportem bem não somente em um local em particular, mas em diferentes locais de crescimento. Portanto, é necessário a realização de estudos que testem a inserção desses materiais em diversos ambientes, para posteriormente identificar quais genótipos possuem melhores parâmetros, em termos qualitativos, para as distintas regiões onde foram implantados, e por fim, serem inseridos em outras localidades com condições edafoclimáticas semelhantes.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do local de crescimento na qualidade da madeira de dois clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, plantados em cinco regiões do estado de Minas Gerais.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar a efeito do local de crescimento nos parâmetros dendrométricos das árvores; na variabilidade longitudinal da densidade básica e nos componentes do tronco (casca, cerne e alburno); na variabilidade radial das dimensões das fibras, elementos de vaso e densidades básica e aparente da madeira; e na constituição química da madeira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O GÊNERO *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, tem sua origem na Austrália, exceto as espécies *E. urophylla* e *E. deglupta* que ocorrem em ilhas na Oceania. Sendo dividido em oito subgêneros: *Blakella*, *Eudesmia*, *Gaubaea*, *Idiogenes*, *Telocalyptus*, *Monocalyptus*, *Symphyomyrtus* e *Corymbia* (GUIA FLORESTAL, 2009).

Estão descritas mais de 600 espécies e subespécies de *Eucalyptus*, possuindo grande expressão em todos os campos de produção econômica florestal (QUIQUI, et al, 2008). Ocorrendo em uma gama de condições ambientais que vão desde áreas pantanosas, até muito secas, em solos de alta fertilidade, até solos arenosos muito pobres. Ocupando ambientes altamente variáveis, tanto em termos de precipitação quanto temperaturas, o que possibilita seu plantio em diversos países (ASSIS, 1996).

No Brasil, as principais espécies plantadas do gênero *Eucalyptus* são o *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis*, além do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (Centro de Inteligência em Florestas - CIFLORESTAS, 2009).

Por causa de suas boas características de crescimento, aliado a uma qualidade dentro dos padrões aceitáveis, as espécies de *E. urophylla* e *E. grandis*, assim como os seus híbridos, são extremamente utilizadas pelas indústrias de celulose.

A espécie *E. grandis* ocorrem em regiões com altitude em torno de 600 m, com precipitação variando de 1.000 a 1.800 mm anuais. É encontrada em vários tipos de solos, mas predominantemente naqueles profundos e bem drenados, com moderada fertilidade, não tolerando ambientes alagados, embora também não seja resistente a seca, de forma que uma precipitação média anual de 900 mm é geralmente adequada, desde que bem distribuída. A temperatura média máxima fica entre 29 e 32°C, e a média mínima do mês mais frio entre 5 e 6°C (BISON, 2004; FERREIRA, 1979).

Já o *E. urophylla* possui maior ocorrência no Timor, Flores e outras ilhas da Indonésia, em regiões com altitudes que variam de 300 a 3.000 m, e

precipitações anuais de 1.000 a 2.000 mm. Espécie de grande potencialidade para regiões de climas quentes e de elevados déficits hídricos, com excepcional crescimento em baixas altitudes, além da boa resistência ao cancro, causado pelo fungo *Cryphonectria cubensis*. A temperatura média máxima fica em torno de 32°C, e a mínimas entre 8 e 12°C (BISON, 2004).

2.2 INTERAÇÃO GENÓTIPO X LOCAL DE CRESCIMENTO

Sempre que se pretende implantar um empreendimento florestal em uma determinada região, é necessário a realização de estudos para se obter maiores conhecimentos das necessidades da espécie a ser plantada, bem como do potencial produtivo do local. Esses conhecimentos vêm de forma a permitir uma melhor classificação do sítio para a espécie considerada e vice-versa (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

De acordo com os autores citados no paragrafo anterior, a classificação do sítio refere-se à forma de estratificação biótica e ou, condições abióticas de uma região ou país. Os procedimentos dessa classificação de sítio envolvem métodos com componentes de clima, forma do relevo, solo e vegetação. Já as espécies são selecionadas, geralmente, pela sua adaptabilidade edafoclimática.

A qualidade de um determinado local de crescimento pode ser definida como o potencial que o mesmo possui quanto a produção de madeira, de determinada espécie ou clone (CAMPOS; LEITE, 2006). As diferentes respostas fenotípicas frente a mudanças nas condições ambientais, normalmente, resultam em comportamentos distintos dos genótipos, e dessa forma, caracterizando a interação genótipo x ambiente (YAMAMOTO, 2006).

De acordo com Pinheiro (1999), as pesquisas nessa área salientam a importância dessa interação no processo do melhoramento florestal, atentando para que esta possa afetar a estratégia dos programas de seleção, favorecendo genótipos que sejam particularmente adaptados a ambientes específicos em detrimento daqueles amplamente adaptados a uma série de ambientes.

As condições de sítio constituem grande pressão seletiva sobre as plantas, podendo provocar alterações de caráter morfológico e estrutural,

levando inicialmente indivíduos e, por fim, espécies a se adaptarem ao ambiente. Assim sendo, o melhoramento florestal vem visando não apenas a melhora do material genético, mas também do ambiente de produção, buscando a aplicação da melhor combinação entre o material genético e o local de crescimento (PINHEIRO, 1999; HIGA; SILVA, 2009).

2.3 QUALIDADE DA MADEIRA

Milagres (2009) afirmou que antigamente quando se pensava em implantar uma floresta comercial o principal objetivo era alcançar a máxima produção volumétrica. Entretanto, nos últimos anos notou-se que outros quesitos também ganharam destaque, como a maior preocupação das empresas com relação à qualidade da madeira, ou seja, sua preocupação com a adequação a determinado uso, ou a sua capacidade de atender aos requisitos necessários à fabricação de determinado produto.

Qualidade da madeira trata-se da combinação de características físicas, químicas e anatômicas da madeira de uma árvore, que permite a melhor utilização para uma determinada finalidade (LARSON, 1962).

Para a indústria de celulose, quando estabelecido um padrão de qualidade da madeira, sua variação exigirá mudanças operacionais na fábrica, acarretando em uma maior dificuldade no controle da qualidade do produto final. Os parâmetros de qualidade ficam mais difíceis de serem controlados, o que resulta em produtos de qualidade variável, o que é pouco desejável pelos consumidores (FOELKEL, 1978).

Segundo Florsheim et al. (2009), a variação nas dimensões dos elementos anatômicos do lenho está diretamente associada a qualidade da madeira e ao produto final, assim como a composição química e a massa específica básica da madeira. Torna-se indispensável à compreensão da variabilidade das propriedades nas direções radial e longitudinal do tronco da árvore no intuito de auxiliar os pesquisadores tanto na área do Manejo Florestal quanto na Tecnologia de Madeira na busca por produtos de melhor qualidade.

Em termos de componentes químicos, por via de regra, a madeira utilizada na produção de pasta para papel deve possuir baixos teores de

extrativos e lignina, pois além da influência negativa desses constituintes na qualidade, estes também afetam o rendimento da polpa (WALLIS et al., 1996).

É notável o investimento e evolução do setor de celulose, obtidos nas últimas décadas, em termos de propagação clonal, visando tentar controlar o impacto de todas estas variáveis na qualidade da polpa. Silva (2003) afirmou que a propagação clonal tem como objetivo principal, gerar indivíduos geneticamente idênticos a partir de uma planta selecionada, de forma a promover a homogeneização das propriedades da madeira, beneficiando a qualidade do produto, e tornando-se altamente desejável na atividade industrial.

2.4 VOLUME DE MADEIRA, CASCA E RELAÇÃO CERNE-ALBURNO

Jacob e Balloni (1978) afirmaram que a silvicultura da década de 1970 tinha como meta prioritária apenas o acréscimo volumétrico da produção para atender às demandas cada vez maiores de madeira. Entretanto, com o passar dos anos o mercado e as indústrias tornaram-se mais exigentes em se tratando da qualidade final do produto. Esse comportamento veio a refletir nos segmentos florestais de melhoramento e silvicultura, que agora passariam a se preocupar cada vez mais com a necessidade da escolha acertada das espécies, tanto do ponto de vista florestal como industrial.

Com relação às espécies do gênero *Eucalyptus*, é notável a evolução que estas tiveram em termos de melhoramento genético. Porém, além de outros fatores não menos importantes para a qualidade da madeira na indústria de celulose e papel, cabe ressaltar que os primórdios para uma boa seleção também se fundamentam nos fatores dendrométricos para maior produção de madeira por hectare de floresta plantada (HASELEIN et al., 2004).

É importante salientar que independente da finalidade da madeira, as características de formato do tronco, volume de madeira e taxa de crescimento, devem ser levadas em consideração no melhoramento do eucalipto, assim como para outras espécies (BISON, 2004).

Com relação ao teor de cascas, essa variável, já foi alvo de grandes questionamentos para o setor de celulose, pois o uso desse material como

matéria prima já foi tratado tanto como solução quanto problema para o processo produtivo.

A casca é constituída internamente pelo floema, sendo um conjunto de tecidos vivos especializados para condução de seiva elaborada, e externamente pelo córtex, periderme e ritidoma, tecidos que têm como função proteger o vegetal contra o ressecamento, ataques fúngicos, injúrias mecânicas e variações climáticas (BURGER; RICHTER, 1991, p.15).

Na década de 1970, a produção de celulose a partir da casca isolada ou em mistura com a madeira, tornou-se mais intensamente pesquisada, embora já viesse sendo estudada há algum tempo. Tal utilização ocorreu em razão da necessidade cada vez maior de novas fontes de matérias primas, buscando permitir o uso desse material como forma de suprir a alta demanda do período. Entretanto, para os pesquisadores da época, a casca já era tradicionalmente referida nos processos de obtenção de celulose como causadora de uma série de problemas, os quais traziam limitações quanto a sua utilização (BRITO et al., 1978).

Atualmente, o descascamento da tora é considerado como sendo fundamental para evitar os problemas de qualidade de celulose. Assim, após chegarem à indústria, antes da picagem dos cavacos, as toras passam pelos descascadores, entretanto, essa etapa também pode ser realizada no momento da colheita, pois existem equipamentos capazes de descascar a tora imediatamente após o abate, sendo melhor do ponto de vista ambiental, pois as cascas auxiliam na ciclagem de nutrientes do solo.

Segundo Foelkel (2006), as espécies comerciais de eucaliptos de reflorestamento possuem entre 10 a 18% de seu tronco comercial como sendo de casca. As árvores clonais melhoradas geneticamente para alto incremento volumétrico têm entre 9 a 12% de casca em volume.

O mesmo autor afirmou ainda que existe uma correlação inversa entre o crescimento da árvore e a porcentagem de casca, ou seja, árvores maiores (em diâmetro e altura) de uma mesma espécie e a uma mesma idade, tendem a ter menor percentual de casca.

Assim como a casca, o xilema secundário também tem sua região que não possui atividade fisiológica, entretanto, esta corresponde à parte interna do fuste, denominada de cerne, tendo como função a sustentação do tronco. Já a

parte viva da árvore, correspondente àquela região mais periférica do fuste, e normalmente de coloração mais clara que o cerne, possuindo função de condução da seiva bruta, é denominada de alburno (COSTA, 2001).

A proporção de cerne e alburno varia dentro da própria árvore e, além de outros fatores, depende da espécie, idade da árvore, sítio, solo e clima (BURGER; RICHTER, 1991).

Para o fabricante de celulose, o cerne no eucalipto é indesejável por causa dos maiores teores de extrativos o que traz dificuldades de cozimento, além de alterações na cor e densidade. Para árvores velhas, esses pontos negativos são mais acentuados, além do surgimento de outros, como dificuldades na picagem dos cavacos, no branqueamento e resistências físico-mecânicas inferiores (FOELKEL, 1978).

Pelos motivos já citados com relação ao cerne, faz com que a indústria prefira a madeira de alburno para polpação. Além do fato do uso desta madeira admitir que os licores penetrem mais facilmente na mesma durante a polpação, possibilita ainda uma redução na quantidade de produtos químicos exigidos na etapa de branqueamento (MAURI, 2010).

2.5 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

A densidade básica, independente do uso da madeira, trata-se de um importante parâmetro de qualidade. Torna-se possível afirmar que o estudo da variabilidade dessa propriedade também é importante para a adequação da madeira à finalidade desejada. Para produção de celulose, a correlação desse parâmetro com o rendimento da polpa é evidenciado na da indústria.

Milagres (2009) citou que a densidade varia entre as espécies e dentro de uma mesma árvore. Essa variação depende, essencialmente, do volume de espaços vazios na estrutura da madeira, ocupados por ar ou umidade. Esta propriedade também está relacionada a outros aspectos de qualidade da madeira referentes à anatomia, como percentual e dimensões de elementos anatômicos e a química da madeira, como teores de constituintes primários e secundários.

Trata-se de uma propriedade considerada como um fator econômico importante em polpação. De acordo com especialistas da área, o aumento da

densidade básica, vem acompanhado de uma maior dificuldade de picagem das toras, desgastando as facas picadoras, e gerando cavacos com maiores dimensões, e dessa forma, dificultando a impregnação destes, o que leva a uma menor produção de polpa depurada, e por conseguinte, um maior teor de rejeitos durante o processo de polpação (IMPORTÂNCIA..., 2001).

Ainda de acordo com a fonte acima citada, madeira com densidades muito baixas também conduzem a menores rendimentos de polpação, mencionando que é mais adequado para as indústrias desse seguimento o uso de uma matéria prima com densidade básica por volta de $0,45 \text{ g.cm}^{-3}$, com valores limites entre $0,40$ e $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$, e que a partir desses valores, o teor de rejeitos e o consumo de álcali tendem a aumentar.

Pinheiro (1999) citou que a densidade da madeira é um reflexo da espécie e das condições de crescimento da árvore. Quanto a isto, Ferreira e Kageyama (1978) já afirmavam que apesar da existência de poucos sobre os efeitos das condições ecológicas na densidade da madeira de *Eucalyptus* sp. no Brasil, era possível notar que melhores condições de crescimento proporcionavam menores densidades. Como exemplo, os autores citam um trabalho realizado com *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. saligna* e *E. propinqua*, em que as quatro espécies demonstraram haver maior tendência para gerar madeira mais densa na região onde as condições de crescimento foram inferiores.

A uniformidade da densidade básica também é uma característica importante a ser considerada na tecnologia de polpação. Por ser de ser proveniente de um ser vivo, a madeira pode possuir uma série de variações para o comportamento de suas propriedades no interior do tronco da árvore. Estas variações podem ser causadas por fatores inerentes à própria espécie ou à interferência de fatores externos.

Ferreira e Kageyama (1978) citaram que para madeira dos eucaliptos, a variação individual na densidade nas árvores chegar a ser maior que a variação encontrada entre populações de diferentes procedências, localidades ecológicas ou dentro de localidade.

O estudo individual da variabilidade dentro da árvore, tanto no sentido radial (medula-casca) quanto longitudinal (base-topo), torna-se importante do ponto de vista da utilização tecnológica da madeira, pois madeiras mais

homogêneas, normalmente, são definidas como de melhor qualidade (BARRICHELO, 1982).

Em relação à variação radial da densidade básica da madeira Panshin e De Zeeuw (1980), relatam uma síntese dos padrões de variação nessa direção, como sendo: a) densidade é crescente da medula para a casca; b) alta na medula, decrescendo nos primeiros anéis e aumentando ao máximo próximo a casca; c) densidade aumentada próximo à medula, permanecendo mais ou menos constante, podendo decrescer próximo a casca; e d) a densidade é crescente da medula para casca.

Em relação às alterações da densidade na direção longitudinal, os autores citados classificaram alguns padrões dessa variação, sendo estes: a) a densidade decresce uniformemente no sentido base-topo; b) a densidade decresce até o meio do tronco e a partir deste ponto cresce até o topo; e c) a densidade decresce da base para o topo, embora desuniformemente.

2.6 DENSITOMETRIA DE RAIOS X

De acordo com Siqueira (2004), a utilização dessa técnica de atenuação de raios X em madeira foi proposta por LENZ (1957) e desenvolvida por Polge, na França, em 1963. Nos últimos anos essa metodologia vem obtendo avanços na análise de anéis de crescimento e na medida de massa específica da madeira.

A densitometria de raios X há anos já é um procedimento utilizado na medicina (densitometria óssea), entretanto, nas últimas décadas esse método vem ganhando destaque em estudos realizados com a madeira e seus derivados. É considerada como uma das principais técnicas não destrutivas de análise da qualidade da madeira por causa da precisão, detalhamento e praticidade (TOMAZELLO FILHO et al., 2008; BELINI et al., 2010; QUIRINO et al., 2012).

Trata-se de uma técnica que tem como princípio adquirir resposta para irradiação transmitida em várias direções de uma amostra, utilizando o princípio da atenuação da radiação pela matéria. Ao se colocar um corpo entre o tubo de raios X e a emulsão fotográfica, ele absorve parte da radiação em função de

sua espessura, de sua massa específica e de seu número atômico (SIQUEIRA, 2004).

Os raios X são uma radiação eletromagnética penetrante e invisível a olho nu e sempre que a madeira é atravessada por eles, há uma interação entre esta forma de radiação e a madeira. Parte dos fótons de raios X são removidos do feixe incidente numa quantidade proporcional à massa específica da madeira, da espessura da amostra e do número de fótons incidentes (SIQUEIRA, 2004, p. 9).

Uma vez que a variação da densidade da madeira no sentido transversal estar relacionada com a disposição e dimensões dos elementos anatômicos, Mothe et al. (1998) citaram a análise microdensitométrica como uma importante ferramenta no sentido de fornecer informações que ajudem a melhor correlacionar a cronologia da produção anual de massa lenhosa com a estrutura anatômica da madeira.

Segundo Oliveira e Hellmeister (1998), o uso dessa técnica facilita de forma considerável a comparação do desenvolvimento da madeira de diferentes árvores pela observação do padrão de variação da densidade, possibilitando a seleção do material com densidade que se enquadra de forma mais uniforme nos padrões desejáveis de acordo com o uso final.

2.7 ANATOMIA DA MADEIRA

A Anatomia da Madeira é o ramo da Ciência Botânica que se ocupa do estudo dos tipos de células que compõem o lenho, bem como sua organização e função (COSTA, 2001).

A Anatomia da Madeira é definida por Burger e Richter (p.11, 1991) como o estudo dos diferentes tipos de células que constituem o lenho, suas funções, organização e peculiaridades estruturais. Visando identificar e distinguir espécies com madeiras aparentemente idênticas, e conhecer a madeira de modo que venha a prever e compreender o seu comportamento nas variadas forma de uso, para que assim possa predizer utilizações adequadas de acordo com as características de cada espécie.

Para as indústrias de celulose, os estudos referentes à anatomia da madeira possuem ênfase na obtenção de informações referentes,

principalmente, quanto à porcentagem e dimensões dos elementos anatômicos de vaso, parênquima e fibra.

Os vasos podem ser definidos como células curtas e largas, com parede fina e aberta em suas extremidades, possuindo função de conduzir a seiva mineral no sentido ascendente pelo xilema funcional. Já as fibras, que no caso dos eucaliptos podem ser chamadas de fibrotraqueídeos, são células mais alongadas e estreitas, com paredes mais espessas e fechadas nas extremidades, possuindo função de sustentação do tronco (SOUSA, 2004).

O *Eucalyptus* sp., sendo a principal espécie utilizada para produção de celulose de fibra curta no Brasil, possui fibras com comprimento médio de 1,0 milímetro, que normalmente, varia entre 0,75 a 1,30 mm. Essa medida de comprimento, juntamente com as outras dimensões de largura, diâmetro do lume e a espessura de parede, são utilizadas como parâmetros para o cálculo de índices de qualidade, como por exemplo, índice de Runkel, fração parede, índice de enfiletamento e coeficiente de flexibilidade, que conferem resultados importantes a respeito das propriedades da polpa celulósica (IMPORTÂNCIA..., 2001).

A estrutura anatômica do vegetal como um todo, bem como sua variabilidade no interior do tronco, também são influenciadas por meio de melhoramento genético, assim como, pelas características do ambiente onde a planta está se desenvolvendo, e pelos tratamentos silviculturais (PINHEIRO, 1999).

O mesmo autor citou como exemplo da variabilidade anatômica encontrada no fuste, as alterações nas proporções e dimensões dos elementos celulares que ocorrem na direção medula-casca, ressaltando o fato da influência que estas alterações provocam no comportamento da madeira.

2.8 QUÍMICA DA MADEIRA

A análise da composição química da madeira para produção de celulose, assim como em outras aplicações da madeira, se trata de um estudo relevante. Silva (2010) afirmou que a qualidade e proporção relativa dos diferentes componentes químicos na estrutura da madeira podem ser utilizados como parâmetros para inferir nas propriedades e características como durabilidade natural, trabalhabilidade, cor, resistência mecânica,

higroscopicidade, poder energético e características físico mecânicas da madeira.

A constituição química da madeira se divide, em componentes macromoleculares, sendo estes: os constituintes primários ou componentes estruturais, formado por celulose, hemicelulose e lignina, e os constituintes secundários ou componentes não estruturais, os extrativos (KLOCK, et al., 2005; PEREIRA, et al., 2003).

De acordo com Foelkel (1977), entre os constituintes primários se destaca a celulose como o composto químico mais importante da madeira, com valores que variam de 40 a 50% de sua massa seca. Trata-se de um polissacarídeo linear, com comprimento de cadeia grande o suficiente para se tornar insolúvel em água e álcali diluído à temperatura ambiente, possuindo alto peso molecular, e constituído exclusivamente de β -D-glucose formando uma estrutura bem organizada com arranjo cristalino, podendo possuir um arranjo irregular (regiões amorfas).

A segunda substância macromolecular presente na madeira, constituído de 20 a 30% de sua massa seca, dependendo da espécie, são as hemiceluloses. Estas podem ser definidas como polímeros de polissacarídeos, que ao contrario da celulose, possuem baixo peso molecular, entretanto, encontram-se fortemente associado à celulose nos tecidos da madeira (OLIVEIRA, 1998).

Ao contrario da celulose, as hemiceluloses não são cristalinas e têm um arranjo amorfo, e além da glucose, também são constituídas de manose, galactose, xilose e arabinose, que juntamente com a glucose, constituem os cinco principais açúcares desse polímero (KLOCK, et al. 2005).

A lignina é o terceiro componente estrutural da madeira, sendo encontrada em quantidades que vão de 18 a 35%. Definida por Eaton e Hale (1993) como um polímero tridimensional complexo, que se difere dos polissacarídeos, por ser formada por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano.

Do ponto de vista morfológico a lignina é uma substância amorfa, localizada de forma mais concentrada na lamela média (constituída de 70-80% de lignina), agindo de forma a promover uma melhor ligação entre as células, entretanto, cerca de 70% ou mais da lignina presente na madeira, está

localizada nas paredes das células, conferindo maior rigidez à madeira (PETERSEN, 1984).

Segundo Santos (2008), a lignina obtida nas indústrias de celulose durante o processo de polpação, trata-se de um subproduto cujo principal destino de reaproveitamento é a queima em caldeiras de recuperação, gerando energia.

No processo de polpação, altos teores de lignina na madeira não são desejáveis, pois nessas condições é exigido um maior consumo de produtos químicos, gerando, maiores custos de produção, menores rendimentos, e afetando a qualidade da polpa por causa do maior desgaste da celulose, além de gerar também maior quantidade de sólidos para queima na caldeira (ASSIS, 1996; MOSCA, 2010).

O termo holocelulose é derivado da fração total de polissacarídeos presentes na madeira (65% a 75% da massa seca da madeira), e trata-se do conjunto formado pela celulose e hemicelulose (BARRICHELO, 1979).

Com relação aos componentes não estruturais, Silva (2010) definiu estes como substâncias de baixo peso molecular, denominados extrativos e substâncias minerais, vulgarmente designados por cinzas, e que são removidos da madeira pela utilização de solventes de polaridade adequada.

Santos (2008) citou que estes constituintes secundários se encontram depositados nos lumes e nas paredes celulares na forma de monômeros, dímeros e polímeros, geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteróides, resinas, ceras, óleos, gomas e taninos.

Para produção de polpa celulósica, a presença desses componentes na madeira é indesejável. Normalmente, os extrativos são removidos durante o processamento químico, e dessa forma, exercendo certa influência no consumo de reagentes químicos, conduzindo a menores rendimentos em polpa, e provocando incrustações nas tubulações (SMOOK, 1997).

De acordo com Morais (2008), apesar das quantidades de extrativos que permanecem nas polpas serem pequenas, estas podem causar efeitos significativos nas suas propriedades de absorção, além de reduzir a alvura da polpa e formar agregados depositados nas fibras (pitch).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL E LOCAL DE AMOSTRAGEM

No presente trabalho foi estudada a madeira dos clones A e B provenientes de áreas de plantios comerciais da Empresa Celulose Nipo Brasileira S.A. – CENIBRA, situada no estado de Minas Gerais, sendo amostrado um total de 45 árvores. Os híbridos clonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, comumente denominado de “eucalipto urograndis”, foram procedentes de plantios com espaçamento de 3 x 3,3 m, e idade de seis anos, que cresceram em cinco diferentes regiões do estado de Minas Gerais, localizadas nos municípios de Belo Oriente, Ferros, Santa Barbara, Itabira e Peçanha (Figura 1).

As características climáticas dos diferentes locais estão listadas na Tabela 1. Tais informações foram obtidas a partir dos dados coletados nas estações que compõem o sistema de monitoramento climático da CENIBRA. As informações referentes à precipitação, temperatura, déficit hídrico e umidade relativa, são embasados na série histórica dos anos em que os plantios estiveram instalados (2005-2011). Os valores mensais destas variáveis também podem ser visualizados no Anexo 1.

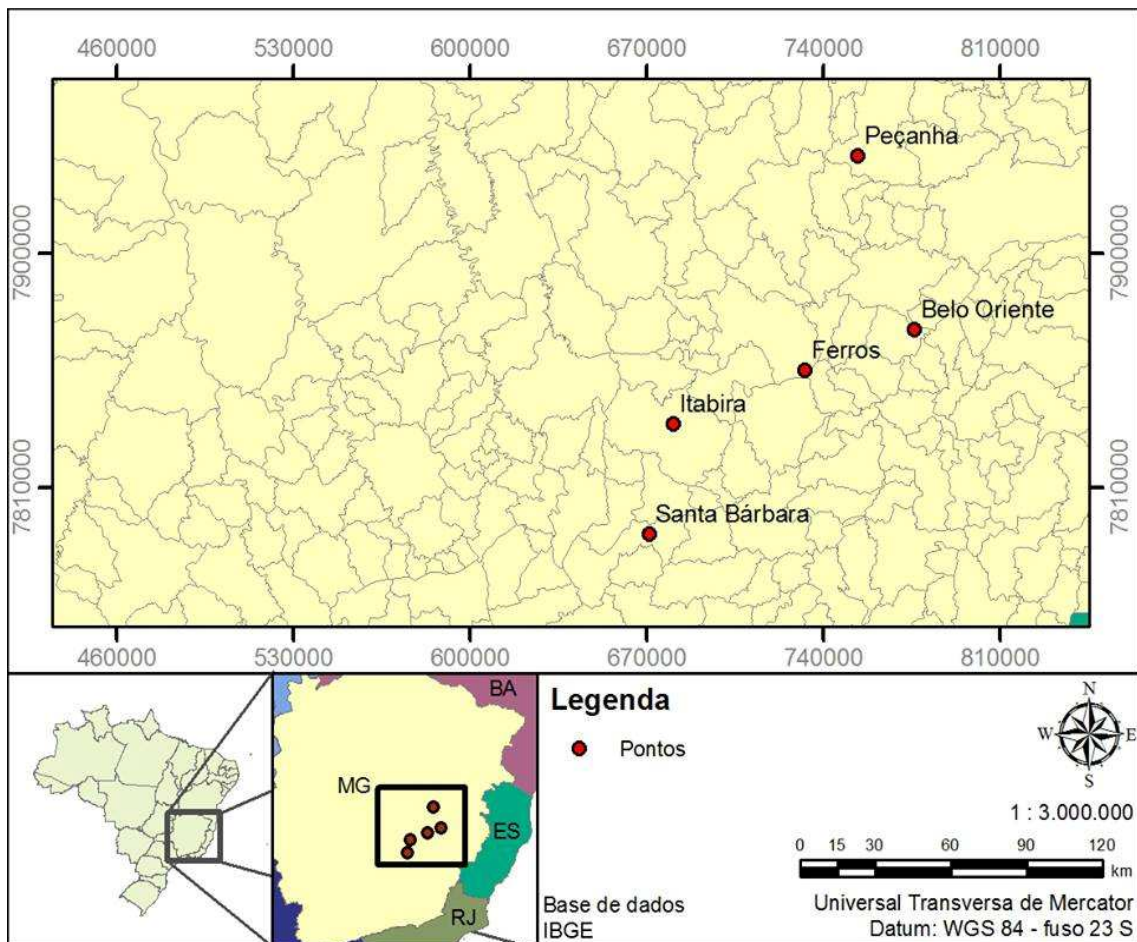


Figura 1. Mapa com a localização dos sítios de amostragem das árvores dos clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade.

Em cada região, a amostragem das árvores dos dois clones foi realizada em talhões distintos, o que proporcionou, em alguns casos, diferentes classificações para o tipo de solo e também numa pequena alteração na altitude. Estas informações, assim como a localização dos sítios, estão listadas na Tabela 2.

Tabela 1. Características climáticas dos locais de crescimento dos clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos

| Local | Precipitação (mm/ano) | Déficit hídrico (mm/ano) | Temperatura máxima (° C) | Temperatura média (° C) | Temperatura mínima (° C) | Umidade Relativa (%) |
|---------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| Belo Oriente | 1320,84 | 272,57 | 29,9 | 23,0 | 18,4 | 74,4 |
| Ferros | 1323,17 | 121,71 | 21,0 | 17,6 | 14,8 | 82,2 |
| Santa Bárbara | 1631,63 | 137,29 | 24,7 | 19,9 | 16,2 | 75,8 |
| Itabira | 1409,40 | 139,29 | 21,5 | 18,1 | 15,1 | 80,8 |
| Peçanha | 1115,96 | 208,86 | 23,5 | 19,5 | 16,1 | 77,3 |

Fonte: CENIBRA (2012).

Tabela 2. Coordenadas e características edáficas dos talhões de amostragem das árvores dos clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos

| Clone | Local | Localização | Altitude (m) | Tipo de Solo |
|-------|---------------|--------------------------------|--------------|--|
| A | Belo Oriente | 19° 14' 21" S 42° 22' 26" W | 234 | Predominante classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico A moderado de textura média-argilosa (LVAd3). |
| | Ferros | 19° 23' 8" S 42° 46' 58" W | 1010 | Predominante classificado como Latossolo Amarelo distrófico argissólico A moderado de textura argilosa; + Latossolo Amarelo distrófico típico A moderado de textura argilosa (LAd6). |
| | Santa Bárbara | 19° 57' 34" S 43° 21' 54" W | 632 | Predominante classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico A moderado de textura argilosa; + Cambissolo Flúvico distrófico típico A fraco de textura média; + Gleissolo Háptico distrófico típico A moderado, textura siltosa e argilosa (LAd2). |
| | Itabira | 19° 34' 38" S 43° 16' 40" W | 682 | Predominante classificado como Cambissolo Háptico distrófico típico A fraco-moderado de textura argilosa; + Argissolo Vermelho-Amarelo típico A moderado de textura argilosa (CXbd10). |
| | Peçanha | 18° 38' 27" S 42° 35' 44" W | 672 | Predominante classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico A moderado de textura argilosa (LVd1). |

Continua...

| | | | | |
|---|---------------|--------------------------------|-----|---|
| B | Belo Oriente | 19° 14' 23" S 42° 20' 22" W | 196 | Predominante classificado como Cambissolo Háptico distrófico típico A moderado de textura arenosa (CXbd5). |
| | Ferros | 19° 22' 54" S 42° 45' 54" W | 995 | Predominante classificado como Cambissolo Háptico distrófico típico A fraco-moderado de textura argilosa; + Latossolo Vermelho distrófico A moderado de textura argilosa (CXbd7). |
| | Santa Bárbara | 19° 58' 34" S 43° 22' 8" W | 705 | Predominante classificado como Cambissolo Háptico distrófico típico A fraco-moderado de textura siltosa-argilosa; + Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico A moderado de textura siltosa-argilosa (CXbd17). |
| | Itabira | 19° 34' 55" S 43° 16' 25" W | 835 | Predominante classificado como Cambissolo Háptico distrófico típico A fraco-moderado de textura argilosa; + Argissolo Vermelho-Amarelo típico A moderado de textura argilosa (CXbd10). |

Fonte: CENIBRA (2012).

3.2 AMOSTRAGEM DA MADEIRA

Para avaliar a influência do local de crescimento na qualidade da madeira, foram selecionadas cinco árvores de cada clone para as diferentes regiões. As análises foram avaliadas em um total de nove tratamentos, referentes aos dois clones plantados em localidades distintas, sendo que no município de Peçanha foi disponibilizado apenas o material do clone A.

Foram retirados discos de madeira no diâmetro à altura do peito (DAP) 1,30c m do solo e nas posições de 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores, considerando um diâmetro mínimo de aproximadamente 6,0 cm para a posição de 100%.

A densidade básica da madeira ao longo do fuste foi obtida a partir de amostras no formato de cunhas com aproximadamente 45°, retiradas dos discos do fuste das árvores, nas posições citadas na paragrafo anterior.

No DAP foram retirados discos para as análises de variação da densidade básica no sentido medula-casca, dos elementos anatômicos, da densidade aparente por meio do método de densitometria de raios X no sentido radial, e análise química.

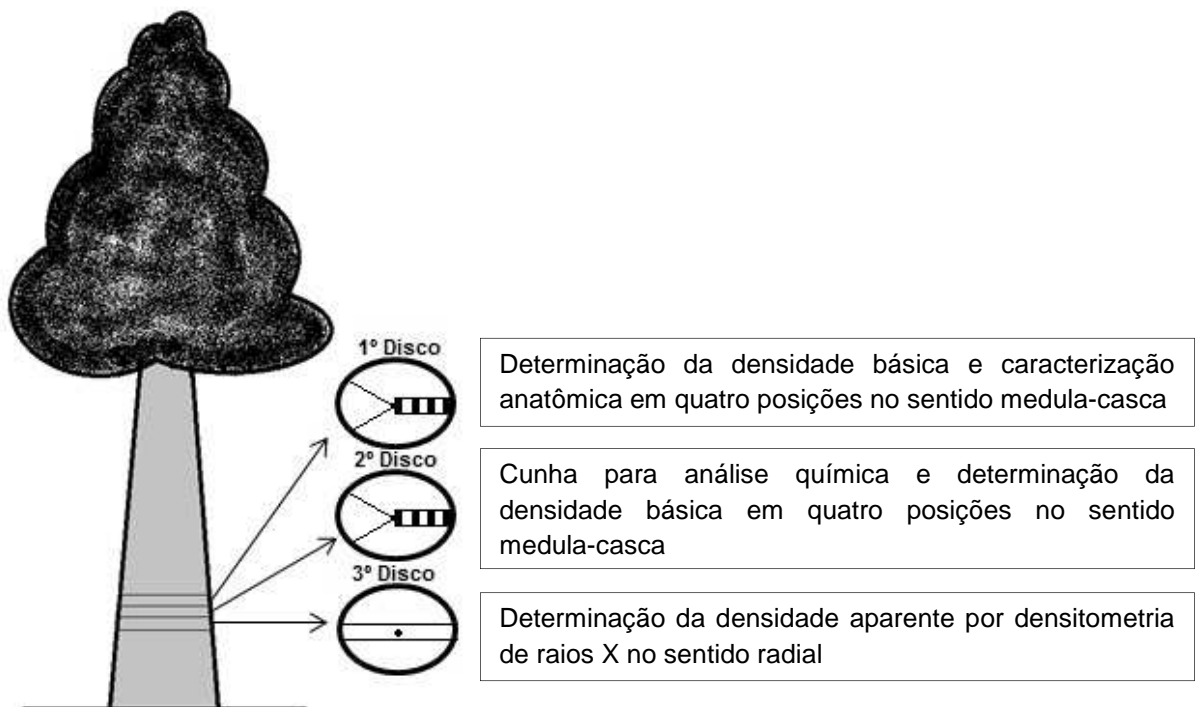


Figura 2. Esquema de amostragem dos discos nas árvores e localização dos corpos de prova. Fonte: adaptado de Mauri (2010).

Conforme apresentado na figura 2, no DAP de cada árvore foram retirados três disco de madeira, sendo cada um com aproximadamente 2,5 cm de espessura, de forma que um deles foi retirado no DAP, um acima e outro abaixo desta posição (1º, 2º e 3º disco).

As análises, com exceção da densitometria de raios X, foram realizadas no Laboratório de Ciência da Madeira – LCM, do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira – DCFM, do Centro de Ciências Agrárias – CCA, da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, localizado em Jerônimo Monteiro, ES.

O estudo de densitometria de raios X foi desenvolvido no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira – LAIM, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, da Universidade de São Paulo - USP, localizado em Piracicaba, SP.

3.3 ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

3.3.1 Altura comercial, volume de madeira, casca e relação cerne-alburno

Após o corte foi mensurada a altura comercial das árvores com uma trena. Para os discos coletados nas posições de 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores, foram medidos os diâmetros com e sem casca, e do cerne, quando este presente no disco.

As estimativas do volume de madeira e de casca foram realizadas pela fórmula de Smalian. O volume de casca foi obtido por diferença entre o volume de madeira com casca e sem casca.

A estimativa do volume de casca, cerne e alburno nas posições de 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial foi obtida pela relação percentual da área que cada componente possui na área total do disco.

O percentual de casca foi efetuado pela relação entre a área de casca e a área do disco com casca (Equação 1).

$$\%_{\text{casca}} = \left(\frac{A_C}{A_{CC}} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que:

$\%_{\text{casca}}$ = Percentual de casca no disco (%);

A_C = Área de casca (cm^2); e

A_{cc} = Área do disco com casca (cm^2).

O percentual de cerne foi efetuado pela relação entre a área do cerne e a área do disco com casca (Equação 2).

$$\%_{\text{cerne}} = \left(\frac{A_C}{A_{cc}} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que:

$\%_{\text{cerne}}$ = Percentual de cerne no disco (%);

A_C = Área do cerne no disco (cm^2); e

A_{sc} = Área do disco com casca (cm^2).

A área de alborno no disco foi obtida pela diferença entre a área do disco sem casca e a área do cerne (Equação 3).

$$A_A = A_{sc} - A_C \quad (3)$$

em que:

A_A = Área do alborno no disco (cm^2);

A_{sc} = Área do disco sem casca (cm^2); e

A_C = Área do cerne no disco (cm^2).

O teor de alborno foi obtido pela relação entre a área do alborno e a área do disco com casca (Equação 4).

$$\%_{\text{alborno}} = \left(\frac{A_A}{A_{cc}} \right) \times 100 \quad (4)$$

em que:

$\% \text{ alburno} = \text{Percentual de alburno no disco (\%)};$

$A_A = \text{Área de alburno no disco (cm}^2\text{)};$ e

$A_{cc} = \text{Área do disco com casca (cm}^2\text{)}.$

3.3.2 Densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira no sentido longitudinal foi determinada a partir de amostras no formato de cunhas opostas. Para a realização desta análise foram adotados os critérios do método de imersão descritos conforme a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003).

As amostras foram mantidas imersas em água até que estivessem completamente saturadas para determinação do volume. Em seguida, as amostras foram secas em estufa à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem uma massa constante, determinando-se a massa seca do material em uma balança de precisão de 0,01g.

Para determinar os valores de densidade básica na direção medula-casca as amostras foram armazenadas em um dessecador contendo água e submetidas a vácuo intermitente até a completa saturação.

Estando saturadas, as amostras foram subdivididas em corpos de prova menores, correspondentes a 0, 33, 67 e 100% do comprimento da mesma, para que posteriormente fosse determinado o volume, e a massa seca de cada um destes corpos de prova para se obter a variação da densidade no sentido radial.

3.3.3 Análise de densitometria de raios X

Na determinação do perfil de densidade aparente das amostras diamétrais para os dois clones do híbrido de *E. grandis x E. urophylla*, pela técnica de densitometria de raios X, aplicou-se a metodologia descrita por Amaral e Tomazello Filho (1998).

Para boa visualização da melhor região do disco para retirada das amostras a fim de se obter um corpo de prova livre de defeitos, foi realizado o

lixamento dos discos em uma lixadeira de cinta estacionária em lixas com granulometria de 40, 60, 80 e 120, posteriormente os discos foram lixados com o auxílio de uma lixadeira orbital utilizando lixas com granulometria de 150, 240 e 360. Em seguida, foram demarcadas e extraídas amostras diametraais com 1,0 cm de espessura na seção transversal de cada disco.

Após a obtenção das amostras com dimensões de 20 x 10 mm (altura x largura), estas foram fixadas em um suporte de madeira para que fosse possível realizar a retirada dos corpos de prova (seções transversais do lenho). Para tanto, empregou-se uma serra circular dupla paralela com um espaçamento de 2,0 mm entre as serras.

A espessura dos corpos de prova foi mensurada com o auxílio de um paquímetro para se certificar de que essa medida não estava variando ao longo da amostra. As amostras foram mantidas em câmara de climatização (temperatura = 20°C e umidade = 50%) por um período de 12 horas, para atingir 12% de umidade, e novamente sendo mensurada a espessura ao longo da amostra para verificar se as mesmas permaneceram homogêneas.

Logo após, as amostras foram fixadas em um suporte metálico e transferidas para o compartimento interno do equipamento, o mesmo foi calibrado para dar início a varredura contínua ao longo de todo o diâmetro da amostra por um feixe de raios X colimado.

A densidade foi determinada ponto a ponto por toda a amostra, com intervalos de 40 μm entre os pontos. Os valores de raios X que atravessaram a amostra foram transformados em densidade aparente pelo *software* QMS, originando um relatório com formato de arquivo DAT, que posteriormente com o auxílio do *software* Excel possibilitou a construção dos perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores.

Por meio dessa metodologia, para analisar a variação radial dos valores de densidade aparente, foi possível obter equações de regressão de cada clone, nos diferentes locais de crescimento. Também foi obtido o índice de uniformidade (IU) da densidade no sentido radial para cada clone, nos distintos locais de crescimento. O método para o cálculo deste índice foi proposto por Echols (1973), que consiste em estabelecer classes de variação da densidade, com intervalos de 0,05 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, e posteriormente deve-se multiplicar a porcentagem de madeira de cada classe pelo respectivo fator de

ponderação, os resultados devem ser somados para se obter o IU de cada árvore (Equação 5).

$$IU = \sum_{i=1}^i X_i * K_i \quad (5)$$

em que:

IU = Índice de uniformidade;

K_i = Coeficiente de ponderação para a classe de densidade;

X_i = Porcentagem de madeira em cada classe de variação da densidade;

i = Número de classes estabelecidas.

O menor valor possível para o índice de uniformidade é 100, então, quanto mais próximo deste valor melhor será a qualidade da madeira em termos de homogeneidade no sentido radial e, portanto, quanto maior o valor do índice maior será a heterogeneidade na densidade da madeira.

3.3.4 Análise anatômica da madeira

Para a realização da análise anatômica da estrutura microscópica da madeira, foram utilizados critérios da Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas – COPANT (1974). As descrições foram realizadas a partir de cortes histológicos na madeira e da dissociação dos elementos celulares.

Na realização dos cortes histológicos do lenho, foram seguidas técnicas padrões adotadas pelo LCM, que consistem em:

- i. Preparo de blocos de madeira com seções transversal, radial e tangencial perfeitamente orientadas;
- ii. Amolecimento os blocos de madeira com água em ebulição por um determinado período de tempo que varia de acordo com a densidade do material, que no presente estudo foi de 30 minutos;
- iii. Corte anatômico do plano transversal para observação, com espessura nominal variando de 18 a 20 μm , realizado em micrótomo de deslize;

- iv. Armazenagem dos cortes histológicos entre lâminas umedecidas com solução de glicerina e água na proporção 1:1 e revestidas com papel alumínio;
- v. Seleção dos melhores cortes e confecção das lâminas temporárias em glicerina e água, em proporção 1:1.

Para a realização das mensurações, foram obtidas fotomicrografias do plano transversal do xilema secundário empregando o uso de uma câmera fotográfica acoplada ao microscópio óptico trinocular. As mensurações foram realizadas por meio do *software* analisador de imagem Image-Pro Plus 4.5.

Os parâmetros mensurados nesse plano foram relativos aos vasos, sendo estes, a frequência e o diâmetro tangencial. Foram realizadas 25 repetições para ambos os parâmetros em cada amostra.

A dissociação dos elementos celulares (maceração) foi realizada segundo o método preconizado por Nicholls e Dadswel e descrito por Ramalho (1987), que consistem em:

- i. Obtenção de fragmentos de madeira no plano radial;
- ii. Colocar esse material em frascos de 25 mL contendo solução macerante (ácido acético glacial/peróxido de hidrogênio, na proporção 1:1);
- iii. Disposição dos frascos lacrados para estufa a 60°C por 48 horas;
- iv. Extrair a solução macerante e lavar o material macerado com água destilada;
- v. Coloração do material macerado com safranina alcoólica a 1%;
- vi. Confeccionar as lâminas temporárias em glicerina e água na proporção 1:1.

Para mensurar as fibras, também foram obtidas fotomicrografias das lâminas seguindo o mesmo procedimento já descrito para as lâminas de cortes histológicos. Ao mensurarem as fibras, foram obtidos de forma direta seus comprimentos, larguras e diâmetros de lume e indiretamente suas espessuras de parede celular a partir da diferença entre a largura da parede e o diâmetro do lume dividido por dois.

3.3.5 Análise química da madeira

Para a realização da análise química da madeira foi retirada uma cunha no disco do DAP de cada uma das cinco árvores de cada tratamento. Posteriormente as cunhas foram transformadas em cavacos, para que fosse possível reduzi-los à serragem por meio do uso de um moinho do tipo Wiley. A serragem foi classificada por peneiras, e o material utilizado para a análise química foi aquele que passou pela peneira de 40 mesh (abertura de 0,42 mm) e ficou retida na peneira de 60 mesh (0,25 mm).

A análise dos extrativos foi realizada conforme a Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI 264 om-88 (1992). A partir das amostras de serragem, tomaram-se $2,0 \pm 0,001$ g da amostra livre de umidade, sendo dispostas em filtro de vidro sinterizado de porosidade n°2.

Posteriormente o filtro contendo a amostra foi pesado em balança de precisão de 0,0001g, e inserido em extrator “Soxhlet” para uma sequência de extração em solução álcool:tolueno (1:2) por cinco horas, álcool por quatro horas, em seguida o filtro contendo a amostra foi retirado do extrator para dar início a última etapa de remoção de extrativos, realizada em água quente por uma hora.

Após o término da extração em água quente, as amostras foram levadas à estufa a $103,0 \pm 2,0$ °C para remoção da umidade. Absolutamente secas, as amostras foram pesadas e o teor de extrativos obtido por diferença de massa.

O teor de lignina insolúvel (Klason) foi determinado de acordo com o procedimento descrito por Gomide e Demuner (1986), que consistem em:

- i. Pesar $0,3 \pm 0,0001$ g de serragem seca e livre de extrativos e armazená-los em tubos de ensaio;
- ii. Adicionar 3 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 72%;
- iii. Manter o conjunto em banho-maria a $30 \pm 0,2$ °C por 1 hora, homogeneizando a solução como auxílio de um bastão de vidro a cada 10 minutos;
- iv. Transferir o material para frascos de 100 mL, e adicionar 84 mL de água destilada;

- v. Lacrar os frascos e mantê-los em uma autoclave por um período de uma hora a uma temperatura de 115°C;
- vi. Filtrar a lignina solúvel em filtro de vidro sinterizado de porosidade n°2 com óxido de alumínio em fibras;
- vii. O filtro com a lignina insolúvel que ficou retida é levado à estufa a 103,0 ± 2,0 °C para remoção da umidade, e o teor de lignina insolúvel é obtido por diferença de massa, utilizando balança de precisão de 0,0001g.

O teor de lignina solúvel (Klason) foi obtido por meio do líquido remanescente da filtração da lignina insolúvel, sendo analisado em espectrofotômetro UV, de acordo com metodologia descrita por Goldshimid (1971), que consistem em:

- i. Diluir o líquido com a lignina solúvel em água destilada a fim de formar uma solução com volume de 1.000 mL.
- ii. Preparar a solução em branco, diluindo 3 mL de H₂SO₄ em 997 mL de água, para em seguida ajustar o espectrofotômetro para 100% de transmitância e 0% de absorbância;
- iii. Realizar as leituras de absorbância do filtrado para os comprimentos de onda de 215 e 280 nm;
- iv. Determinar o teor de lignina solúvel de acordo com a Equação 6:

$$TLS = \frac{[(4,53 \times A_{215}) - A_{280}]}{90} \times 100 \quad (6)$$

em que:

TLS = Teor de lignina solúvel (%);

A₂₁₅ = Absorbância para comprimento de onda de 215 nm; e

A₂₈₀ = Absorbância para comprimento de onda de 280 nm.

O teor de lignina total foi obtido pela soma das frações solúvel e insolúvel, já a holocelulose foi determinada pela diferença entre a massa inicial e a quantidade de extrativos e lignina total.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados foram tabulados em planilhas do *software* Excel 2010 e analisados cálculos estatísticos descritivos como média, desvio padrão e coeficiente de variação. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC).

Para avaliar se os valores médios dos parâmetros analisados, para as diferentes localidades, diferiram estatisticamente, foi realizada a análise de variância pelo teste “F” a 5% de significância e uma vez significativa, foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de significância para comparação de médias.

Para cada localidade, no que se refere ao comportamento dos perfis de variação da densidade, e dos teores de casca, cerne e alburno no sentido base-topo em cinco posições (0, 25, 50, 75, e 100%), e ao comportamento dos perfis de variação da densidade e das dimensões dos elementos anatômicos no sentido medula-casca em quatro posições (0, 33, 66, e 100%) no DAP, foram ajustadas equações de regressão com cada variável dependente para os tratamentos.

As equações de regressão para a variável altura foram obtidas para as variáveis dependentes: teor de casca, cerne e alburno. No DAP, os modelos de regressão para a variável distância medula-casca foram obtidos para as variáveis dependentes: largura da fibra, diâmetro do lume, espessura da parede da fibra, frequência de vasos, diâmetro de vasos e densidade aparente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

4.1.1 Altura comercial, DAP, volume de madeira e de casca

A variação da altura comercial dos clones para as diferentes localidades, e a variação nos volumes de madeira e casca, estão na Tabela 3.

As alterações ocorridas nestes parâmetros estão relacionadas com as condições edafoclimáticas do sítio. Portanto, um bom desenvolvimento da

planta, também pode ser explicado com base nessas informações de altura e volume da árvore.

Tabela 3. Altura comercial, DAP, volume de madeira e casca para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| Local | Parâmetros dendrométricos | | | | | | |
|---------|---------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|-------|-----|
| | Altura comercial (m) | DAP s/ casca (cm) | Volume (m ³) | | Teores (%) | | |
| | | | Madeira | Casca | Madeira | Casca | |
| Clone A | Belo Oriente | 25,8 a* (7,5)** | 16,4 a (5,9) | 0,35 ab (25,6) | 0,027 ab (22,6) | 92,8 | 7,2 |
| | Ferros | 24,6 a (3,6) | 15,1 a (5,5) | 0,27 ab (16,2) | 0,026 ab (18,8) | 91,2 | 8,8 |
| | S. Bárbara | 25,4 a (4,5) | 16,1 a (4,7) | 0,34 ab (10,0) | 0,029 ab (18,6) | 92,1 | 7,9 |
| | Itabira | 21,2 b (6,1) | 15,5 a (4,4) | 0,25 b (14,4) | 0,025 b (11,9) | 90,9 | 9,1 |
| | Peçanha | 26,6 a (6,8) | 16,5 a (5,1) | 0,37 a (15,0) | 0,034 a (13,5) | 91,5 | 8,5 |
| Clone B | Belo Oriente | 31,0 a (4,0) | 18,1 a (8,1) | 0,47 a (17,1) | 0,037 a (21,6) | 92,7 | 7,3 |
| | Ferros | 27,4 b (8,4) | 17,1 a (10,8) | 0,39 a (33,3) | 0,036 a (26,0) | 91,5 | 8,5 |
| | S. Bárbara | 29,0 ab (8,8) | 19,6 a (10,3) | 0,52 a (21,9) | 0,037 a (22,6) | 93,3 | 6,7 |
| | Itabira | 28,0 ab (5,6) | 17,5 a (7,4) | 0,42 a (11,5) | 0,038 a (16,4) | 91,7 | 8,3 |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Para os dois clones, os locais influenciaram no crescimento em altura das árvores, havendo diferença significativa para algumas destas regiões. A diferença média entre as localidades chegou a 3,6m para o clone B e, 5,4m para o clone A. A diferença média na altura comercial do fuste entre os clones também foi expressiva, variando de 21,2 a 31,0m, correspondentes aos clones A de Itabira e B de Belo Oriente, respectivamente.

Para o clone B, a maior altura comercial foi encontrada para a região de Belo Oriente. Esta localidade se destacou por possuir a menor altitude e os maiores valores de temperatura dentre as regiões estudadas. De modo inverso, a menor altura foi obtida na região de Ferros, localidade com maior altitude e as menores temperaturas.

Para o clone A, a menor altura das árvores foi na região de Itabira, localidade com valores intermediários das variáveis de clima e altitude, já a maior altura comercial foi pertencente à região de Peçanha. O destaque para este último caso, foi que essa região teve o menor valor de precipitação média anual dentre as regiões estudadas, e quanto às outras variáveis de altitude e temperatura, diferentemente do clone B, esse local não exibiu valores extremos ao ser comparado às outras localidades. Isso indica que há casos em que a interação do conjunto de variáveis do local de crescimento pode ser mais eficiente no desenvolvimento da árvore, ao invés dessas variáveis de forma isolada.

Para todas as localidades, o clone B atingiu maior altura comercial, volume de madeira e de casca por tora quando comparado ao A. Ao estudar clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6,7 anos de idade Tolfo et al. (2005) encontraram valores médios de altura comercial variando entre 21,0 e 23,5m, estes valores estão dentro da faixa encontrada para o clone A do presente estudo, representado por árvores menores, quando comparado ao clone B.

Para ambos os clones, os valores médios do DAP não diferiram estatisticamente entre os locais de crescimento. Ao avaliar a variação do volume de madeira por árvore entre os locais de crescimento, nota-se que apenas para o clone A plantado nas regiões de Itabira e Peçanha houve diferença estatística entre os volumes. Entretanto, o volume de madeira produzido pelo clone B não diferiu entre as localidades.

É importante ressaltar que os valores de volume de madeira por árvore foram coerentes com os resultados encontrados para altura comercial, em que, árvores mais altas geraram maiores volumes de madeira, enquanto árvores mais baixas obtiveram menores volumes.

Na região de Santa Bárbara as árvores do B alcançaram um volume médio de 0,52 m³ de madeira, sendo o diferencial em termos edafoclimáticos dessa localidade a precipitação, tendo a maior média anual entre as localidades, além de ser a única região com textura argilosa e textura siltosa na sua classificação de solo.

O que se pode afirmar entre a relação do volume de madeira produzido por árvore e o local de crescimento, é a capacidade que o genótipo teve de se adaptar às condições edafoclimáticas, e um maior incremento de volume

implica em uma melhor adaptabilidade do vegetal para determinada região. Dessa forma, o clone A, com um volume médio de 0,25 m³ de madeira por árvore, teve pior adaptabilidade para a região de Itabira, e com volume médio por árvore de 0,37 m³, se adaptando melhor às condições impostas pela região de Peçanha. Para o clone B, a região de Santa Bárbara, com volume de 0,52 m³ foi aquela em que o genótipo melhor se adaptou.

Os resultados do presente trabalho também podem ser corroborados com o estudo de Fernandes et al. (2011), que obtiveram para clones híbridos com espécies de *Eucalyptus* aos sete anos de idade, a maior produtividade de madeira foi na região com maior média de precipitação. Apesar dos menores valores de volume de madeira encontrados para o clone A, estes estão de acordo ou até mesmo acima dos resultados de outros estudos sobre a madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* em idade semelhante à deste trabalho (GOMIDE et al., 2005; TRUGILHO, 2009; SILVA, 2011; NEVES et al., 2013).

Apesar do destaque para as árvores dos clones A de Peçanha e B de Santa Bárbara, com relação os maiores volumes de madeira por árvore, deve-se lembrar que esse parâmetro é importante não apenas para a produção de madeira para celulose, mas também para qualquer setor do seguimento madeireiro, contudo, nem sempre maior volume de madeira significa madeira de melhor qualidade, isto irá depender do conjunto das propriedades desse material aliado ao seu uso final.

Ao avaliar a variação do volume médio de casca por árvore para cada clone, nota-se que para as diferentes localidades, o clone B não obteve diferença significativa no volume de casca. Para o clone A, com relação a esse parâmetro, novamente somente houve diferença estatística para as árvores de Itabira (0,025 m³) e Peçanha (0,037 m³), e em termos percentuais esses valores representam 10 e 9,2% do volume da tora, respectivamente. Demonstrando que árvores com menores volumes de madeira também podem vir acompanhadas de maiores quantidades de casca.

Gonçalves (2006) encontrou volume de casca na faixa de 10 a 11% para clones eucalipto *urograndis* aos seis anos. O clone B da localidade de Santa Bárbara, com volume de casca correspondendo a 0,037 m³ (7,1% do volume do fuste), foi aquele que obteve a menor porcentagem de casca por árvore. Este valor pode ser corroborado com os resultados do estudo de Costa

e Rezende (2008) que encontraram um volume de casca variando de 6,5 a 7,5% para clones de *E. grandis* x *E. urophylla* com seis anos de idade.

4.1.2 Teores de casca, cerne e alburno

Os teores de casca, cerne e alburno para cada posição ao longo da altura comercial, para os dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, nas distintas localidades, estão na Tabela 4.

Com relação à variação dos teores de casca nas diferentes porcentagens ao longo da altura comercial das árvores, percebe-se que para o clone A, os diferentes locais de crescimento praticamente não exerceram influência sobre esse parâmetro. A única posição em que houve diferença estatística foi a 0% da região de Belo Oriente, com 8,5% de teor de casca, sendo este o menor valor entre as localidades.

Para o clone B, o teor de casca diferiu estatisticamente entre as diferentes localidades, apenas para as posições de 25 e 100%. Para a posição de 25% da altura, o maior teor de casca foi encontrado para a região de Ferros com 8,1% de teor de casca, entretanto, para esta mesma região, na posição 100%, foi encontrado o menor teor de casca entre as localidades.

Para comparar a variação do teor de casca ao longo do fuste dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 5. Já o comportamento de variação ao longo do fuste pode ser observado na Figura 3.

Tabela 4. Teores de casca, cerne e albarno em posições equidistantes no sentido longitudinal do tronco dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| Clone | Local | Teor de casca (%) | | | | | Teor de cerne (%) | | | | | Teor de albarno (%) | | | | |
|---------|---------------|--------------------|----------------|---------------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------|------|---------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|
| | | Posições base-topo | | | | | Posições base-topo | | | | | Posições base-topo | | | | |
| | | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
| Clone A | Belo Oriente | 8,5b* (6,5)** | 6,7a (4,7) | 6,8 ^a (5,1) | 6,6a (3,1) | 8,3a (2,0) | 44,7b (5,2) | 52,2b (5,2) | 49,9c (4,7) | 32,8a (24,8) | 0,0 | 46,8a (5,3) | 41,1a (6,3) | 43,3a (5,0) | 60,6ab (15,8) | 91,7a (0,5) |
| | Ferros | 12,2a (4,0) | 7,4a (15,4) | 7,1 ^a (6,0) | 7,1a (5,9) | 8,1a (16,3) | 56,5a (3,4) | 63,9a (4,0) | 57,5ab (2,2) | 33,7a (36,1) | 0,0 | 31,4b (4,7) | 28,7b (4,9) | 35,4c (1,8) | 59,3ab (22,7) | 91,9a (3,6) |
| | Santa Bárbara | 11,3a (2,4) | 7,3a (5,6) | 6,8 ^a (6,2) | 6,5a (7,7) | 6,8a (5,0) | 58,6a (2,7) | 62,8a (3,8) | 59,7a (2,0) | 41,0a (13,4) | 0,0 | 31,1b (4,6) | 28,8b (4,9) | 33,5c (2,7) | 52,5b (11,1) | 92,2a (1,0) |
| | Itabira | 12,0a (4,6) | 8,3a (3,1) | 7,9 ^a (1,1) | 7,7a (12,0) | 9,0a (14,9) | 43,6b (4,5) | 50,1b (5,1) | 38,6d (9,3) | 13,7a (16,5) | 0,0 | 44,4a (4,1) | 41,6a (6,2) | 53,4a (7,3) | 78,7a (6,2) | 91,0a (3,6) |
| | Peçanha | 10,8a (6,1) | 8,3a (4,0) | 7,8a (5,8) | 7,5a (6,5) | 8,0a (5,2) | 57,1a (3,9) | 62,5a (3,9) | 52,1bc (5,1) | 33,2a (7,5) | 0,0 | 32,2b (6,8) | 29,3b (7,1) | 39,8bc (5,4) | 60,1ab (5,0) | 92,0a (1,2) |
| Clone B | Belo Oriente | 10,7a (5,2) | 6,6ab (5,9) | 7,0a (2,3) | 6,2a (7,4) | 8,4a (6,4) | 46,8a (4,0) | 51,3b (2,5) | 42,1b (4,4) | 25,4a (25,1) | 0,0 | 42,6a (5,3) | 42,1a (2,2) | 52,4a (5,2) | 71,4a (10,7) | 91,6b (1,5) |
| | Ferros | 11,8a (4,3) | 8,1a (6,1) | 7,6a (6,6) | 6,9a (7,3) | 6,1b (2,8) | 54,4a (6,1) | 60,2a (4,4) | 50,1a (6,4) | 29,8a (6,5) | 0,0 | 33,8ab (8,2) | 31,1b (8,2) | 42,4b (8,5) | 63,2a (4,9) | 93,9a (0,5) |
| | Santa Bárbara | 9,8a (4,1) | 6,0b (5,4) | 6,5a (3,2) | 5,9a (9,5) | 8,2a (5,0) | 54,5a (9,3) | 60,6a (5,7) | 53,5a (6,2) | 30,9a (22,3) | 0,0 | 35,7ab (12,0) | 33,5b (8,3) | 41,3b (10,0) | 63,2a (13,1) | 91,8b (1,1) |
| | Itabira | 11,7a (10,3) | 7,7a (2,5) | 6,7a (9,4) | 6,0a (5,8) | 6,7b (7,4) | 55,2a (3,5) | 57,9a (2,6) | 53,1a (4,9) | 32,8a (9,5) | 0,0 | 33,1b (5,3) | 33,1b (3,7) | 39,3b (5,7) | 61,2a (6,3) | 93,3a (1,5) |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Tabela 5. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da altura comercial (x), para o teor de casca como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------|---------------|---|------------------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | $\hat{Y} = 8,4377 - 0,0788x + 0,0008x^2$ | 0,57 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 11,7629 - 0,1699x + 0,0014x^2$ | 0,56 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 10,9719 - 0,1423x + 0,001x^2$ | 0,77 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 11,7801 - 0,1441x + 0,0012x^2$ | 0,53 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 10,6674 - 0,1019x + 0,0007x^2$ | 0,61 |
| Clone B | Belo Oriente | $\hat{Y} = 10,3616 - 0,1493x + 0,0013x^2$ | 0,69 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 11,3249 - 0,1174x + 0,0007x^2$ | 0,76 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 9,5129 - 0,1387x + 0,0013x^2$ | 0,68 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 11,3242 - 0,1368x + 0,0009x^2$ | 0,62 |

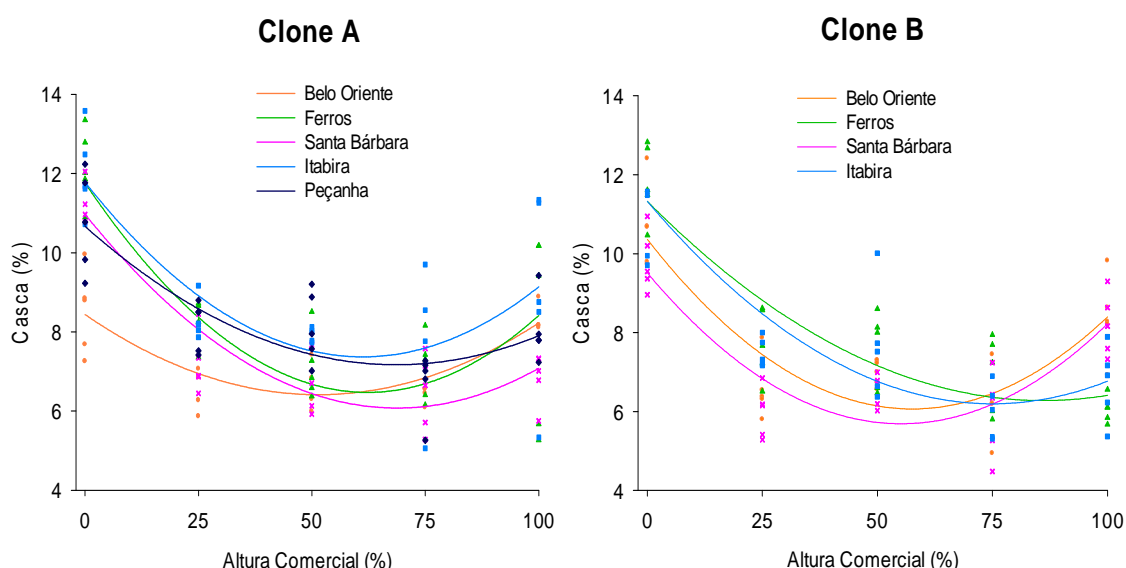


Figura 3. Teor de casca em função da altura comercial dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Os teores de casca tiveram uma tendência polinomial de segundo grau significativa com respeito à altura do tronco dos clones com nível de significância de 5% para todas as localidades onde os clones foram plantados. Os valores do coeficiente de determinação ajustado (R²_{ajustado}) indicaram que para o clone A, a equação de regressão para a variação da porcentagem de casca em função da altura, foi melhor ajustada para a região de Santa

Bárbara, possuindo R^2_{ajustado} de 0,77, e para o clone B na região de Ferros (R^2_{ajustado} de 0,76), já o pior ajuste para ambos os clones ocorreu na região de Itabira.

Ao observar o comportamento do teor de casca ao longo do tronco, nota-se que as regiões de Ferros e Itabira para o clone B obtiveram tendências semelhantes, alcançando maiores percentuais até a posição de 75%, sendo estas regiões também caracterizadas com os menores valores de temperatura entre os diferentes locais. Para o clone A, somente a região de Itabira obteve os maiores valores ao longo do fuste, entretanto, estes maiores valores foram encontrados em todas as posições.

Esta tendência verificada para esta componente do tronco, em que ocorre um decréscimo da base para o meio do tronco, seguido de um novo aumento até o topo também foi encontrada por Duarte (2007) ao estudar híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idades. Ao pesquisar o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com oito anos de idade, Arango Alzate (2004) encontrou teores próximos nas posições da base e no topo, entretanto, no presente estudo, essa proximidade nos valores de teor de casca para estas posições não foi tão evidenciada em algumas regiões, ocorrendo em alguns casos apenas um pequeno aumento na posição de 100% da altura.

A faixa de variação para os teores de casca foi condizente com os valores encontrados por Gonçalves (2006), que estudou o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* também com seis anos de idade, e encontrou valores médios de 8 a 12% para as diferentes alturas do tronco.

Com relação à variação dos teores de cerne nas diferentes porcentagens ao longo da altura comercial dos clones, percebe-se que para os dois clones, na posição 100% não foi detectada visualmente a presença de cerne.

Ao observar a Tabela 4, nota-se que para a posição 75% do clone A não houve diferença estatística no teor de cerne entre as distintas regiões. Nas posições de 0, 25 e 50%, as menores médias para o clone A foram todas pertencentes à região de Itabira, local este que já havia sido destacado anteriormente por causa da baixa produtividade de madeira em razão de suas condições de temperatura e altitude. Para o clone B, somente as posições 25 e 50%, ambas da região de Belo Oriente, diferiram estatisticamente das demais

localidades obtendo os menores teores de cerne, lembrando que esta localidade possuiu as maiores temperaturas entre as regiões estudadas.

Para comparar a variação do teor de cerne ao longo do fuste dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 6. Já o comportamento de variação ao longo do fuste pode ser observado na Figura 4.

Tabela 6. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da altura comercial (x), para o teor de cerne como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------|---------------|---|------------------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | $\hat{Y} = 44,0178 + 0,6565x - 0,0109x^2$ | 0,90 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 56,6958 + 0,5655x - 0,0114x^2$ | 0,89 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 56,8153 + 0,6481x - 0,012x^2$ | 0,96 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 53,9569 - 0,4948x$ | 0,78 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 57,4248 + 0,4055x - 0,0098x^2$ | 0,98 |
| Clone B | Belo Oriente | $\hat{Y} = 47,83 + 0,2454x - 0,0074x^2$ | 0,93 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 55,3978 + 0,3797x - 0,0094x^2$ | 0,97 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 54,8457 + 0,4684x - 0,0102x^2$ | 0,91 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 54,5375 + 0,4468x - 0,0099x^2$ | 0,97 |

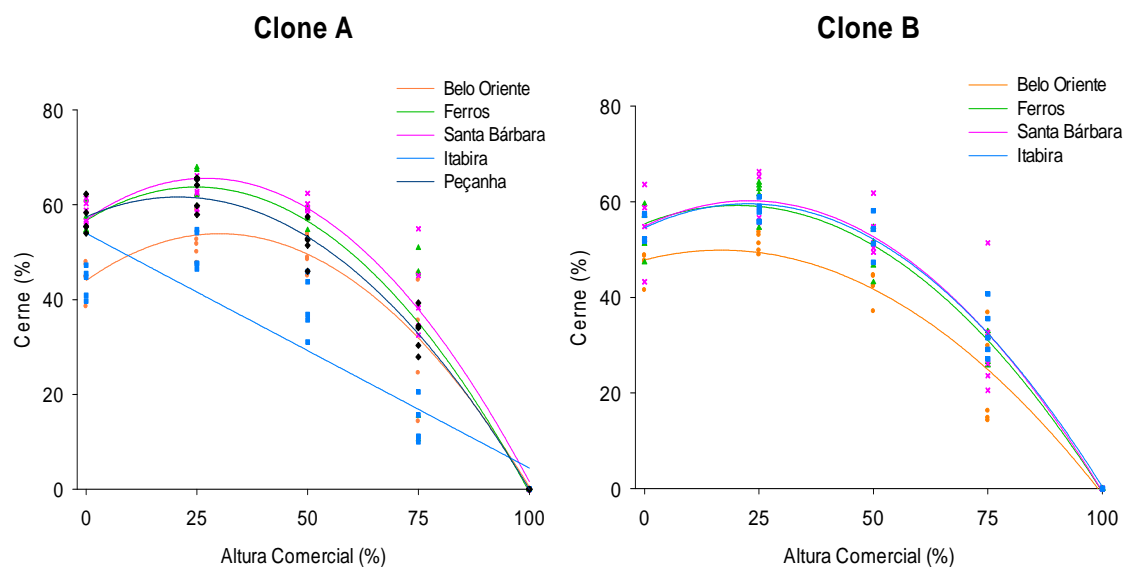


Figura 4. Teor de cerne em função da altura comercial dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Os teores de cerne, também tiveram uma tendência polinomial de segundo grau significativa para a altura do tronco dos clones com nível de significância de 5% para as localidades onde os clones foram plantados, exceto para o clone A de Itabira, em que a equação de regressão foi ajustada com nível de significância de 5% apenas sob a forma linear. Por ser a única equação linear, o seu valor de R^2_{ajustado} também foi o menor entre as localidades onde o clone A foi plantado, sendo igual a 0,78. Observando os coeficientes dos outros tratamentos, nota-se que as equações tiveram um bom nível de ajuste, com valores variando de 0,89, a 0,98, para o clone A das regiões de Ferros e Peçanha, respectivamente.

Por meio da análise dos resultados de proporção de cerne no sentido longitudinal das árvores, observou-se uma tendência crescente do percentual de cerne até a posição 25%, tornando-se, a partir dessa altura, decrescente até a posição 100%, comportamento este que também foi observado por Haselein et al. (2004).

Ao observar os perfis de variação do teor de cerne no sentido base-topo da Figura 4, nota-se que para os dois clones houve uma tendência de menores valores para todas as posições nas árvores da região de Belo Oriente, localidade esta que se destacou entre as demais por obter os maiores valores de déficit hídrico e temperatura entre os locais. O clone A da região de Itabira também obteve baixos teores de cerne no sentido longitudinal, entretanto, diferente da região de Belo Oriente, Itabira é uma localidade que possui baixas temperaturas.

Os teores médios de cerne encontrados para as distintas posições ao longo da altura comercial das árvores das diferentes regiões estão de acordo com os resultados encontrados por Arango Alzate (2004) para de *E. grandis* x *E. urophylla* com oito anos de idade.

Com relação à variação dos teores de alburnos nas diferentes porcentagens ao longo da altura comercial dos clones, ao observar a Tabela 4, percebe-se que para o clone A, a única posição em que não houve diferença estatística entre as localidades foi na posição 100%. Para as demais posições o destaque foi para a região de Itabira, por obter os maiores teores de alburno entre os diferentes locais de crescimento.

Para comparar a variação do teor de alburno ao longo do fuste dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 7. Já o comportamento de variação ao longo do fuste pode ser observado na Figura 5.

Tabela 7. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da altura comercial (x), para o teor de alburno como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------|---------------|---|------------------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | $\hat{Y} = 47,5445 - 0,5777x + 0,0101x^2$ | 0,89 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 31,5413 - 0,3956x + 0,01x^2$ | 0,89 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 32,2128 - 0,5058x + 0,011x^2$ | 0,95 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 35,7343 + 0,5212x$ | 0,84 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 31,9078 - 0,3036x + 0,0091x^2$ | 0,98 |
| Clone B | Belo Oriente | $\hat{Y} = 41,6833 - 0,0628x + 0,0057x^2$ | 0,93 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 33,2773 - 0,2624x + 0,0087x^2$ | 0,97 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 35,5252 - 0,2987x + 0,0087x^2$ | 0,91 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 34,1383 - 0,3100x + 0,0090x^2$ | 0,97 |

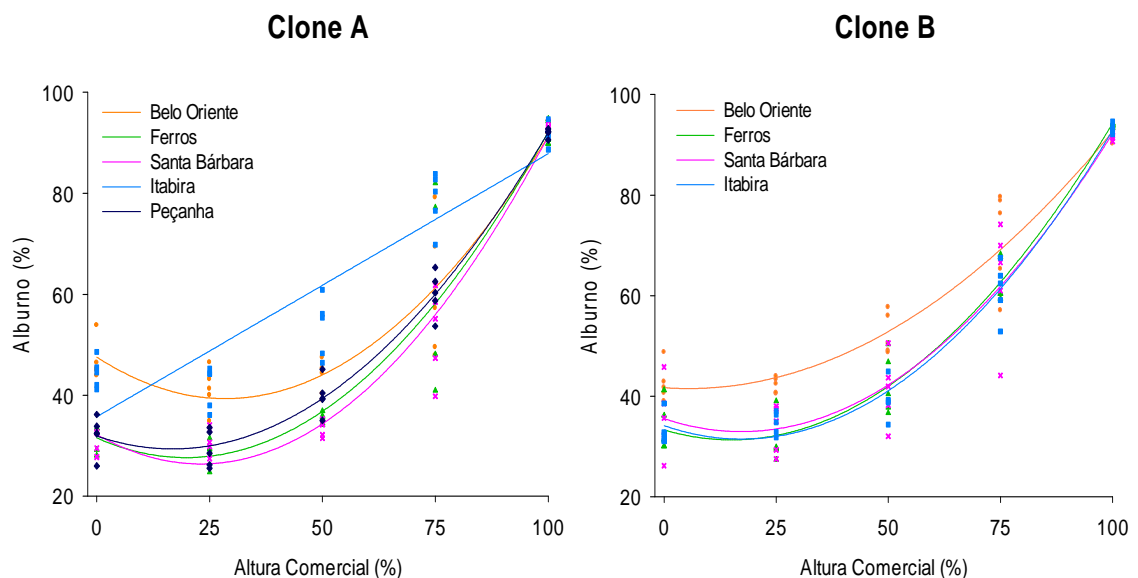


Figura 5. Teor de alburno em função da altura comercial dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Com relação ao perfil de variação no sentido longitudinal, pelo fato do percentual de alburno ter o comportamento inverso ao que anteriormente foi encontrado para o teor de cerne, o percentual de alburno decresceu da base até o nível de 25% da altura, e tornando a crescer até a posição de 100%. Esse comportamento, para as espécies de *E. grandis* x *E. urophylla*, assim como o para o híbrido entre essas espécies é comumente encontrado na literatura (OLIVEIRA et al., 1999, HASELEIN et al., 2004, GONÇALVES, 2006).

4.2 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

4.2.1 Variação no sentido longitudinal

Na Tabela 8 estão as médias de densidade básica em cinco posições equidistantes ao longo da altura comercial e também na altura do DAP para os clones A e B plantados em diferentes localidades.

Tabela 8. Densidade básica da madeira no sentido longitudinal ao tronco dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| Local | Densidade básica (g.cm ⁻³) | | | | | | |
|---------|--|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | Posições no sentido base-topo | | | | | | |
| | 0% | DAP | 25% | 50% | 75% | 100% | |
| Clone A | Belo Oriente | 0,57 a* (2,8)** | 0,53 a (2,4) | 0,53 ab (3,1) | 0,52 abc (3,0) | 0,53 a (4,7) | 0,52 a (2,2) |
| | Ferros | 0,55 a (1,4) | 0,50 ab (4,1) | 0,51 b (2,5) | 0,54 ab (2,4) | 0,54 a (3,1) | 0,52 a (2,1) |
| | S. Bárbara | 0,55 a (4,0) | 0,49 b (2,7) | 0,51 ab (1,2) | 0,51 bc (2,8) | 0,53 a (0,9) | 0,51a (1,4) |
| | Itabira | 0,54 a (1,9) | 0,51 ab (1,1) | 0,53 a (1,7) | 0,55 a (3,0) | 0,55 a (2,6) | 0,51 a (2,0) |
| | Peçanha | 0,54 a (3,8) | 0,49 b (2,7) | 0,48 c (2,2) | 0,50 c (4,2) | 0,49 b (2,6) | 0,48 b (2,8) |
| Clone B | Belo Oriente | 0,53 a (3,3) | 0,45 a (2,4) | 0,46 b (2,1) | 0,49 b (3,5) | 0,48 a (3,3) | 0,47 b (2,2) |
| | Ferros | 0,51 a (1,8) | 0,47 a (3,0) | 0,49 a (4,5) | 0,53 a (2,2) | 0,50 a (4,8) | 0,49ab (2,3) |
| | S. Bárbara | 0,52 a (3,9) | 0,47 a (1,8) | 0,47 ab (3,0) | 0,49 b (3,7) | 0,50 a (2,7) | 0,49 a (1,6) |
| | Itabira | 0,53 a (2,6) | 0,46 a (1,6) | 0,47 ab (1,6) | 0,48 b (2,8) | 0,48 a (2,3) | 0,48ab (1,4) |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Nota-se que os diferentes locais de crescimento não indicaram diferença estatística nos valores médios de densidade em todas as posições da altura comercial, ou seja, algumas posições ao longo do fuste foram menos sensíveis às diferentes condições impostas pelos diferentes sítios.

Para o clone A, apenas a densidade da base não foi influenciada pelas diferentes localidades. Os menores valores da densidade básica em todas as posições foram encontrados para as árvores da região de Peçanha. Este resultado é condizente com aqueles obtidos para volume de madeira, em que as árvores das regiões de elevadas altitudes e com baixas temperaturas apresentaram menores produtividades de madeira.

O clone B foi aquele que para as diferentes localidades obteve maior homogeneidade da densidade nas posições ao longo do fuste. Para este clone, somente para as posições de 25, 50 e 100% houve influência do local na densidade, e em 25 e 50% da altura as maiores densidades foram encontradas em Ferros, local que também obteve menores temperaturas.

Na Figura 6, a variação do comportamento da densidade básica da madeira ao longo da altura comercial pode ser melhor visualizada para os diferentes locais de crescimento.

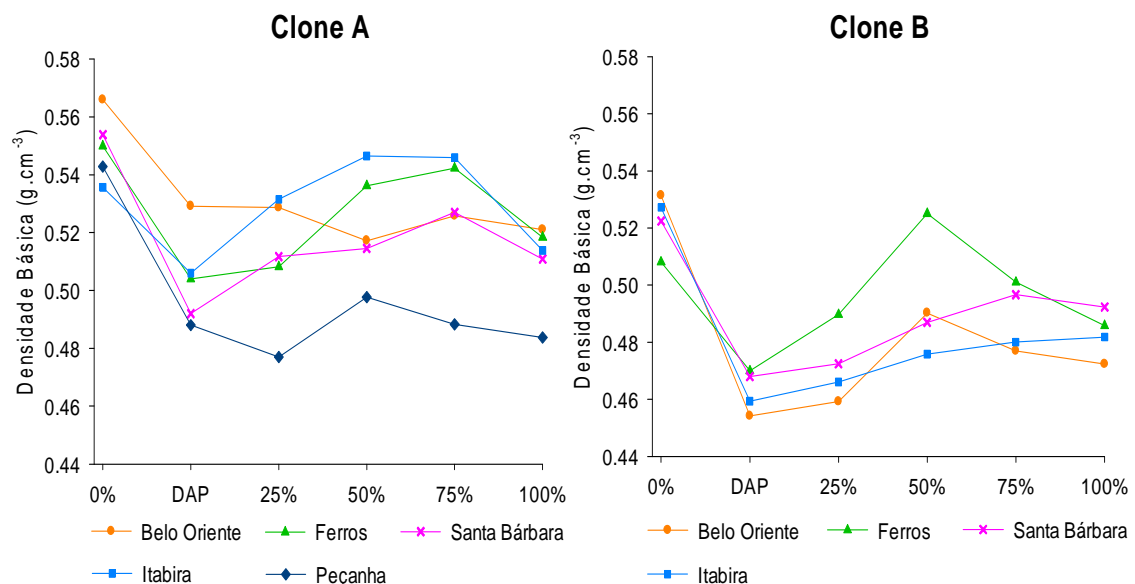


Figura 6. Densidade básica média no sentido longitudinal do tronco dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Ao observar a Figura 6, nota-se que nas diversas localidades foram obtidos comportamentos variáveis de densidade no sentido base-topo. Para o clone A, foram observados três padrões de variação para os diferentes locais de crescimento, sendo estes:

- A densidade é decrescente até o DAP, crescente até 75% e decrescente em 100% (Itabira, Ferros e Santa Bárbara);
- A densidade é decrescente até 50%, crescente em 75% e decrescente em 100% (Belo Oriente); e
- A densidade é decrescente até 25%, crescente em 50% e decrescente até 100% (Peçanha).

Para o clone B, também foram observados três padrões de variação para os diferentes locais de crescimento, sendo estes:

- A densidade é decrescente até o DAP, crescente até 75% e decrescente em 100% (Santa Bárbara);
- A densidade é decrescente até o DAP e crescente até 100% (Itabira); e
- A densidade é decrescente até o DAP, crescente até 50% e decrescente até 100% (Belo Oriente e Ferros).

Arango Alzate et al. (2005) encontraram uma variação caracterizada por decréscimo no DAP, seguido pelo aumento da densidade da base até 100% da altura comercial do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos oito anos de idade. Em árvores de *E. grandis* normalmente é encontrado um decréscimo da densidade até 25% da altura, seguido de um aumento até a posição 100% (OLIVEIRA et al., 2005; TREVISAN et al., 2012). Para os resultados encontrados por São Teago (2012), o padrão de variação de densidade para o eucalipto urograndis mais frequente foi de decréscimo na região do DAP, seguido de aumento até 50%, decrescendo novamente até 100%.

Na Figura 7 são representadas as médias de densidade básica da madeira ponderadas pelo volume dos segmentos do fuste. Dessa forma, as barras com mesma letra, para um mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade.

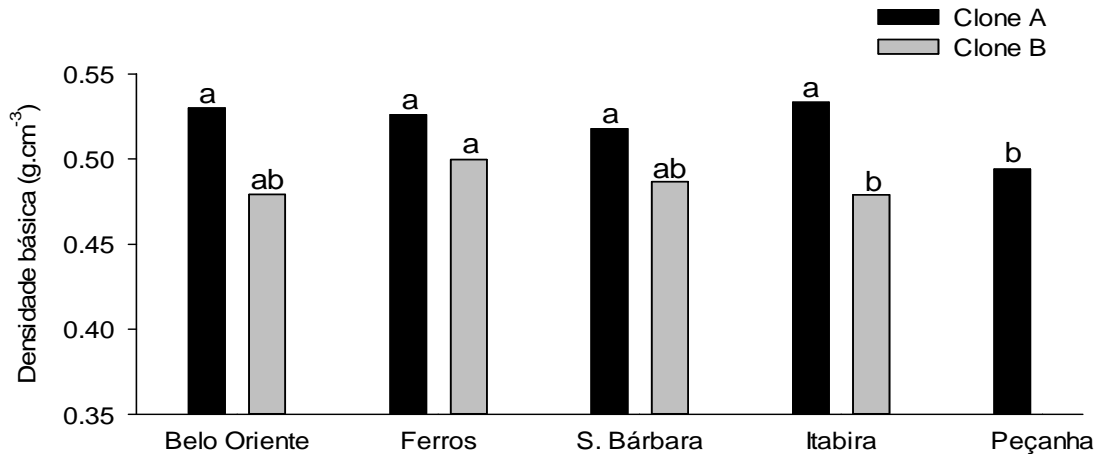


Figura 7. Densidade básica média da madeira dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Ao observar a Figura 7, nota-se que apesar dos diferentes padrões de densidade no sentido base-topo, não houve variações significativas entre a maioria dos locais.

Para o clone A, a única localidade que diferiu das demais foi Peçanha, região de alta produtividade de madeira que obteve a menor densidade básica entre os diferentes locais de crescimento. Apesar destes resultados, Peçanha foi a região com menor precipitação e umidade relativa, e ao observar o comportamento destas variáveis climáticas ao longo do ano (Anexos 1.1 e 1.4), nota-se que estas não obtiveram uma distribuição homogênea entre os meses ao longo do ano, condição esta que poderia corroborar com os menores valores de densidade obtidos para o local em questão.

Para o clone B, percebeu-se que apesar da pequena diferença em termos climáticos entre as regiões de Ferros e Itabira, os maiores valores médios anuais de precipitação e temperatura de Itabira podem ter sido suficientes para conferir uma menor densidade para a madeira produzida nesta região.

Ao comparar os clones, é possível notar que para uma mesma localidade, o clone o B foi aquele que sempre obteve as menores médias de densidade básica. A densidade básica do clone A variou de 0,49 a 0,53 g.cm⁻³ entre as localidades, e para o clone B essa variação foi de 0,47 a 0,50 g.cm⁻³. Estes valores estão dentro da faixa encontrada na literatura para o eucalipto *urograndis* (ALENCAR, 2002; TRUGILHO, 2009; SEGURA, 2012).

É importante destacar o quanto essa propriedade está relacionada com o volume de madeira. No presente estudo, ficou evidente que os resultados de um parâmetro é inversamente proporcional ao outro, ou seja, quanto maior foi o volume de madeira encontrado, menor foi a densidade.

4.2.2 Variação no sentido radial

As médias da densidade básica para distintas posições no sentido medula-casca na altura do DAP, assim como a média das quatro posições ponderada pelo percentual de área do disco ocupado pelas respectivas posições podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9. Densidade básica da madeira em quatro posições no DAP e sua média ponderada para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| Local | Densidade básica (g.cm ⁻³) | | | | | |
|---------|--|--------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| | Posições no sentido medula-casca | | | | Média | |
| | 0% | 33% | 66% | 100% | | |
| Clone A | Belo Oriente | 0,45 a* (3,4)** | 0,43 ab (7,7) | 0,51 a (6,3) | 0,59 a (6,7) | 0,51 a (2,6) |
| | Ferros | 0,42ab (4,3) | 0,43 ab (5,7) | 0,45 bc (4,4) | 0,57 a (2,5) | 0,50 ab (3,0) |
| | Santa Bárbara | 0,40 b (4,4) | 0,39 b (4,1) | 0,47 abc (7,1) | 0,56 a (4,7) | 0,49 ab (3,8) |
| | Itabira | 0,45 a (2,8) | 0,45 a (9,9) | 0,50 ab (3,4) | 0,54 a (4,4) | 0,52 a (2,2) |
| | Peçanha | 0,41b (2,9) | 0,41 ab (7,8) | 0,43 c (7,3) | 0,54 a (4,4) | 0,47 b (3,7) |
| Clone B | Belo Oriente | 0,40 a (7,0) | 0,38 a (9,3) | 0,46 a (6,4) | 0,51 ab (3,7) | 0,46 a (3,1) |
| | Ferros | 0,40 a (3,1) | 0,42 a (5,6) | 0,43 a (8,3) | 0,54 a (8,5) | 0,47 a (5,9) |
| | Santa Bárbara | 0,39 a (2,6) | 0,40 a (5,4) | 0,46 a (6,6) | 0,48 b (6,1) | 0,44 a (3,0) |
| | Itabira | 0,38 a (2,4) | 0,40 a (3,2) | 0,43 a (6,8) | 0,53 ab (4,3) | 0,46 a (3,2) |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Ao observar a Tabela 9, percebe-se que para o clone A, a densidade da posição 100% não diferiu para as diferentes localidades. Para as outras três posições do sentido radial e para a média ponderada, assim como os

resultados encontrados para o comportamento da densidade no sentido longitudinal, os maiores e menores valores de densidade básica pertenceram às regiões de Itabira e Peçanha, respectivamente.

Para o clone B, de modo contrario ao clone A, a posição 100% foi a única do sentido radial em que os diferentes locais de crescimento influenciaram na densidade básica, notando que os diferentes sítios não exerceram muita influência sobre a variação dessa propriedade no sentido medula-casca. Novamente a maior produtividade de madeira na região de Santa Bárbara em razão da maior precipitação, conferiu uma menor densidade da madeira para esta localidade, da mesma forma que a menor produtividade na região de Ferros ocasionou numa maior densidade.

Ao observar as médias de densidade ao longo do sentido radial, de maneira geral, nota-se que o padrão de variação foi de aumento dessa propriedade, ocorrido da posição da medula até a casca. Esse comportamento também foi encontrado por Oliveira e Silva (2003) para *E. saligna*, por Polli et al. (2006) para clones de *E. grandis* e por Gonçalves (2006) para clones de eucalipto *urograndis*.

4.3 DENSITOMETRIA DE RAIOS X

A partir dos valores de densidade aparente por árvore, obtidos pela densitometria de raios X na altura do DAP ao longo do sentido radial, foram determinados os valores médios da densidade aparente e do índice de uniformidade da densidade para as diferentes localidades onde os clones de eucalipto *urograndis* foram cultivados (Tabela 10).

Tabela 10. Densidade aparente média por densitometria de raios X e índice de uniformidade no sentido radial no DAP dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Densidade aparente (g.cm ⁻³) | Índice de Uniformidade |
|---------|---------------|---|------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | 0,57 b* (2,29)** | 247 a (7,13) |
| | Ferros | 0,58 b (2,23) | 223 ab (2,14) |
| | Santa Bárbara | 0,57 b (3,28) | 207 b (6,96) |
| | Itabira | 0,61a (1,52) | 212 b (9,76) |
| | Peçanha | 0,57 b (3,39) | 226 a (5,11) |
| Clone B | Belo Oriente | 0,52 a (2,97) | 202 a (4,43) |
| | Ferros | 0,54 a (5,99) | 189 ab (8,44) |
| | Santa Bárbara | 0,50 a (7,64) | 176 b (7,80) |
| | Itabira | 0,53 a (2,85) | 184 ab (5,11) |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

De acordo com a Tabela 10, e para a densidade básica, obtida pelo método de imersão (Tabela 9), nota-se que para clones plantados em uma mesma localidade, a densidade aparente do clone A foi sempre superior. Entretanto, ao se comparar as diferentes localidades para um mesmo clone, percebe-se que apenas a densidade do clone A plantado na localidade de Itabira diferiu estatisticamente das demais regiões, indicando que apesar das diferentes condições de crescimento impostas por cada sítio, a média da densidade aparente ao longo de sentido radial não foi afetada.

Oliveira (2003) relatou que a densidade aparente da madeira do gênero *Eucalyptus*, normalmente varia de 0,40 a 1,20 g.cm⁻³, podendo ser classificada como leve, média ou pesada. Para o presente estudo, foram encontrados resultados que vão de 0,50 a 0,61 g.cm⁻³, correspondentes aos clones B de Santa Bárbara e A de Itabira, respectivamente.

Utilizando a técnica de densitometria de raios X em árvores de *E. grandis* com diferentes idades, Silva (2002) encontrou para árvores com 10 anos de idade densidade aparente de 0,46 g.cm⁻³, e em árvores com 25 anos

esse valor aumentou para $0,63 \text{ g.cm}^{-3}$. Este autor encontrou ainda um comportamento crescente da densidade aparente da madeira no sentido medula-casca.

Com relação à variação radial da densidade, Ferreira e Kageyama (1978) já afirmavam que a densidade da madeira das principais espécies de eucaliptos tende a aumentar da medula para a casca.

Os perfis densitométricos da madeira para quatro das cinco árvores de cada clone estão no Apêndice 2. A partir destes foram elaboradas as curvas da variação radial da densidade aparente da madeira das árvores de cada localidade, assim como as respectivas equações das curvas de ajuste (Figura 8), permitindo melhor visualizar os padrões de variação da densidade dos clones para os diferentes locais de crescimento.

Para os diferentes locais de crescimento, apesar do perfil de variação crescente da medula até a casca para algumas árvores, o padrão geral no comportamento da densidade aparente no sentido radial, foi de pequeno decréscimo nos três primeiros centímetros, seguido de um aumento até a casca.

Para o clone B, as árvores da região de Ferros foram àquelas que obtiveram os perfis de densidade aparente mais desuniformes para uma mesma região, o que levou essa localidade a obter o pior ajuste na equação de regressão para a variação da densidade no sentido radial quando comparada às outras localidades, possuindo um R^2_{ajustado} de 0,50.

Apesar dos valores médios de densidade aparente das árvores não variar estatisticamente para os diferentes locais de crescimento, esse fato não significa que os valores de densidade obtidos ao longo do raio estejam distribuídos dentro de classes de variação da densidade, para as diferentes localidades, de forma equivalente entre estas. Essa afirmação pode ser comprovada por meio dos resultados obtidos para o cálculo do índice de uniformidade na madeira para os dois clones de eucalipto urograndis (Tabela 10).

Esse índice também pode ser considerado como um parâmetro de qualidade da madeira para as indústrias de celulose, já que quanto maior a homogeneidade da matéria prima, melhor será a qualidade da polpa produzida.

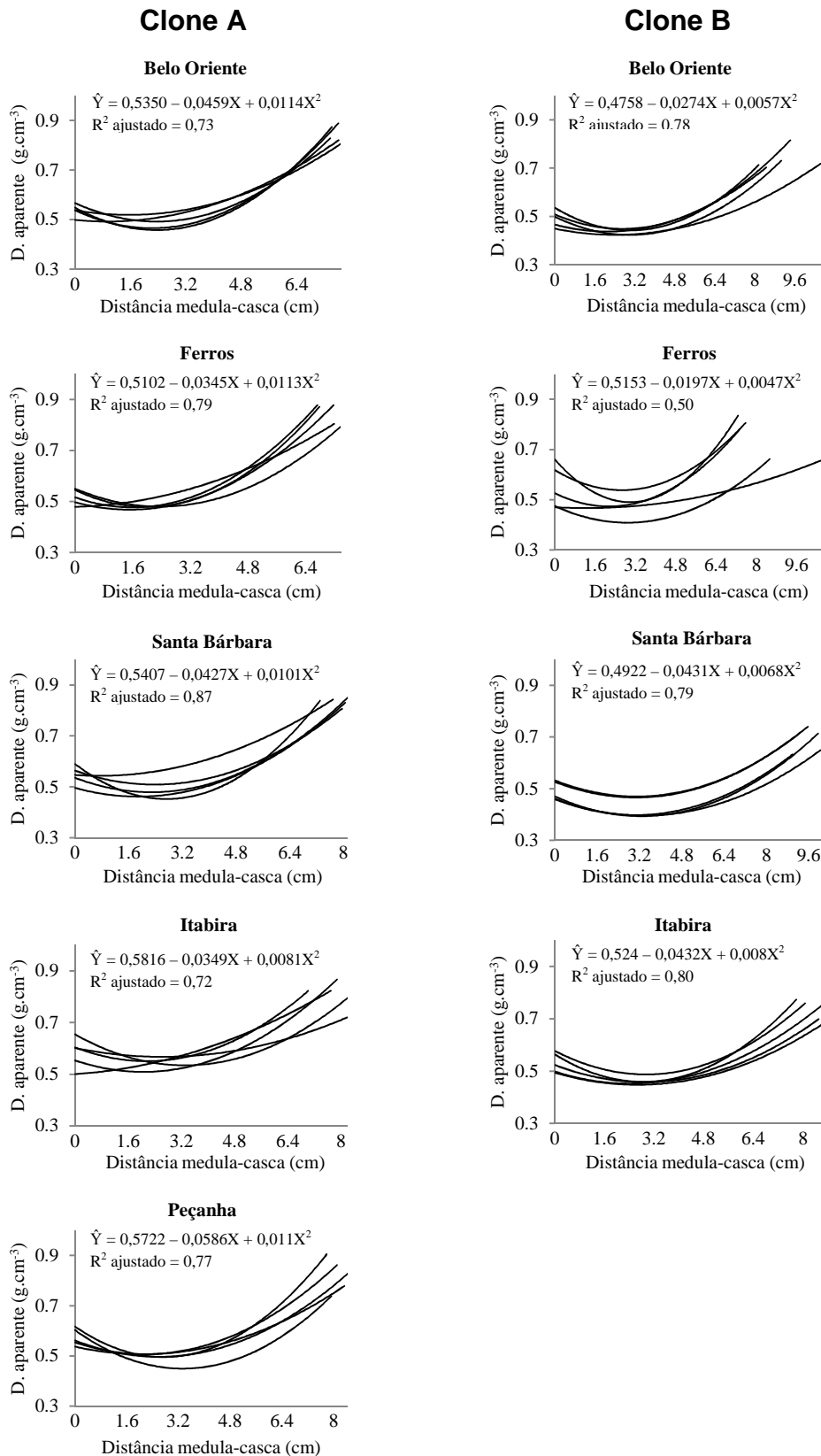


Figura 8. Variação radial da densidade aparente, equações de regressão polinomial e coeficiente de determinação ajustado em função da distância medula-casca (X) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Índices de uniformidade com valores mais próximos de 100 indicam maior homogeneidade da madeira. Ao observar a Tabela 10, nota-se que o clone A, para as diferentes localidades, foi mais heterogêneo quando comparado ao clone B.

As árvores do clone A exibiram valores médios de IU variando de 207 a 247, correspondendo às regiões de Santa Bárbara e Belo Oriente, respectivamente, no entanto, estatisticamente, as árvores mais homogêneas foram encontradas em Santa Bárbara e Itabira, e as mais heterogêneas nas regiões de Belo Oriente e Peçanha.

Os valores médios de IU obtidos para o clone B foram inferiores àqueles encontrados para o clone A, ficando entre 176 e 202 correspondendo, novamente, às regiões de Santa Bárbara e Belo Oriente, respectivamente, sendo estas, as únicas localidades que diferiram estatisticamente.

Nota-se que para os dois clones, as regiões de maior e menor valores médios de IU foram as mesmas (Belo Oriente e Santa Bárbara). Isto indica que a maior média anual de precipitação de Santa Bárbara, assim como a maior média de déficit hídrico de Belo Oriente, foram condições que influenciaram nos resultados do IU para o presente estudo. Entretanto, a distribuição destas variáveis entre os meses ao longo do ano não ocorreu de forma mais homogênea para nenhuma das diferentes localidades (Anexos 1.1 e 1.2). Uma condição homogênea de precipitação ao longo do ano, por exemplo, poderia corroborar melhor com os menores valores de IU. De modo geral, também foi observado que somente a partir dos três primeiros anos de idade que as variações climáticas ao longo do ano foram melhor refletidas no comportamento da densidade (Anexos 2 e 3).

Arango e Tamayo (2008), ao estudarem o IU em clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, com oito anos de idade, encontraram valores médios variando de 142 a 172, percebendo ainda que para árvores com menores densidades são encontrados melhores índices de uniformidade. Essa relação da densidade com o IU, de maneira geral, para o presente estudo, também foi encontrada na comparação entre os dois clones estudados. Entretanto, para um mesmo clone plantado em diferentes localidades essa relação não foi confirmada, pois notou-se para o clone A de Itabira, que este obteve o maior valor de densidade dentre as localidades, e um baixo valor de IU.

4.4 ANÁLISE ANATÔMICA DA MADEIRA

4.4.1 Frequência e diâmetro dos vasos

A variação da frequência e do diâmetro dos elementos de vaso em quatro posições no sentido radial na altura do DAP, assim como as suas respectivas médias ponderadas pelo percentual de área do disco ocupado pelas respectivas posições, para os dois clones de eucalipto urograndis plantados nas diferentes regiões, estão na Tabela 11.

A frequência de vasos é uma característica que está relacionada à qualidade da matéria prima, pois estes elementos não possuem propriedades que sejam interessantes para a produção da polpa celulósica. Por outro lado, os vasos exercem papel fundamental no processo de impregnação dos cavacos.

Ao observar a Tabela 11, nota-se que para todas as posições do sentido radial houve influência do local de crescimento na frequência de vasos para os dois clones estudados. Para o clone A, as árvores da região de Itabira, foram aquelas que exibiram maiores valores de frequência de vasos para as quatro posições. Para este mesmo clone, com exceção da posição 0%, as menores frequências de vasos pertenceram às árvores da região de Peçanha. Para o clone B, a região de Belo Oriente foi responsável por maiores valores médios de frequência de vasos para todas as posições ao longo do raio, já a região de Santa Bárbara, também para todas as posições, obteve os menores valores de frequência de vasos.

Assim como a variação no volume de madeira e nos valores de densidade para os diferentes locais de crescimento, a frequência de vasos também esteve relacionada com as características de precipitação, déficit hídrico e temperatura dos distintos locais. A região com maior precipitação produziu madeira com menor frequência de vasos, entretanto a maior frequência foi obtida nas árvores da região com menores temperaturas (clone A) e maior déficit hídrico (clone B).

Tabela 11. Frequência e diâmetro de vasos em quatro posições radiais no DAP e sua média ponderada para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| Local | Frequência de vasos (poros.mm ⁻²) | | | | | Diâmetro de vasos (µm) | | | | | |
|---------|---|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| | Posições no sentido medula-casca | | | | Média | Posições no sentido medula-casca | | | | Média | |
| | 0% | 33% | 66% | 100% | | 0% | 33% | 66% | 100% | | |
| Clone A | Belo Oriente | 15,7 c* (4,7)** | 13,1 a (4,5) | 9,7 ab (8,5) | 9,3 a (7,0) | 10,5 ab (2,9) | 76,9 a (2,5) | 83,3 b (0,7) | 93,1 b (2,0) | 99,0 b (4,5) | 92,8 b (1,4) |
| | Ferros | 17,4 cb (8,6) | 13,1 a (11,4) | 9,2 b (4,5) | 9,2 a (5,7) | 10,5 ab (6,1) | 74,5 ab (5,0) | 88,9 ab (7,0) | 113,6 a (6,3) | 118,2 a (3,2) | 108,5 a (4,8) |
| | Santa Bárbara | 19,6 ab (10,2) | 11,9 ab (5,6) | 9,3 b (6,3) | 8,8 ab (4,7) | 10,2 b (4,1) | 67,8 b (5,1) | 88,8 ab (6,6) | 104,8 a (3,7) | 121,4 a (4,1) | 106,8 a (2,0) |
| | Itabira | 20,8 a (8,2) | 13,3 a (6,3) | 10,7 a (6,6) | 9,6 a (5,7) | 11,3 a (5,0) | 69,8 b (5,3) | 89,7 ab (5,2) | 108,0 a (5,2) | 118,5 a (3,1) | 106,8 a (1,5) |
| | Peçanha | 18,7 ab (4,9) | 11,0 b (12,5) | 9,5 ab (7,1) | 7,8 b (5,4) | 9,6 b (5,2) | 72,3 ab (6,2) | 95,6 a (8,6) | 110,6 a (6,3) | 121,2 a (4,5) | 109,9 a (4,2) |
| Clone B | Belo Oriente | 17,0 a (1,5) | 11,7 ab (4,6) | 11,4 a (2,5) | 9,7 a (6,2) | 11,1 a (0,9) | 74,7 ab (2,0) | 85,2 a (3,7) | 95,6 b (0,8) | 104,0 b (0,8) | 96,0 b (0,8) |
| | Ferros | 18,0 a (13,5) | 12,0 a (11,9) | 9,8 b (8,0) | 9,5 a (8,7) | 10,5 ab (9,4) | 70,6 b (7,0) | 92,8 a (8,6) | 100,9 ab (8,4) | 110,9 b (5,2) | 101,9 b (4,8) |
| | Santa Bárbara | 12,8 b (10,3) | 10,2 b (7,2) | 9,1 b (9,3) | 8,5 b (6,4) | 9,3 c (7,7) | 84,2 a (10,9) | 97,3 a (8,9) | 111,4 a (7,1) | 119,8 a (5,2) | 110,7 a (6,9) |
| | Itabira | 16,4 b (9,0) | 10,9 b (4,2) | 9,6 b (3,7) | 8,5 b (3,3) | 9,8 bc (2,6) | 74,3 ab (9,3) | 96,3 a (7,3) | 109,5 a (3,6) | 127,5 a (2,2) | 112,7 a (3,1) |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Árvores que são plantadas em regiões que condicionam maior disponibilidade de água, desde que esta condição não afete de forma negativa o crescimento da planta, normalmente possuem menor frequência de vasos, e estes também tendem a possuir maiores diâmetros (LINDORF, 1994; DENARDI; MARCHIORI, 2005). Esta relação também foi encontrada no presente estudo, visto que para os dois clones, Santa Bárbara foi a região com menor média para frequência de vasos, e este local obteve a maior média anual de precipitação dentre as localidades estudadas.

Para a média das posições, o clone A obteve frequência de vasos variando entre 9,6 e 11,3 poros.mm⁻². Para o clone B essa variação ficou entre 9,3 e 11,1 poros.mm⁻². Para as espécies que dão origem ao híbrido eucalipto urograndis, podem ser encontrados valores muito próximos ao do presente estudo. Evangelista et al. (2010) encontraram frequência média de 9,9 poros.mm⁻² para *E. urophylla* com seis anos de idade, e Oliveira et al. (2012) encontraram frequência de 13,0 poros.mm⁻² para *E. grandis*.

Para comparar a variação da frequência de vasos no sentido radial na altura do DAP dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 12. Já o comportamento de variação no sentido radial pode ser observado na Figura 9.

Tabela 12. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da posição radial (x), para frequência de vasos como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------|---------------|---|------------------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | $\hat{Y} = 15,8605 - 0,1185x + 0,0005x^2$ | 0,91 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 17,5785 - 0,179x + 0,0009x^2$ | 0,89 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 19,4512 - 0,2691x + 0,0016x^2$ | 0,94 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 20,5577 - 0,2555x + 0,0015x^2$ | 0,94 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 18,3243 - 0,2385x + 0,0014x^2$ | 0,92 |
| Clone B | Belo Oriente | $\hat{Y} = 16,7119 - 0,1413x + 0,0007x^2$ | 0,92 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 17,8274 - 0,218x + 0,0014x^2$ | 0,84 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 12,7106 - 0,0862x + 0,0004x^2$ | 0,88 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 16,2040 - 0,1761x + 0,001x^2$ | 0,92 |

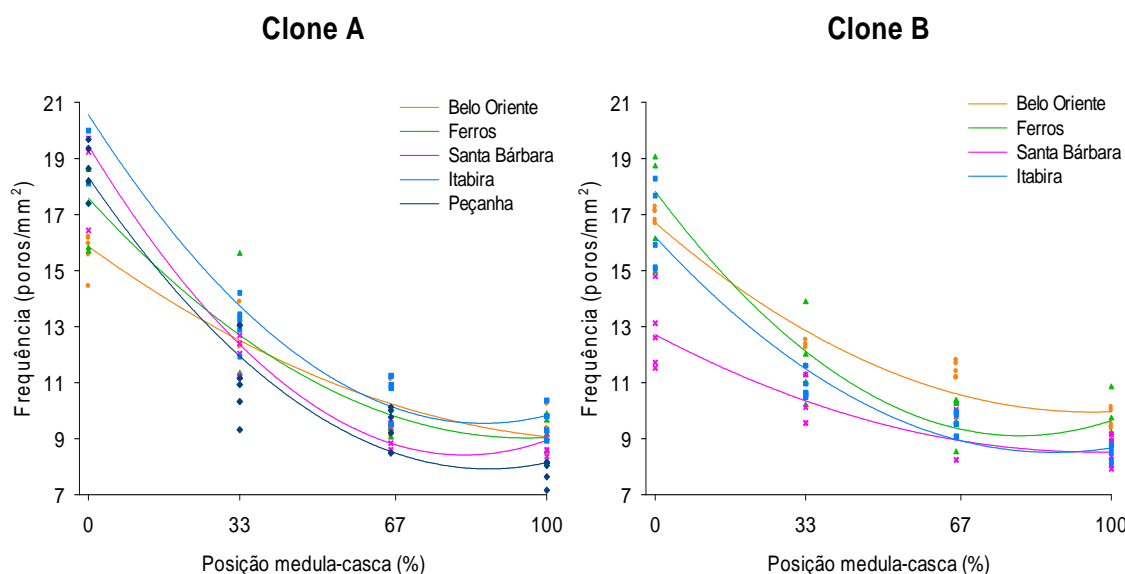


Figura 9. Frequência média dos vasos em função da posição radial para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

A frequência de vasos teve uma tendência polinomial de segundo grau significativa com respeito às posições no sentido radial do tronco dos clones em nível de significância de 5% para todos os tratamentos. Os valores do $R^2_{ajustado}$ demonstraram que as equações de regressão foram melhor ajustadas para o clone A de Santa Bárbara e Itabira, ambas possuindo $R^2_{ajustado}$ de 0,94, já o pior ajuste foi para o clone B, para a região de Ferros, sendo encontrado $R^2_{ajustado}$ de 0,84.

Conforme observado na Figura 9, o comportamento da frequência de vasos no sentido medula-casca proporcionou um mesmo padrão de variação para todas as regiões, com diminuição da frequência no sentido medula casca. Nota-se ainda que houve um decréscimo acentuado da frequência nesse sentido, com exceção do clone B da região de Santa Bárbara, que em razão das condições de precipitação deste local, o mesmo obteve desde a medula, uma menor frequência de vasos em comparação às outras regiões.

Este padrão de variação da frequência no sentido radial é bastante conhecido, inclusive podendo ser frequentemente encontrado para as espécies do gênero *Eucalyptus*. Estudos de Rocha et al. (2004) para o *E. grandis* aos sete anos de idades, Florsheim, et al. (2009) para o *E. dunnii* aos sete anos de idades, e por Santini Junior et al. (2010) ao estudarem as espécies de *E. robusta*, *E. saligna*, *E. tereticornis*, *E. torelliana* e *E. urophylla*, todos aos oito

anos de idade, também obtiveram este mesmo perfil de variação em seus respectivos trabalhos, em que ocorre essa diminuição da frequência de vasos no sentido medula-casca.

O diâmetro dos vasos também é uma característica que merece destaque, pois em termos de qualidade, uma alta porcentagem destes elementos com grandes dimensões podem influenciar de forma negativa nas propriedades da polpa celulósica, e conseqüentemente na qualidade do produto final. Um exemplo clássico dessa influência está relacionado aos papeis de impressão, em que os vasos de grande diâmetro tendem a ser arrancados da superfície da folha durante a operação de impressão.

Assim como a frequência, o diâmetro dos vasos também foi influenciado pelos diferentes locais de crescimento. O diâmetro de vaso tem forte relação com a frequência dos mesmos, de forma que madeiras com maiores diâmetros para estes elementos tendem a possuir menores frequências dos mesmos. Essa relação foi melhor evidenciada para o clone B, em que as árvores da região de Santa Bárbara foram àquelas que obtiveram a menor frequência e conseqüentemente um maior diâmetro de vasos dentre os locais de crescimento estudados para todas as posições do sentido radial.

Para o clone A, com exceção da posição 0%, os menores diâmetros de vasos foram encontrados nas árvores da região de Belo Oriente, fato este que levou essa localidade a possuir a menor média para este parâmetro dentre as distintas regiões. Mas na relação com a frequência, as árvores dessa região proporcionaram um valor médio que não diferiu estatisticamente do maior e menor valor encontrados para as demais localidades.

Nota-se também uma relação destes elementos com a densidade da madeira, em que árvores com maiores diâmetros de vasos tendem a possuir menores densidades. Relação esta que novamente é melhor percebida para o clone B, podendo ser corroborada com o estudo realizado por Queiroz (2002) em dois clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* com idade de seis anos, encontrando para o clone de maior densidade, diâmetro de 116 μm , e para o clone de menor densidade, diâmetro de 124 μm .

Para comparar a variação do diâmetro de vasos no sentido radial na altura do DAP dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas

equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 13. Já o comportamento de variação no sentido radial pode ser observado na Figura 10.

Tabela 13. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da posição radial (x), para o diâmetro dos vasos como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------|---------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | $\hat{Y} = 76,7316 + 0,2281x$ | 0,91 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 75,5698 + 0,4668x$ | 0,87 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 69,3255 + 0,5306x$ | 0,95 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 71,9434 + 0,4934x$ | 0,93 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 75,7942 + 0,4848x$ | 0,87 |
| Clone B | Belo Oriente | $\hat{Y} = 75,1829 + 0,295x$ | 0,97 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 74,5617 + 0,3869x$ | 0,79 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 85,1541 + 0,3621x$ | 0,76 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 76,0599 + 0,5193x$ | 0,93 |

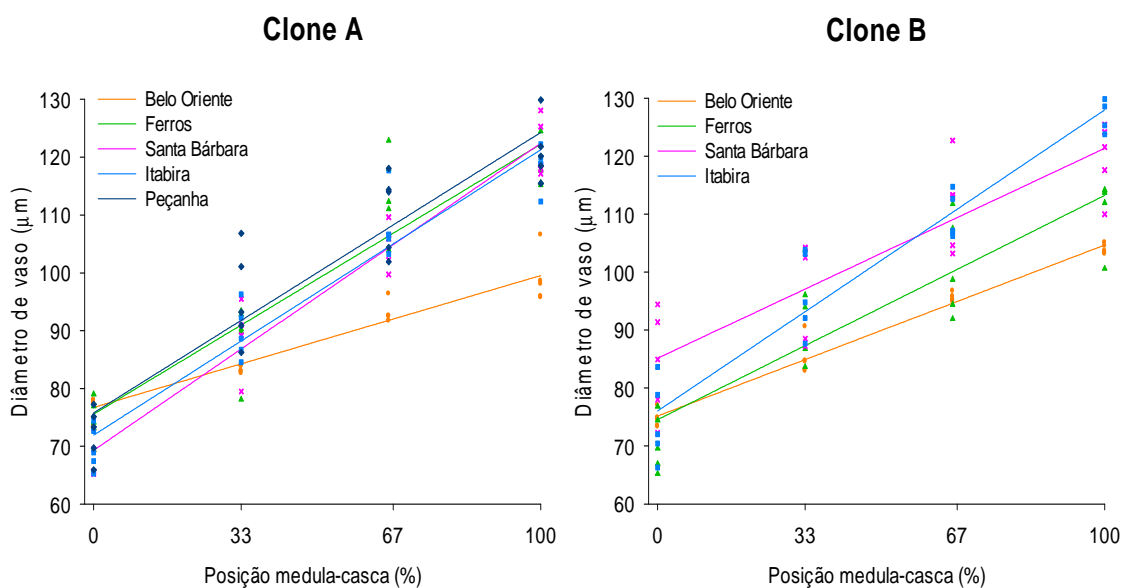


Figura 10. Diâmetro médio dos vasos em função da posição radial para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Os diâmetros dos vasos tiveram uma tendência linear significativa com respeito às posições no sentido radial do tronco dos clones com nível de significância de 5% para todos os tratamentos. Os valores do R²_{ajustado}

demonstraram que a equação de regressão que obteve melhor ajuste foi para o clone B de Belo Oriente, possuindo R^2_{ajustado} de 0,97, já o pior ajuste também foi para o clone B, entretanto, para a região de Santa Bárbara, sendo encontrado R^2_{ajustado} de 0,76.

Com relação ao padrão de variação do diâmetro dos vasos, nota-se o comportamento no sentido medula-casca é inversamente proporcional à frequência, de forma que o diâmetro tende a aumentar à medida que se afasta da medula.

Ao observar a Figura 10, percebe-se que para o clone A, a região de Belo Oriente foi àquela que mais se diferenciou com relação ao comportamento do perfil de variação do diâmetro para os diferentes locais de crescimento. Para os dois clones, Belo Oriente se diferenciou das demais por possuir os menores diâmetros de vasos ao longo do sentido radial, e também por obter um menor intervalo de variação nos diâmetros entre as posições da medula (0%) e da casca (100%).

Além do padrão, o intervalo de variação do diâmetro dos vasos no sentido radial foi coerente com outros trabalhos já realizados, como por exemplo, o estudo de Evangelista et al. (2010), que também encontraram um aumento no diâmetro das vasos da medula pra a casca, em *E. urophylla* aos seis anos de idade, obtendo um valor médio inicial de 86,3 μm para o diâmetro da posição 0%, chegando aos 132,1 μm para a posição 100%.

4.4.2 Dimensões das fibras

Os valores médios de largura, diâmetro do lume e espessura de parede da fibra em quatro posições do sentido radial na altura do DAP, assim como as suas respectivas médias ponderadas pelo percentual de área do disco ocupado por cada posição, para os dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla* nas diferentes localidades, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Largura, diâmetro do lume e espessura de parede da fibra em quatro posições radiais no DAP e suas respectivas médias ponderadas para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| Local | Largura da fibra (µm) | | | | | Diâmetro do lume (µm) | | | | | Espessura da parede (µm) | | | | | |
|---------|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------------|
| | Posições medula-casca | | | | Média | Posições medula-casca | | | | Média | Posições medula-casca | | | | Média | |
| | 0% | 33% | 66% | 100% | | 0% | 33% | 66% | 100% | | 0% | 33% | 66% | 100% | | |
| Clone A | Belo Oriente | 22,0a* (2,4)** | 22,1ab (5,2) | 22,6bc (2,8) | 22,6bc (4,4) | 22,5bc (1,9) | 14,3a (5,7) | 13,2a (10,4) | 10,4bc (8,0) | 8,7b (12,5) | 10,4ab (3,7) | 4,1b (3,5) | 4,4b (7,3) | 5,9ab (3,8) | 6,7a (2,3) | 5,8b (2,8) |
| | Ferros | 21,8a (2,0) | 22,3ab (4,1) | 24,5a (5,4) | 24,1ab (2,9) | 23,7a (2,8) | 12,4b (4,3) | 12,1ab (7,0) | 13,2a (8,8) | 9,8ab (5,9) | 11,5a (3,6) | 4,7a (2,0) | 5,1a (2,3) | 5,6b (2,5) | 7,1a (4,6) | 6,1ab (2,4) |
| | Santa Bárbara | 21,6a (3,0) | 23,5a (4,4) | 24,0ab (2,4) | 24,8a (2,6) | 24,1a (1,9) | 12,4b (6,2) | 13,3a (6,1) | 11,9ab (7,9) | 10,5ab (16,6) | 11,6a (6,2) | 4,6ab (4,0) | 5,1a (8,5) | 6,1a (5,1) | 7,2a (8,2) | 6,3a (3,1) |
| | Itabira | 19,4b (5,3) | 20,3b (9,4) | 21,0c (5,0) | 22,1c (3,2) | 21,2c (4,4) | 10,6c (3,1) | 10,1b (16,3) | 9,1c (9,1) | 8,8ab (5,2) | 9,3b (4,7) | 4,5ab (12,7) | 5,2a (5,9) | 5,9ab (4,5) | 6,6a (4,0) | 6,0ab (4,3) |
| | Peçanha | 21,1a (2,4) | 22,2ab (3,9) | 23,2ab (1,0) | 24,4a (4,9) | 23,4ab (1,4) | 12,4b (5,6) | 12,6a (9,5) | 12,0ab (6,5) | 10,8a (9,6) | 11,6a (5,5) | 4,4ab (3,8) | 4,8ab (5,1) | 5,8ab (4,0) | 6,8a (2,2) | 6,0ab (1,8) |
| Clone B | Belo Oriente | 20,4a (7,0) | 22,0a (5,1) | 22,6a (4,7) | 22,9a (4,3) | 22,5a (3,5) | 12,8a (11,3) | 13,6a (6,7) | 12,2a (7,9) | 10,6ab (8,5) | 11,8a (5,1) | 3,8b (2,5) | 4,2c (3,6) | 5,2b (3,2) | 6,1b (3,3) | 5,3b (1,6) |
| | Ferros | 20,9a (4,1) | 22,2a (8,1) | 22,7a (8,7) | 23,0a (3,5) | 22,6a (5,3) | 12,0a (5,9) | 12,1ab (7,0) | 11,1a (13,8) | 8,8b (6,9) | 10,4b (5,5) | 4,4a (4,4) | 4,9ab (5,3) | 5,8a (6,2) | 7,1a (4,7) | 6,1a (4,4) |
| | Santa Bárbara | 21,4a (1,9) | 21,7a (5,3) | 22,0a (3,8) | 23,8a (7,4) | 22,7a (1,9) | 12,6a (2,4) | 12,4ab (7,4) | 12,1a (5,3) | 12,2a (13,3) | 12,3a (1,3) | 4,4a (2,9) | 4,6b (3,8) | 5,0b (8,9) | 5,8b (4,3) | 5,2b (3,9) |
| | Itabira | 20,6a (3,3) | 21,2a (5,5) | 22,7a (5,1) | 24,0a (5,8) | 22,9a (3,9) | 11,9 a (3,1) | 11,2b (7,5) | 10,6a (11,7) | 10,1b (5,3) | 10,6b (4,5) | 4,3a (5,2) | 5,0a (4,3) | 6,0a (6,3) | 7,0a (6,8) | 6,2a (4,9) |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Ao observar a Tabela 14, nota-se que para o clone A houve influência dos diferentes sítios na largura das fibras, tendo as árvores da região de Itabira obtido as menores médias nas quatro posições do sentido radial. Mais uma vez apontando para o fato de que as baixas temperaturas dessa região também influenciaram para estas menores dimensões na largura da fibra. Para os maiores valores com relação a este parâmetro, nenhuma das localidades se destacou a ponto de diferir estatisticamente das demais regiões que também exibiram as maiores médias para largura de fibra.

Para o clone B, os valores médios de largura da fibra nas quatro posições do sentido radial, assim como a média destas, não diferiu estatisticamente entre nenhum dos distintos locais de crescimento, ou seja, as condições de crescimento dos diferentes sítios não influenciaram de forma significativa na largura da fibra.

Para as diferentes regiões, os dois clones estudados obtiveram na média das quatro posições para a largura das fibras, valores variando entre 21,2 e 24,1 μm . Os resultados encontrados para as dimensões de largura das fibras são coerentes com os resultados encontrados por Arango Alzate (2004), Evangelista (2010), Silva (2011), que a exemplo do presente estudo, também trabalharam com clones de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Para comparar a variação da largura das fibras ao longo do sentido radial na altura do DAP dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 15. Já o comportamento de variação ao longo do sentido radial pode ser observado na Figura 11.

Ao observar a Figura 11, percebe-se que o padrão de variação da largura da fibra no sentido radial indica uma tendência do aumento dessa dimensão a medida que se aproxima da casca.

A largura da fibra teve uma tendência linear significativa com relação às posições no sentido radial do tronco para os distintos tratamentos, com nível de significância de 5%. A única exceção foi para o clone A da região de Belo Oriente, em que a equação de regressão linear foi não significativa.

Tabela 15. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da posição radial (x), para a largura das fibras como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------------|---------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Belo Oriente* | | | |
| Clone A | Ferros | $\hat{Y} = 21,8063 + 0,027x$ | 0,49 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 21,9237 + 0,031x$ | 0,69 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 19,3823 + 0,0264x$ | 0,40 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 21,0987 + 0,0327x$ | 0,73 |
| Belo Oriente | | | |
| Clone B | Ferros | $\hat{Y} = 20,7707 + 0,0245x$ | 0,38 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 21,1348 + 0,0209x$ | 0,22 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 21,1012 + 0,0225x$ | 0,33 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 20,3961 + 0,0352x$ | 0,59 |

* Equação da regressão linear não significativa ao nível de 5% de probabilidade.

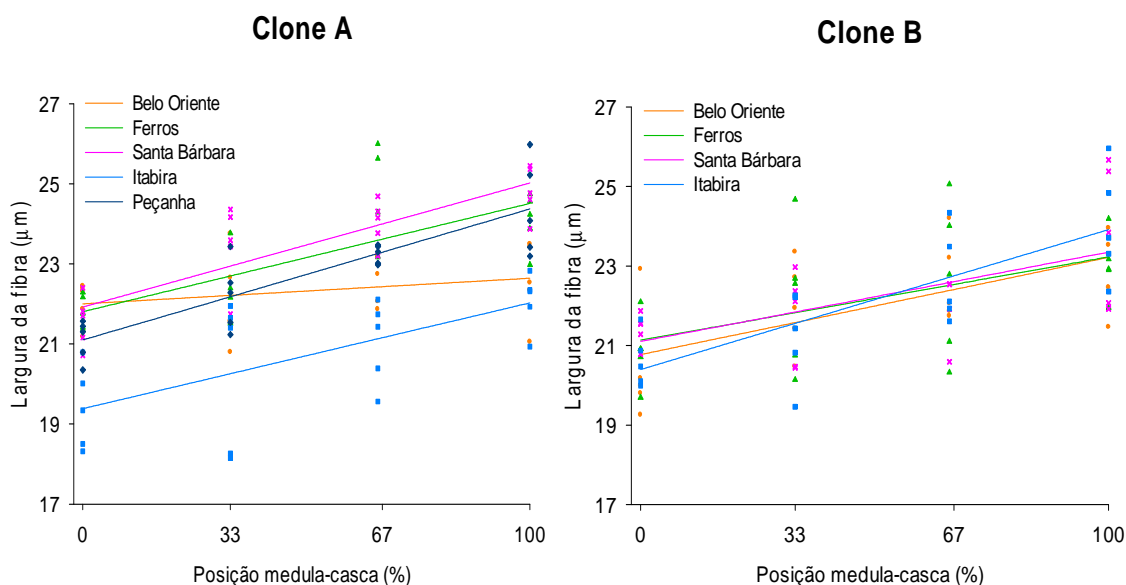


Figura 11. Largura média das fibras em função da posição radial para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

Os valores do R²_{ajustado} indicaram que para esse parâmetro, as equações de regressão não obtiveram um bom ajuste em razão dos baixos valores encontrados. O pior ajuste foi para o clone B da região de Ferros, possuindo R²_{ajustado} de 0,22, já o melhor ajuste foi do clone B para a região de Peçanha, sendo encontrado R²_{ajustado} de 0,73.

Na Figura 11 também fica evidente a homogeneidade no padrão de variação da largura da fibra para o clone B entre os diferentes locais de crescimento, assim como os menores valores encontrados para o clone A na região de Itabira.

As menores dimensões para a largura das fibras encontradas para o clone A de Itabira ajudam a explicar os maiores valores de densidade e menores volumes de madeira para as árvores desta região. Ao estudar um clone do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* com sete anos de idade, Silva (2011) encontrou que na região de alta produtividade de madeira a largura média de fibra foi de 17,47 μm , e para a região de baixa produtividade a largura média foi de 15,47 μm , resultados que corroboram com o presente estudo.

O diâmetro do lume das fibras também é uma medida importante, podendo ser utilizada em cálculos para índices de qualidade da madeira, como o coeficiente de flexibilidade, que representa a porcentagem da largura ocupada pelo diâmetro do lume.

Para o clone A, os diferentes sítios influenciaram no diâmetro do lume das fibras, e novamente as árvores da região de Itabira foram aquelas que obtiveram as menores médias nas quatro posições do sentido radial, resultados que corroboram com os valores encontrados para largura da fibra, pois esta região foi aquela que obteve as fibras mais estreitas. Para os maiores valores com relação a este parâmetro, nenhuma das localidades se destacou a ponto de diferir estatisticamente das demais regiões que também obtiveram as maiores médias para largura de fibra.

Para o clone B, apenas para as posições de 33 e 100% houve diferença nos valores médios do diâmetro de lume das fibras. Na posição 33%, com valor de 13,6 μm para diâmetro de lume, o maior valor foi encontrado na região de Belo Oriente. Na posição 100% o maior valor de diâmetro de lume (12,2 μm) foi encontrado na região de Santa Bárbara. Na média das quatro posições, Belo Oriente e Santa Bárbara também foram as regiões com os maiores valores médios.

Nos dois clones ficou evidente a relação do diâmetro de lume das fibras com o volume e densidade da madeira obtidos nos diferentes locais de crescimento. Árvores com menor volume de madeira e maior densidade possuem fibras com menores diâmetros de lume, e de modo contrário, fibras

de maiores diâmetros de lume foram encontradas em árvores com maior volume de madeira e menor densidade. Essa relação também ficou evidente no estudo realizado por Silva (2011) para o híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos.

Entre as localidades estudadas, o diâmetro de lume variou entre 9,3 e 11,6 µm para o clone A, e 10,4 e 12,3 µm para o clone B. Estes valores estão de acordo com os resultados encontrados por Almeida (2003) e Mauri (2010) para clones de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos.

Para comparar a variação do diâmetro de lume das fibras no sentido radial na altura do DAP dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 16. Já o comportamento de variação no sentido radial pode ser observado na Figura 12.

Tabela 16. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da posição radial (x), para diâmetro do lume das fibras como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------|----------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | $\hat{Y} = 14,5915 - 0,0591x$ | 0,82 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 12,8854 - 0,0203x$ | 0,23 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 13,0741 - 0,0213x$ | 0,27 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 10,6071 - 0,0188x$ | 0,36 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 12,7293 - 0,0161x$ | 0,26 |
| Clone B | Belo Oriente | $\hat{Y} = 13,5145 - 0,0240x$ | 0,35 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 12,5680 - 0,0315x$ | 0,53 |
| | Santa Bárbara* | | |
| | Itabira | $\hat{Y} = 11,8681 - 0,0182x$ | 0,43 |

* Equação da regressão linear não significativa ao nível de 5% de probabilidade.

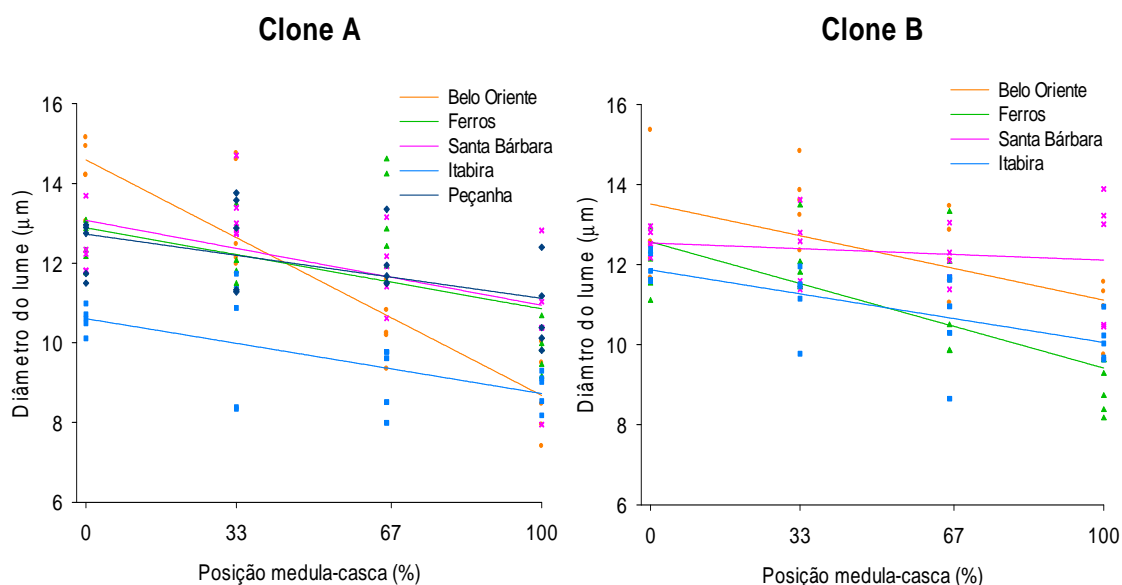


Figura 12. Diâmetro médio do lume das fibras em função da posição radial para os clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos nos diferentes locais de crescimento.

Com exceção do clone B da localidade de Santa Bárbara, que não foi possível ajustar uma equação de regressão que fosse significativa, os diâmetros de lume das fibras possuem tendência linear significativa com respeito às posições no sentido radial do tronco, com nível de significância de 5% para os tratamentos.

Os valores do $R^2_{ajustado}$ indicaram que para esse parâmetro, as equações de regressão, para a maioria dos casos, não obtiveram um bom ajuste, em razão dos baixos valores encontrados. O pior ajuste foi para o clone B das regiões de Ferros e Santa Bárbara, ambas possuindo $R^2_{ajustado}$ igual a 0,23, já o melhor ajuste também foi do clone A, entretanto para a região de Belo Oriente, sendo encontrado $R^2_{ajustado}$ igual a 0,82.

Ao observar a Figura 12, é possível notar que para o clone A a região de Belo Oriente foi aquela que obteve a maior variação no diâmetro de lume da fibra ao longo do sentido radial, e nas árvores da região de Itabira observou-se que o diâmetro do lume foi o menor entre os diferentes locais. Para o clone B, o destaque vai para a homogeneidade no diâmetro do lume ao longo do sentido radial para as árvores de Santa Bárbara, região com maior média de precipitação anual.

O diâmetro do lume geralmente também está relacionado com a espessura de parede da fibra, de forma que para uma mesma espécie, células

com menores diâmetros de lume, normalmente, tendem a terem maiores espessuras de parede.

A espessura da parede das fibras é outra informação extremamente importante para as indústrias de celulose e papel, pois trata-se de uma característica relevante para o produto que será obtido a partir da celulose. Células de paredes muito espessas, por exemplo, além da alta densidade, sendo esta, uma característica que pode influenciar negativamente no processo de polpação, estas fibras também tendem a gerar um papel de menor resistência mecânica, pois após o desfibramento, tais células mantêm em alta proporção a sua forma tubular, gerando pouca área de contato entre as mesmas (BURGER; RICHTER, 1991).

Para o clone A, a espessura da parede da fibra na posição 100% não sofreu influência do local de crescimento. Nas posições 0 e 33%, assim como para a média das quatro posições de sentido radial, Belo Oriente foi a região que obteve os menores valores para espessura de parede. A maior média para as quatro posições no sentido radial foi para a região de Santa Bárbara.

Para o clone B, houve diferença entre as médias de espessura de parede para os diferentes locais de crescimento nas quatro posições do sentido radial. Belo Oriente, novamente foi o local de crescimento com os menores valores de espessura de parede, e diferentemente do clone A, Santa Bárbara foi a região que exceto para a posição 0%, obteve os menores valores de espessura da parede da fibra ao longo do sentido radial.

A partir destes resultados, percebe-se que para os dois clones, o maior déficit hídrico anual para Belo Oriente não foi um fator limitante ao ponto de impedir que as árvores dessa região produzissem fibras com as menores espessuras de parede dentre as regiões estudadas. Assim como a maior precipitação anual de Santa Bárbara também não impediu que as fibras dessa localidade fossem as mais espessas.

A espessura de parede é uma característica da fibra que assim como o diâmetro do lume, normalmente, se encontra relacionada com a densidade da madeira. Espécies com madeira de alta densidade tendem a possuir menores diâmetros de lume e maiores espessuras para a parede das fibras, ocasionando em menores espaços vazios na madeira, o que conseqüentemente proporciona uma maior densidade para a madeira. Esta

relação foi observada apenas para o clone B, em que a região com árvores de menores densidades ao longo do sentido radial (Santa Bárbara), apesar de não diferirem estatisticamente das outras localidades, foram àquelas que obtiveram os menores valores de espessura de parede, assim como na região em que as árvores de maiores densidades no sentido radial (Ferros), também obtiveram fibras com paredes mais estreitas. Ao estudar clones de eucalipto *urograndis* aos seis anos, Queiroz (2002) encontrou espessura da parede igual a 3,83 μm para o clone com menor densidade, e 5,11 μm para o clone de maior densidade.

Para os diferentes sítios, a média da espessura da parede da fibra ficou entre 5,8 e 6,3 μm para o clone A, e entre 5,2 e 6,2 μm para o clone B. Os valores de espessura da parede da fibra do presente estudo estão um pouco acima dos resultados obtidos por Almeida (2003), Gomide et al. (2005) e Silva (2011).

Para comparar a variação da espessura de parede das fibras no sentido radial na altura do DAP dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 17. Já o comportamento de variação no sentido radial pode ser observado na Figura 13.

Tabela 17. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da posição radial (x), para espessura de parede das fibras como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------|---------------|------------------------------|------------------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | $\hat{Y} = 3,8612 + 0,0285x$ | 0,92 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 4,4618 + 0,0237x$ | 0,87 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 4,4306 + 0,0261x$ | 0,85 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 4,4876 + 0,0211x$ | 0,84 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 4,2049 + 0,0249x$ | 0,94 |
| Clone B | Belo Oriente | $\hat{Y} = 3,6281 + 0,0243x$ | 0,95 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 4,2323 + 0,0266x$ | 0,89 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 4,2802 + 0,0134x$ | 0,74 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 4,2628 + 0,0267x$ | 0,91 |

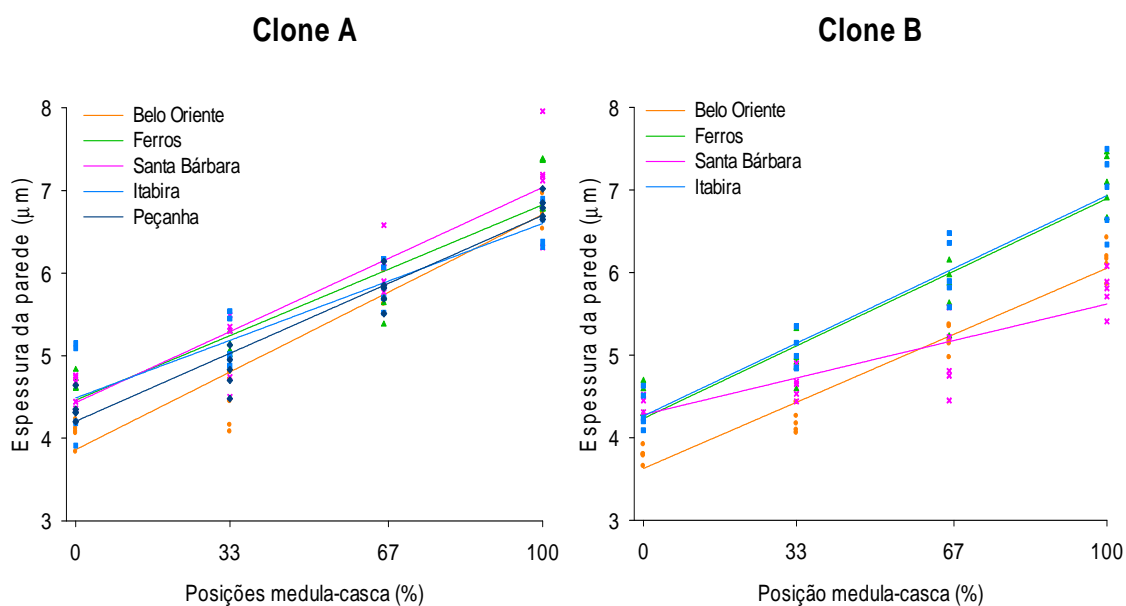


Figura 13. Espessura média de parede das fibras em função da posição radial para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

A variação da espessura de parede das fibras exibiram uma tendência linear significativa com respeito às posições no sentido radial do tronco dos clones com nível de significância de 5% para todos os tratamentos. Os valores do $R^2_{ajustado}$ indicaram que a equação de regressão que obteve melhor ajuste foi para o clone B de Belo Oriente, possuindo $R^2_{ajustado}$ de 0,95, já o pior ajuste também foi para o clone B, entretanto, para a região de Santa Bárbara, sendo encontrado $R^2_{ajustado}$ de 0,74.

O comportamento da espessura de parede da fibra no sentido radial, como pode ser observado na Figura 13, indica uma tendência do aumento desta à medida que se aproxima da casca. Nota-se ainda que para o clone B da região de Santa Bárbara houve uma menor variação da espessura da parede ao longo do raio em comparação as outras localidades, o que comprova uma maior homogeneidade da madeira, refletindo positivamente na qualidade da polpa.

Ao estudar cinco espécies do gênero *Eucalyptus*, Santini Junior et al. (2010) também encontraram esse padrão de variação em que ocorre o aumento da espessura de parede a medida que se aproxima da casca, com valores médios de 4,17 μm para a posição da medula e 5,08 μm para a posição próxima a casca. No entanto, ao observar a Figura 13, nota-se que o intervalo

de variação no sentido medula-casca foi maior para o presente estudo, corroborando com os resultados encontrados por Arango Alzate (2004) para eucalipto urograndis aos oito anos de idade.

O comprimento da fibra, assim como a espessura de parede, trata-se de uma característica de grande importância para a qualidade da polpa, uma vez que o comprimento também pode estar relacionado com as propriedades de resistência do papel, pois fibras mais compridas representam maior resistência.

Na Tabela 18 estão os valores de comprimento da fibra em quatro posições do sentido radial na altura do DAP, assim como a sua média ponderada pelo percentual de área do disco ocupado por cada posição, para os dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla* nas diferentes localidades.

Tabela 18. Comprimento da fibra em quatro posições radiais no DAP e sua média ponderada para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| Local | Comprimento de fibra (μm) | | | | Média | |
|---------|--|--------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|
| | Posições medula-casca | | | | | |
| | 0% | 33% | 66% | 100% | | |
| Clone A | Belo Oriente | 835 ab* (3,4)** | 998 ab (2,7) | 1160 ab (1,4) | 1268 b (2,6) | 1157 b (1,4) |
| | Ferros | 794 b (3,2) | 981 b (1,7) | 1184 ab (4,4) | 1316 ab (2,9) | 1179 ab (2,2) |
| | Santa Bárbara | 850 ab (3,2) | 1028 ab (2,5) | 1207 a (2,3) | 1362 a (0,8) | 1219 a (1,4) |
| | Itabira | 891 a (5,5) | 1047 a (4,3) | 1215 a (2,4) | 1278 ab (4,4) | 1191 ab (2,3) |
| | Peçanha | 841 ab (1,9) | 981 b (1,7) | 1139 b (1,3) | 1327 ab (5,1) | 1173 ab (2,0) |
| Clone B | Belo Oriente | 913 a (4,7) | 1055 a (3,8) | 1234 a (2,0) | 1347 a (2,9) | 1230 a (2,0) |
| | Ferros | 869 a (5,2) | 1030 a (8,4) | 1168 a (6,3) | 1312 a (4,4) | 1187 a (5,5) |
| | Santa Bárbara | 915 a (5,3) | 1078 a (7,8) | 1212 a (2,7) | 1352 a (3,4) | 1230 a (4,3) |
| | Itabira | 925 a (2,6) | 1043 a (5,4) | 1249 a (2,5) | 1382 a (1,5) | 1248 a (1,8) |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Ao analisar a Tabela 18, nota-se o quanto o comprimento de fibra diferiu entre as localidades para as posições do sentido radial com relação ao clone A. As maiores médias de comprimento de fibra para as posições de 0, 33 e 67% pertenceram à localidade de Itabira, já a maior média em 100% foi para a região de Santa Bárbara. As menores médias de comprimento de fibra nas posições 0 e 33%, pertenceram à localidade de Ferros, na posição 67% foi para região de Peçanha, e em 100% para a localidade de Belo Oriente. Para o clone B, nenhuma das médias de comprimento de fibra, para as quatro posições do sentido radial, diferiu estatisticamente entre as distintas localidades.

Quanto ao efeito das condições climáticas, nota-se que para o clone A, a região com maior precipitação (Santa Bárbara) foi aquela que obteve a maior média para comprimento de fibra, assim como a região de maior déficit hídrico (Belo Oriente) proporcionou o menor comprimento dentre as localidades estudadas. Entretanto, para o clone B, estas mesmas localidades obtiveram exatamente a mesma média, mais uma vez indicando o quanto este clone é menos sensível às variações climáticas dos diferentes locais de crescimento.

A média das posições do sentido radial para as diferentes localidades ficou entre 1157 e 1219 μm para o clone A, e entre 1187 e 1248 μm para o clone B. Resultados que são corroborados com o estudo realizado por Duarte (2007), que encontrou comprimento médio de fibra igual a 1190 μm para eucalipto urograndis aos seis anos de idade. Entretanto, Silva (2011) obteve menores comprimentos de fibra para o mesmo híbrido aos sete anos de idade cultivados em dois locais de crescimento distintos, com valores médios de 930 e 1000 μm .

Para comparar a variação do comprimento das fibras no sentido radial na altura do DAP dos clones plantados nas diferentes regiões, foram ajustadas equações de regressão que podem ser visualizadas na Tabela 19. Já o comportamento de variação no sentido radial pode ser observado na Figura 14.

Tabela 19. Equações de regressão e coeficiente de determinação ajustado em função da posição radial (x), para o comprimento das fibras como variável dependente (Y) dos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Equação | R ² _{ajustado} |
|---------|---------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Clone A | Belo Oriente | $\hat{Y} = 847,4086 + 4,3809x$ | 0,97 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 804,4239 + 5,3131x$ | 0,96 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 855,8432 + 5,1444x$ | 0,98 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 909,4421 + 3,9839x$ | 0,89 |
| | Peçanha | $\hat{Y} = 830,2365 + 4,8569x$ | 0,96 |
| Clone B | Belo Oriente | $\hat{Y} = 915,9534 + 4,4474x$ | 0,95 |
| | Ferros | $\hat{Y} = 875,2248 + 4,4127x$ | 0,87 |
| | Santa Bárbara | $\hat{Y} = 923,6918 + 4,3393x$ | 0,90 |
| | Itabira | $\hat{Y} = 914,6210 + 4,7315x$ | 0,95 |

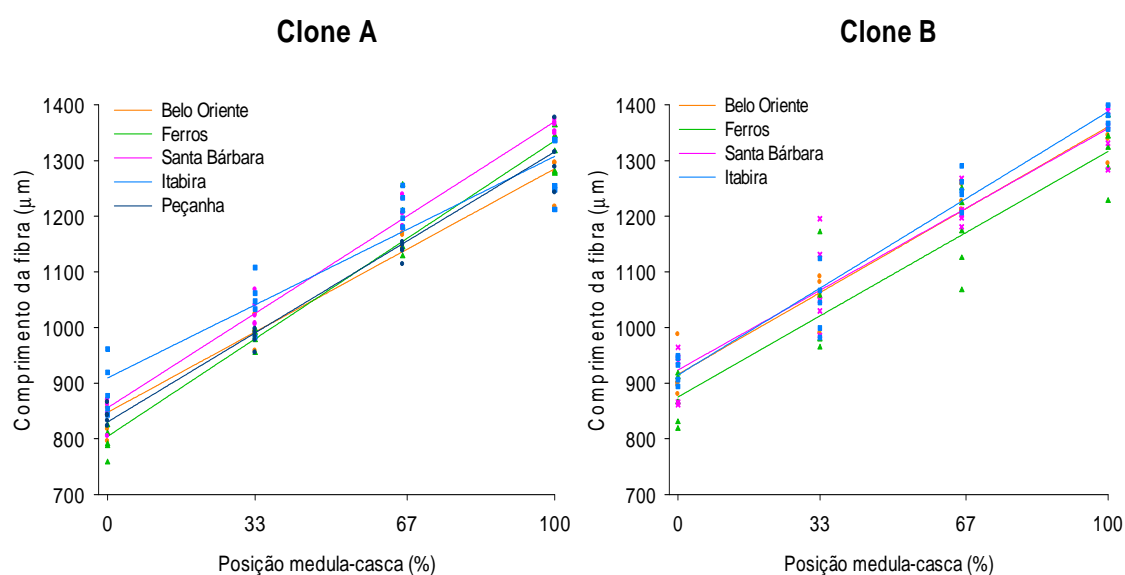


Figura 14. Comprimento médio das fibras em função da posição radial para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade nos diferentes locais de crescimento.

A variação do comprimento das fibras teve uma tendência linear significativa com respeito às posições no sentido radial do tronco dos clones com nível de significância de 5% para todos os tratamentos. Os valores do R²_{ajustado} demonstraram que a equação de regressão que obteve melhor ajuste foi para o clone A de Santa Bárbara, possuindo R²_{ajustado} de 0,98, já o pior

ajuste foi para o clone B, entretanto, para a região de Itabira, sendo encontrado R^2_{ajustado} de 0,87.

Pela análise da Figura 14, percebe-se tanto entre os locais de crescimento, quanto entre os clones, o comprimento de fibra obteve um comportamento semelhante no sentido medula casca. Nota-se apenas que para o clone B, o comprimento da fibra para as árvores da região de Ferros tendeu a ser menor ao longo do sentido radial entre as localidades. O clone A obteve fibras mais curtas na posição da medula quando comparado ao clone B.

À medida que se aproxima da casca, o padrão de variação do comprimento da fibra no sentido radial teve tendência a aumentar. De maneira geral, os valores médios para o comprimento da fibra verificados ao longo do sentido radial estão de acordo com os trabalhos de Arango Alzate, (2004), Florsheim et al. (2009), Santini Junior (2011) e Sette Junior (2012), em estudos com híbridos e espécies do gênero *Eucalyptus* em idade semelhante à deste estudo.

4.5 ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

Os valores médios para os teores médios de extrativos, lignina solúvel, insolúvel, total e holocelulose na altura do DAP para os dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla* plantados nas diferentes localidades estão na Tabela 20.

Por se tratar de uma característica que interfere de forma negativa na qualidade da polpa, madeiras com menores teores de extrativos são mais desejáveis pelas indústrias do seguimento.

Alguns extrativos podem tornar a pasta celulósica mais escura e mais difícil de ser branqueada. Componentes resinosos que não foram totalmente removidos durante o cozimento podem tornar a polpa menos permeável após a secagem ou estocagem, pois com o passar do tempo esses compostos podem formar um arranjo estrutural na superfície da fibra, afetando a absorção de água dos papeis para fins sanitários (SARTO; SANSIGOLO, 2010).

Tabela 20. Análise química da madeira dos clones do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos nos diferentes locais de crescimento

| | Local | Extrativos (%) | Lignina Solúvel (%) | Lignina Insolúvel (%) | Lignina Total (%) | Holocelulose (%) |
|---------|---------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Clone A | Belo Oriente | 1,81c* (12,1)** | 1,80 c (5,5) | 27,05 c (1,9) | 28,85 c (1,7) | 69,33 a (0,6) |
| | Ferros | 1,48 c (11,0) | 1,96 bc (1,5) | 27,75 b (0,7) | 29,70 bc (0,7) | 68,82 ab (0,4) |
| | Santa Bárbara | 2,59 a (7,5) | 2,16 a (3,1) | 30,61 a (1,1) | 32,76 a (1,0) | 64,64 d (0,4) |
| | Itabira | 2,26 ab (6,7) | 1,99 b (5,2) | 28,53 b (3,2) | 30,52 b (3,1) | 67,22 c (1,3) |
| | Peçanha | 1,91 bc (19,3) | 2,09 bc (3,2) | 27,85 ab (2,1) | 29,94 b (1,8) | 68,16 bc (0,8) |
| Clone B | Belo Oriente | 2,04 b (10,6) | 2,10 a (2,7) | 27,74 b (1,8) | 29,84 b (1,7) | 67,92 a (1,4) |
| | Ferros | 1,26 c (15,8) | 1,86 b (5,3) | 28,19 ab (3,9) | 30,05 b (4,0) | 68,69 a (1,5) |
| | Santa Bárbara | 2,20 ab (16,9) | 2,23 a (5,6) | 29,58 a (1,8) | 31,81 a (1,3) | 65,99 b (1,2) |
| | Itabira | 2,56 a (9,3) | 1,91 b (3,0) | 28,34 ab (1,1) | 30,25 b (3,0) | 67,20 b (1,5) |

* Valores seguidos de mesma letra na coluna, para o mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Ao observar a Tabela 20, torna-se evidente que o local de crescimento influenciou no teor de extrativo da madeira dos dois clones. Com base nas informações edafoclimáticas disponíveis, uma possível relação para tentar corroborar as menores e maiores quantidades destes constituintes secundários na madeira, apesar da pouca diferença, pode estar na precipitação da região, em que os locais com maior média anual de precipitação também obtiveram maiores teores de extrativos.

Para os diferentes locais de crescimento, os resultados do teor de extrativos da madeira para clones de uma mesma localidade foram próximos. A região com menor teor de extrativos (Ferros), assim com as regiões de maiores teores (Santa Bárbara e Itabira), foram as mesmas para os dois clones avaliados. Apesar que nenhum clone teve maior teor de extrativo para todas as localidades.

Para o clone A o teor médio de extrativos variou de 1,48 a 2,59% entre as distintas localidades. Para o clone B essa variação foi de 1,26 a 2,56%. Os valores médios para o teor de extrativos estão de acordo com os observados nos trabalhos de Almeida (2003), Duarte (2007) e Mosca (2010), em estudos com híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* em idade semelhante à deste estudo.

Assim como o teor de extrativos, madeira com menores quantidades de lignina são mais indicadas para o setor de celulose, pois madeiras com altos teores de lignina tendem a aumentar o consumo de reagentes, conseqüentemente diminuindo o rendimento e aumentando os custos de produção.

A lignina também foi um constituinte influenciado pelas condições dos locais de crescimento. Para os teores de lignina solúvel, insolúvel e conseqüentemente de lignina total, o clone A, da mesma forma que para teores de extrativos, entretanto de forma mais evidente, a maior quantidade de lignina também foi encontrada para a região de maior precipitação anual. O maior teor de lignina de Santa Bárbara diferiu estatisticamente de todas as outras regiões. Já os menores teores de lignina solúvel e insolúvel do clone A pertenceram à região de Belo Oriente, localidade com o maior déficit hídrico.

Para o clone B, apesar do teor de lignina solúvel de Belo Oriente ter sido um dos maiores entre os locais de crescimento, os menores e os maiores teores de lignina insolúvel e total, assim como o clone A, continuaram sendo

respectivamente das regiões de Belo Oriente e Santa Bárbara, reforçando a ideia de que as maiores precipitações tenham conferido maiores teores de lignina.

Com relação à lignina total, para os diferentes locais de crescimento, o clone A obteve valores médios entre 28,85 e 32,76%. Já para o clone B os valores médios variaram de 27,74 a 29,85%. Estes resultados são corroborados com o estudo de São Teago (2012), que encontrou para *E. grandis* x *E. urophylla* aos seis anos de idade, sob diferentes formas de cultivo, valores médios de lignina total variando de 29,60 a 32,7%. Os resultados do presente estudo também vão de encontro àqueles obtidos por Bassa (2006), Trugilho (2009) e Neves et al. (2013), que encontraram respectivamente 28,54; 27,34 e 29,09% de lignina na madeira de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Ao contrário dos extrativos e da lignina, altos teores de holocelulose são desejáveis na matéria prima para a produção da polpa celulósica, tratando-se da soma da celulose e hemicelulose presentes na madeira.

Pelas regiões de Belo Oriente e Santa Bárbara possuem as menores e maiores quantidades de extrativos e lignina total, e o teor de holocelulose obtido por diferença, conseqüentemente os clones da região de Belo Oriente obtiveram as maiores médias de holocelulose, assim como as menores médias foram pertencentes os clones de Santa Bárbara.

Para os diferentes locais de crescimento, o teor de holocelulose do clone A obteve valores médios entre 64,64 e 69,33%. Já para o clone B os valores médios variaram de 65,99 a 68,69%. Esse intervalo de variação está de acordo com o trabalho realizado por Gomide et al. (2005), que ao estudarem clones de eucalipto *urograndis* aos sete anos de idade, encontraram valores que vão de 64,90 a 69,90% de holocelulose presente na madeira. Os resultados do presente estudo também estão de acordo àqueles obtidos por Santana (2009), Segura (2012) e Neves et al. (2013), que encontraram respectivamente 66,43; 68,85 e 68,86% de holocelulose na madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* em idade semelhante à deste estudo.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, e nas considerações expostas com relação à madeira dos dois clones do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivados em cinco regiões de estado de Minas Gerais, foi possível concluir que:

- Não foi possível, para nenhum dos dois clones testados, obter um material genético que, para uma mesma região, tivesse bons resultados para todas as características avaliadas.

- Para uma mesma localidade, sob as mesmas condições, os materiais genéticos podem exibir resultados divergentes dependendo do parâmetro que está sendo analisado.

- Os parâmetros de altura comercial e volume de madeira por árvore, para os locais de crescimento testados, foram mais sensíveis ao conjunto das condições ambientais impostas por cada sítio, do que somente para uma determinada condição que se destacou perante as demais;

- O crescimento em altura do clone B foi mais sensível às variações de altitude e temperatura.

- Para um mesmo parâmetro, podem ser observadas diferentes tendências, sendo ajustados diferentes tipos de equações de regressão, ou até mesmo podendo nem haver ajuste da equação para determinados locais de crescimento.

- As maiores alterações no volume de madeira e de casca por árvore estão mais evidentes com relação aos diferentes genótipos do que com os diferentes locais de crescimento.

- Para os dois clones, foram observados diferentes padrões de variação da densidade básica no sentido longitudinal para os distintos locais de crescimento.

- A variação da densidade no sentido radial foi semelhante para os dois métodos testados, apesar da menor quantidade de pontos utilizados no método de imersão quando comparado à técnica de densitometria de raios X.

- Com relação à densidade básica no sentido radial para os diferentes locais de crescimento, a maior média encontrada para o clone A foi melhor explicada pelas características de largura e diâmetro do lume da fibra,

enquanto a menor média para o clone B esteve melhor elucidada pela espessura de parede.

- Apesar do perfil de variação no sentido medula-casca obtido por densitometria de raios X fornece uma resposta precisa da influência que as variações climáticas ao longo do ano têm sobre a madeira, a média dos valores de densidade aparente obtida ao longo do sentido radial obtida por meio desta técnica não foi um bom parâmetro para inferir sobre a influência dos diferentes locais de crescimento sobre a madeira dos clones.

- Com relação ao índice de uniformidade, para os dois clones, os melhores e piores valores deste índice estiveram vinculados respectivamente com os maiores valores de precipitação e déficit hídrico.

- Em determinados locais de crescimento, as condições climáticas do sítio implicaram em maior homogeneidade para algumas propriedades anatômicas no sentido medula-casca dos clones.

- Para o clone B, a precipitação e o déficit hídrico das distintas regiões inferiram sobre a frequência e diâmetro de vasos, entretanto, para clone A apenas para o diâmetro dos vasos foi sensível a estas variáveis.

- De maneira geral, para os diferentes locais de crescimento o clone B se manteve mais estável com relação às diferentes propriedades estudadas.

- A maior média de precipitação de Santa Bárbara refletiu em maiores teores de extrativos e lignina total e conseqüente menor teor de holocelulose.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, G. S. B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2002. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

ALMEIDA, F. S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids® para madeiras de eucalipto**. 2003. 131f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

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

ARANGO ALZATE, S. B. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *E. urophylla***. 2004. 151f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

ARANGO ALZATE, S. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 68, p. 87-95, 2005.

ARANGO, B.; TAMAYO, L. Densidad de la madera em clones de *Eucalyptus* por densitometría de rayos X. **Revista Facultad de Ingeniería**, Antioquia, n. 45, p. 87-99, set. 2008.

ASSIS, T. F. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 32-51, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-11941: madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: 2003.

BARRICHELO, L.E.G. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1982. p.726-731.

BARRICHELO, L. E. G. **Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea* Mor. Var. *hondurensis* Barr. e Golf. para a produção de celulose Kraft**. 1979. 173f. Tese (Livre-docência) –

Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

BASSA, A. G. M. C. **Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft através de Processo Lo-Solids®.** 2006. 170f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; LASSO, P. R. O.; MUÑIZ, G. I. B. Potencialidade da microtomografia de raios X (microCT) para a caracterização anatômica da madeira de folhosas tropicais. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, v. 11, n. 26, p. 69-77, 2010.

BISON, O. **Melhoramento de eucalipto visando à obtenção de clones para a indústria de celulose.** 2004. 182f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; GARLIPP, R. C. D. Avaliação técnico-econômica da produção de celulose de madeira não descascada de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis*. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p 1-25, nov. 1978.

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

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 2. ed. Viçosa: UFV, 2006.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS – CIFLORESTAS. **Eucalipto.** Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=eucalipto>>. Acesso em: 15 abr. 2013.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT – Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. **COPANT**, v.30, p. 1-19, 1974.

COSTA, A. **Anatomia da madeira.** Coletâneas de anatomia da madeira, 2001. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlindo/materiais/APOSTILANATOMIA1.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2013.

COSTA, V. E.; REZENDE, M. A. Produtividade de reflorestamentos de seminal, clone e híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* na região de

Botucatu, SP. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 23, n.2, p.115-128, 2008.

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

DESCRIÇÃO de algumas espécies de eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 75, ago. 2003. Disponível em: < http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_capa.php?edicao=75>. Acesso em: 12 mar. 2013.

DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica kraft**. 2007. 108f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: decay, pests and protection**. London: Chapman & Hall, 1993.

ECHOLS, R. M. Uniformity of wood density assessed from X-rays of increment cores. **Wood Science and Technology**, v. 7, p. 34-44, 1973.

EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; VALLE, M. L. A.; XAVIER, B. A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, 2010.

GUIA FLORESTAL. **Eucalipto aspectos botânicos**. nov. 2009. Disponível em: <<http://www.guiaflorestal.com.br/detalhe/1254/eucalipto-aspectos-botanicos>>. Acesso em: 15 abr. 2013.

FERNANDES, D. E.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; FERREIRA, M. Z. Influência da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 143-150, 2011.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 47, p. 1-30, 1979.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p 1-25, 1978.

FLORSHEIM; S. M. B.; COUTO, H. T. Z.; LIMA, I, L.; LONGUI, E. L. Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 79-91, 2009.

FOELKEL, C. E. B. **Casca da árvore de eucalipto**: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. [2006]. Disponível em: < <http://www.eucalyptus.com.br/> >. Acesso em: 28 abr. 2013.

FOELKEL, C. E. B. **Qualidade da madeira: Teoria**. Belo Oriente, MG, s. ed., 1977.

FOELKEL, C. E. B. Madeiras de eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p 1-25, 1978.

GOLDSHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins**: occurrence, formation, structure and reactions. New York: J. Wiley, p. 241-298, 1971.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Kl Larson modificado. **O papel**, São Paulo, v.47, n.8, p36-38, 1986.

GONÇALVES, F. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos**. 2006. 169f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

HASELEIN, C. R. ; LOPES, M. C. ; SANTINI, E. J. ; LONGHI, S. J. ; ROSSO, S. ; FERNANDES, D. L. G. ; MENEZES, L. F. . Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HIGA, A. R.; SILVA, L. D. Perspectivas do melhoramento genético de pinus e eucalipto. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 20-21, fev. 2009.

IMPORTÂNCIA do eucalipto para a indústria de celulose no Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 59, set. 2001. Disponível em: < <http://www.>

remade.com.br/br/revistadamadeira_capa.php?edicao=59>. Acesso em: 04 abr. 2013.

JACOB, W. S.; BALLONI, E. A. Efeitos da fertilização na qualidade da madeira. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, 1978.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 3. Ed. Curitiba, UFPR, 2005.

LARSON, P.R. A biological approach to wood quality. **TAPPI**, Atlanta, v. 45, n. 6, p. 443-448, 1962.

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

LINDORF, H. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. **IAWA Journal**, v. 15, n. 4, p. 361-376, 1994.

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com variação de altitude e de topografia, no estado de minas gerais**. 2010. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia Nir**. 2009. 142f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal Viçosa, Viçosa, 2008.

MOSCA, Y. **Avaliação da qualidade da madeira de três clones de *Eucalyptus*, aos cinco anos de idade**. 2009. 39f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal Viçosa, Viçosa, 2010.

MOTHE, F.; SCIAMA, D.; LEBAN, J. M.; NEPVEU, G. Localisation de la transition bois initial – bois final dans un cerne de chêne par analyse microdensitométrique. **Annales des Sciences Forestières**, Champenoux, v. 4, n. 55, p. 437 – 449, 1998.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A. SOUSA, L. C.; CARLOS VIEIRA, M. M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus*

em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

OLIVEIRA, J. G. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; ABAD, J. I. M.; SILVA, A. G. FIEDLER, N. C.; VIDAURE, G. B. Parâmetros quantitativos da anatomia da madeira de eucalipto que cresceu em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.3, p.559-567, 2012.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1998. 428f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, J. T. S. O potencial do eucalipto para a produção de madeira sólida. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 75. p. 1-8, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C. Caracterização da madeira de Eucalipto para a construção civil. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. 45 p.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1 - avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, 1999.

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, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**: structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the United States and Canada. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.

PEREIRA, H.; GRAÇA, J.; RODRIGUES, J.C. Wood chemistry in relation to quality. In: BARNETT J. R.; JERONIMIDIS, G. **Wood quality and its biological basis**. Oxford: CRC Press, 2003. p. 53-86.

PETERSEN, R. C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R. M., (Ed.) **The chemistry of solid wood**. Washington, American Chemical Society, 1984. cap. 2, p. 57-126.

PINHEIRO, A. L. **Considerações sobre taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia e qualidade da madeira.** Viçosa: SIF, 1999.

POLLI, H. Q.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; VITAL, B. R.; PEZZOPANE, J. E. M.; FONTAN, I. C. I. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetido a desrama artificial. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.557-566, 2006.

QUEIROZ, S. C. S. **Efeito das características anatômicas e químicas da densidade básica da madeira e na qualidade da polpa de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*.** 2002. 91f. Dissertação (Mestrado de Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

QUIQUI, E. M.; MARTINS, S. S.; SHIMIZU, J. Y. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o Noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C. O. SOUZA, F.; TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios X na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras.** Viçosa: UFV, 1987. 4p.

ROCHA, F. T.; FLORHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético.** 2009. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTINI JUNIOR, L.; LIMA, I. L.; BUFOLO, A.; MOURA, A. E.; BIBINI, G.; LONGUI, E. L.; FLORSHEIM, S. M. B. Densidade básica e dimensões celulares, em diferentes espécies de *Eucalyptus* L'Herit., plantadas em Itatinga/SP. **IF Série Registros**, São Paulo, n. 42 p. 15-21, 2010.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do Cerrado.**

2008. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS. 2008.

SÃO TEAGO, G. B. **Qualidade das madeiras de acácia e eucalipto provenientes de cultivo misto visando a produção de celulose**. 2012. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, 2012.

SARTO, C.; SANSIGOLO, C. A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 227-235, 2010.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose Kraft pelos processos convencional e Lo-Solids®**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

SETTE JUNIOR, C. R.; OLIVEIRA, I. R.; 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, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. C. Influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 75, p. 1-10, 2003.

SILVA, M. E. C. M. Apontamentos de tecnologia dos produtos florestais: composição química da madeira. Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). 2010. 18 p.

SILVA, M. G. **Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – 2011. 95f. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

SIQUEIRA, K. P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio.** 2004. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp & paper technologists.** 2. ed. Vancouver: Angus Wilde, 1997.

SOUSA, L. C. **Caracterização da madeira de tração em *Eucalyptus grandis* e sua influência na produção de polpa celulósica.** 2004. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY-TAPPI. **Tappi test methods T 257 om-92: sampling and preparing wood for analysis.** Atlanta: Tappi Technology Park, v.1,1992.

TOLFO, A. L. T.; PAULA, R. C.; BONINE, C. A. V.; BASSA, A.; VALLE, C. F. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 101-110, 2005.

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

TREVISAN, R.; ELOY, E.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; CARON, B. O. Variação axial e efeito do desbaste na massa específica das árvores centrais de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.2, p.312-318, 2012.

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, 2009.

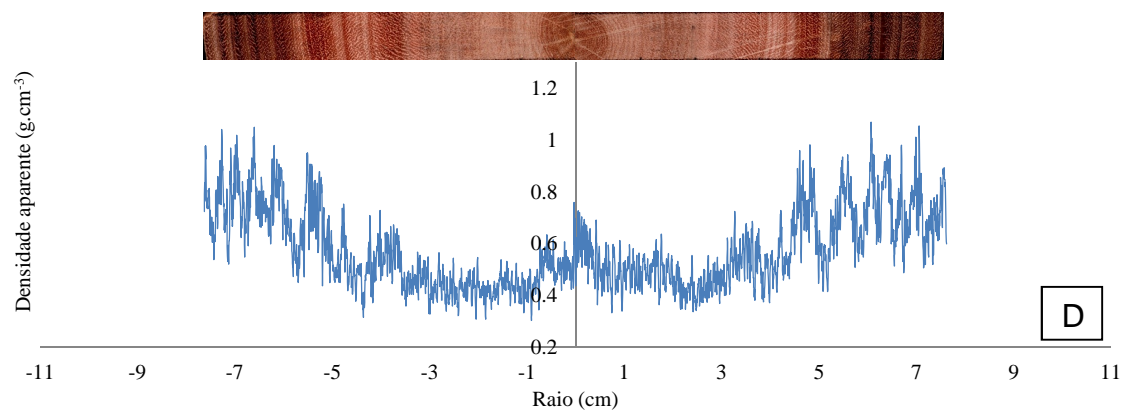
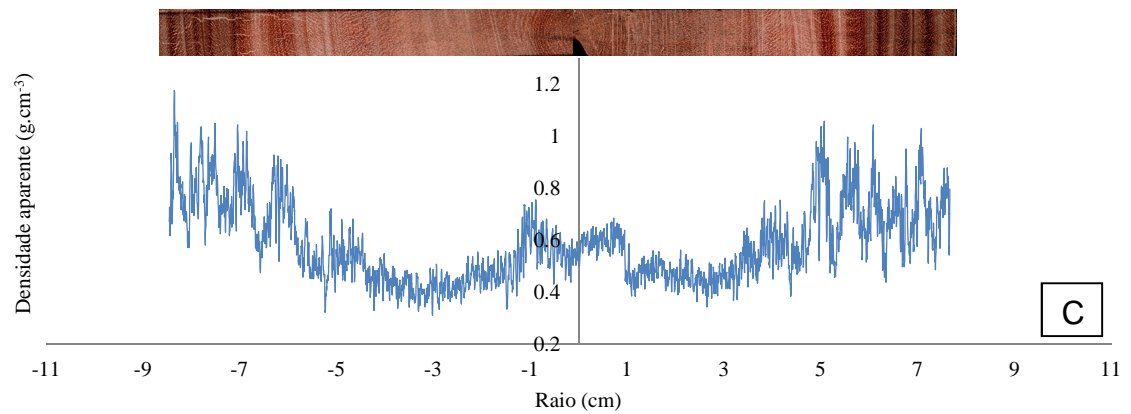
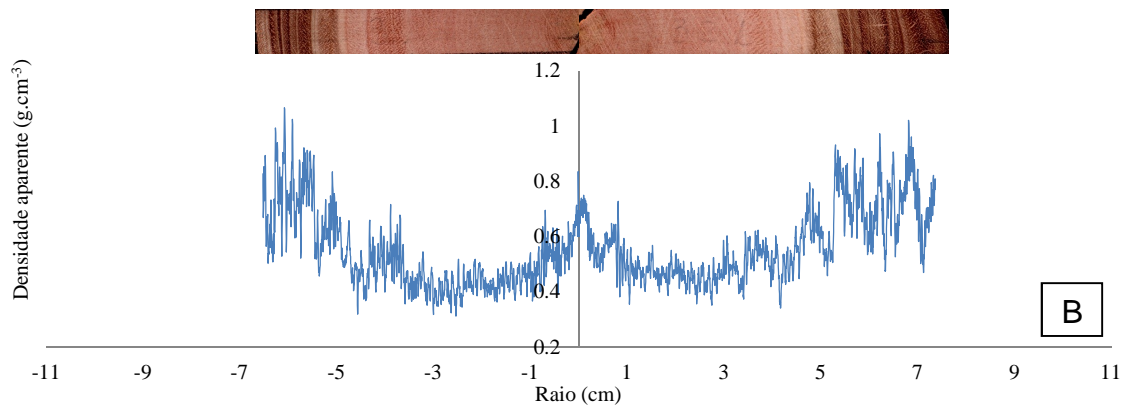
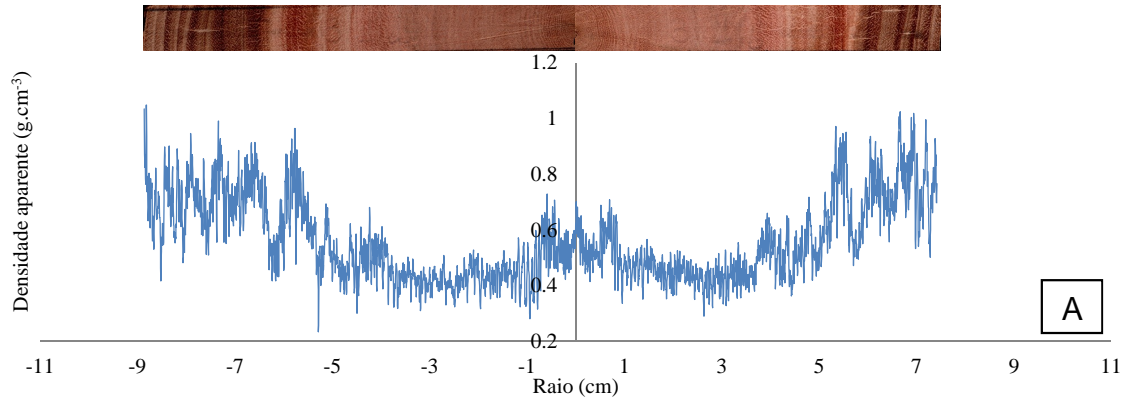
YAMAMOTO, P. Y. **Interação genótipo x ambiente na produção e composição de óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br.** Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2006.

WALLIS, A. F. A.; WEARNE, R. H.; WRIGHT, P. J. Chemical analysis of polysaccharides in plantation eucalypt woods and pulps. **Appita Journal**, Melbourne, v. 49, n. 4, p. 258-262, 1996.

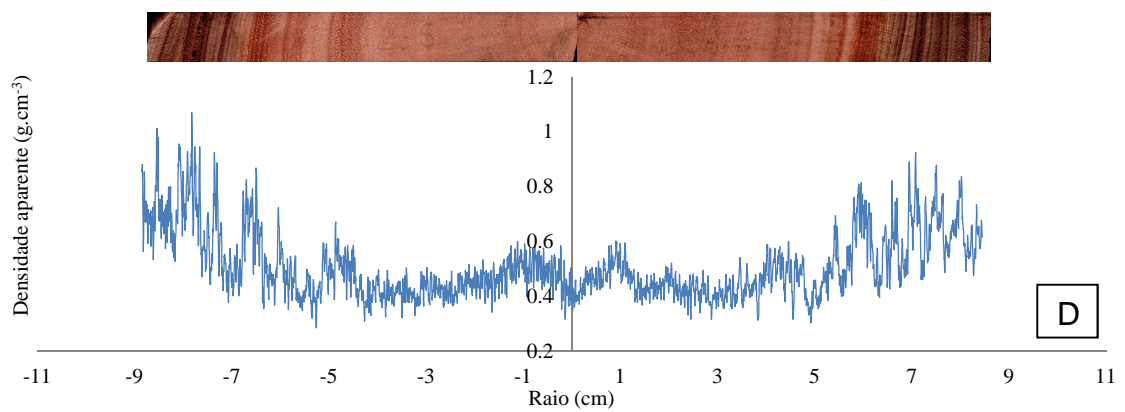
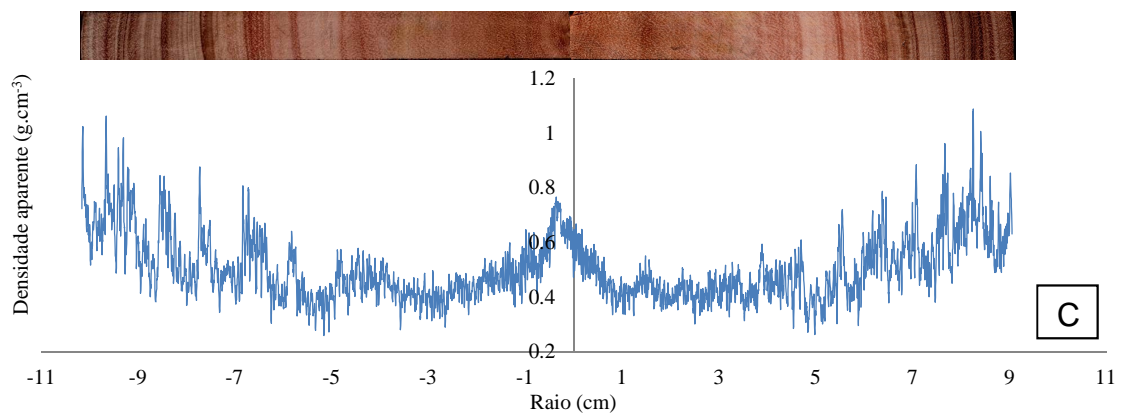
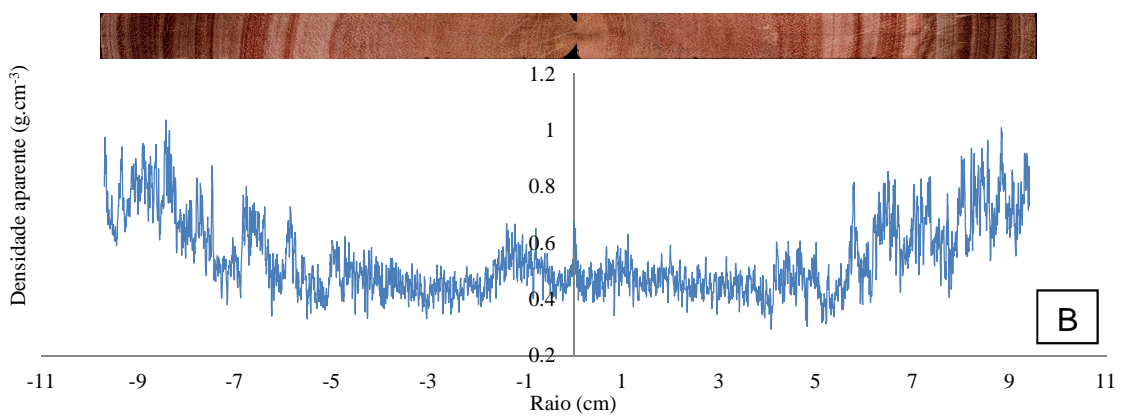
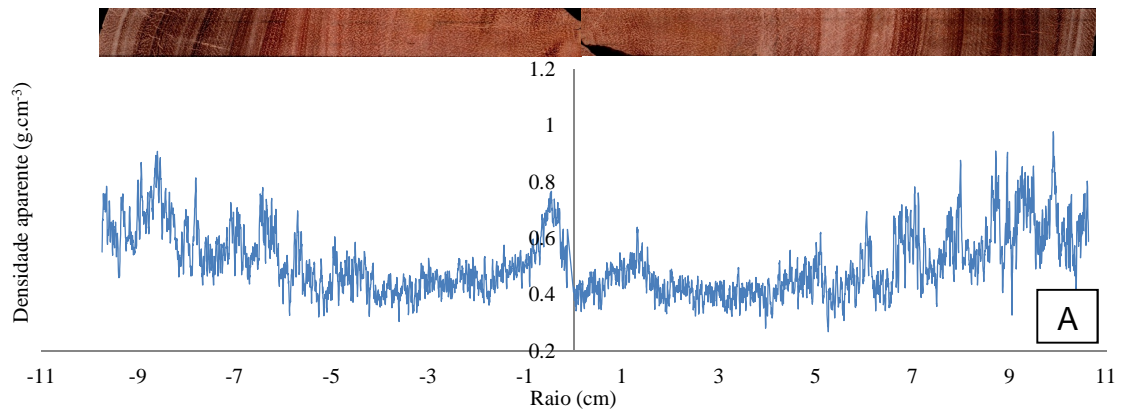
APÊNDICES E ANEXOS

Apêndice 1. Perfis densitométricos da densidade aparente da madeira dos clones A e B.

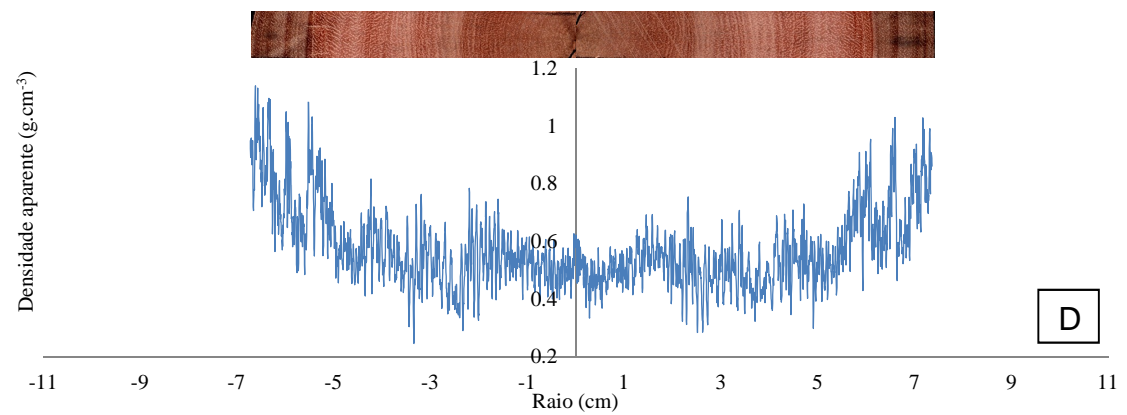
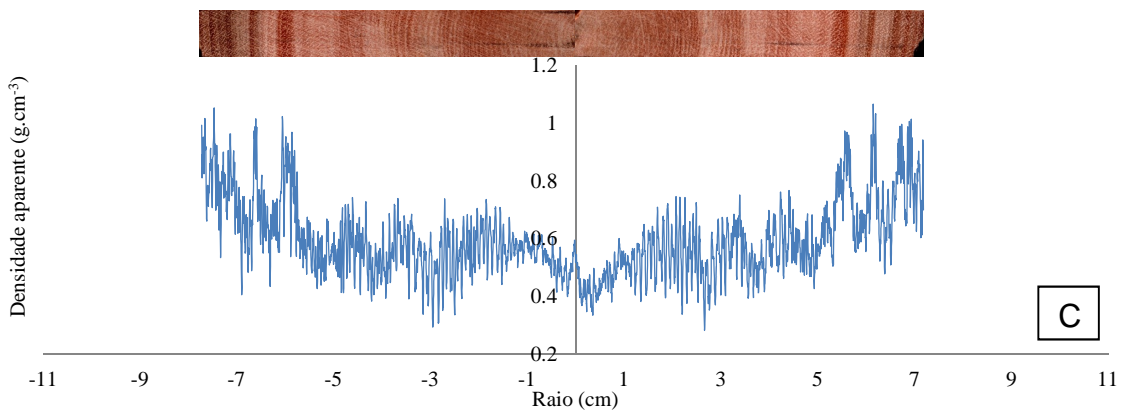
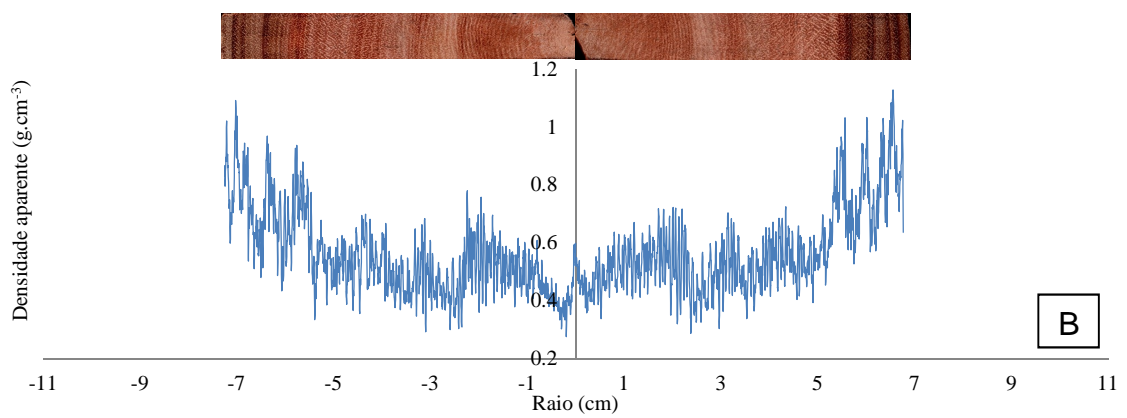
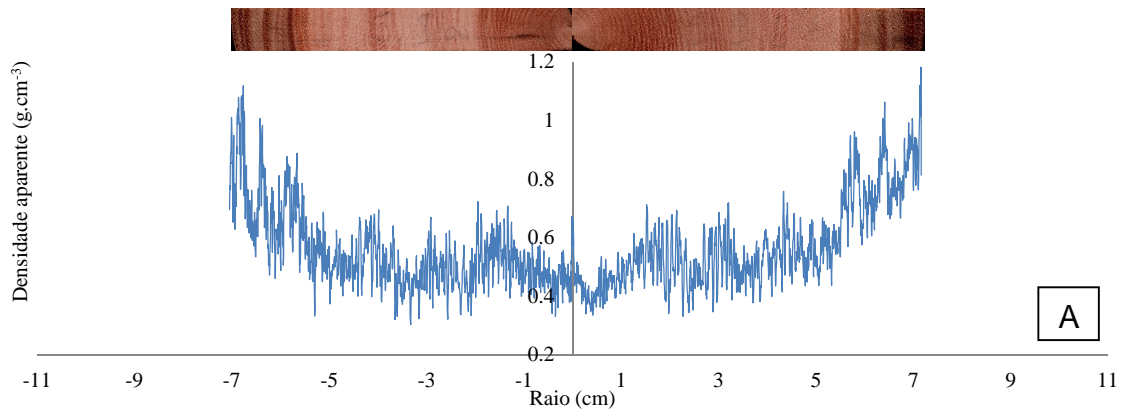
Apêndice 1.1. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone A de Belo Oriente, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4.



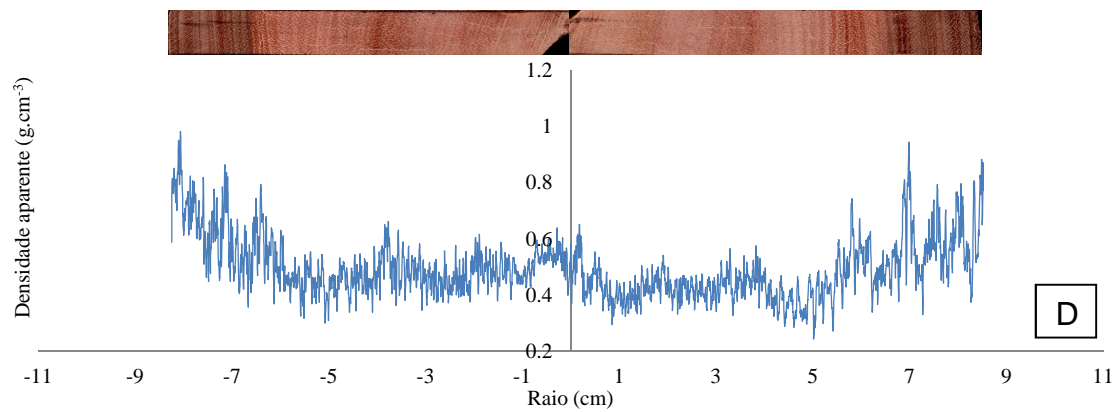
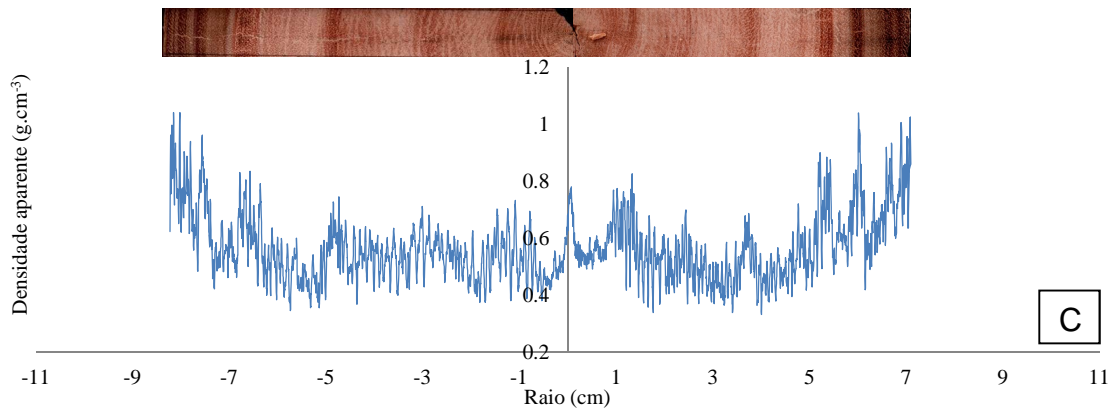
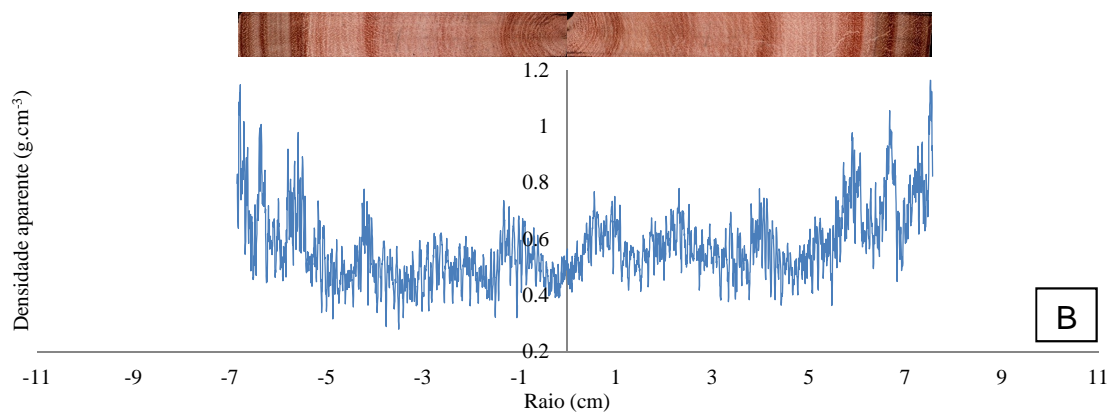
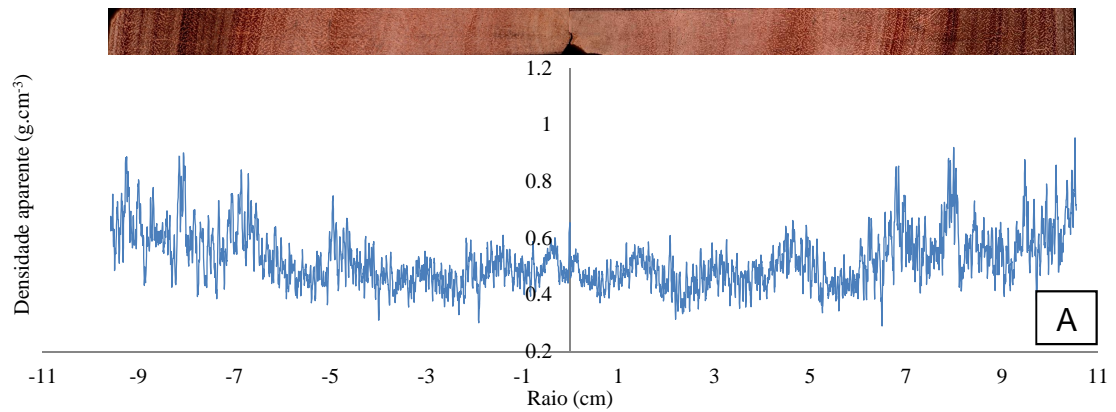
Apêndice 1.2. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone B de Belo Oriente, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4



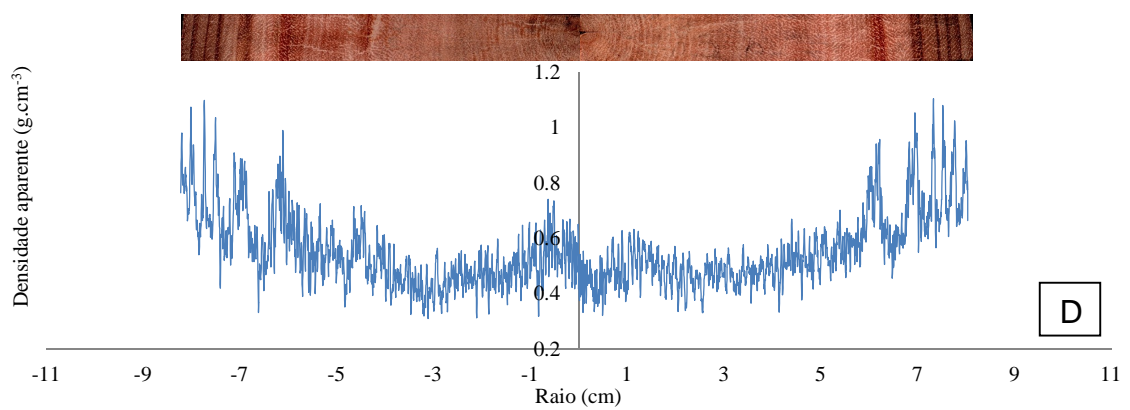
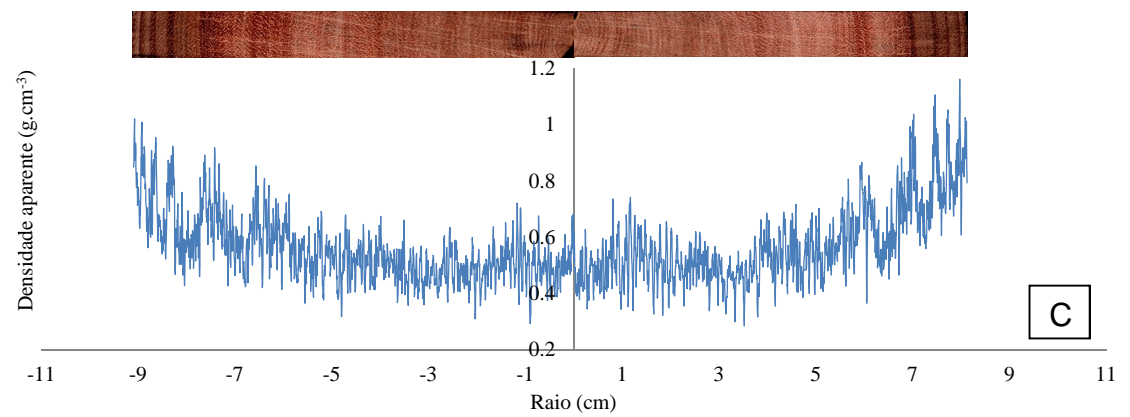
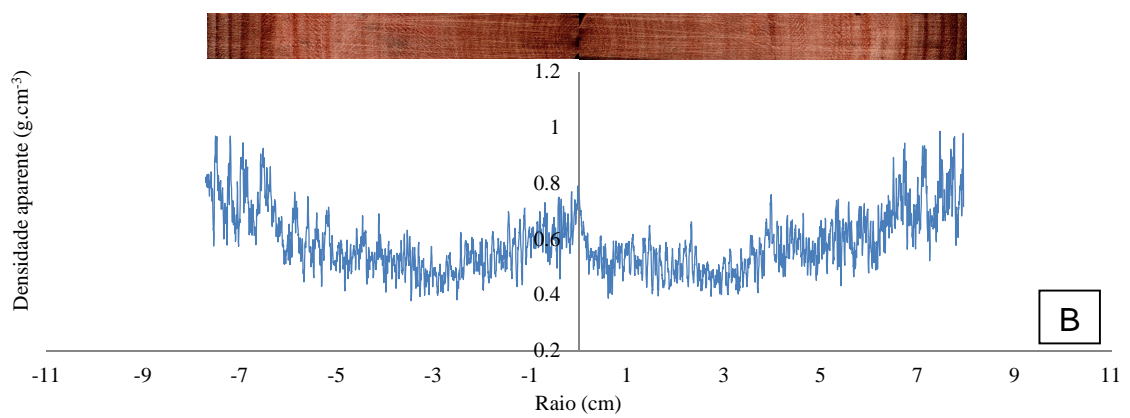
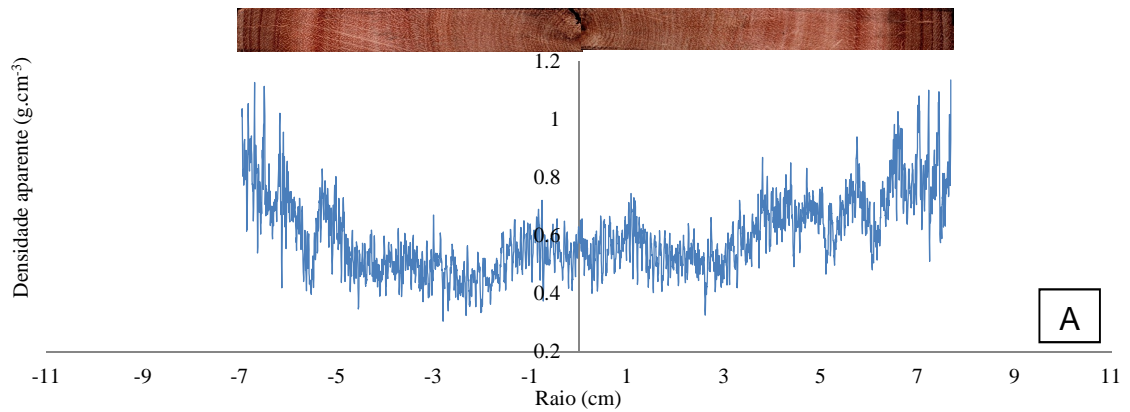
Apêndice 1.3. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone A de Ferros, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4.



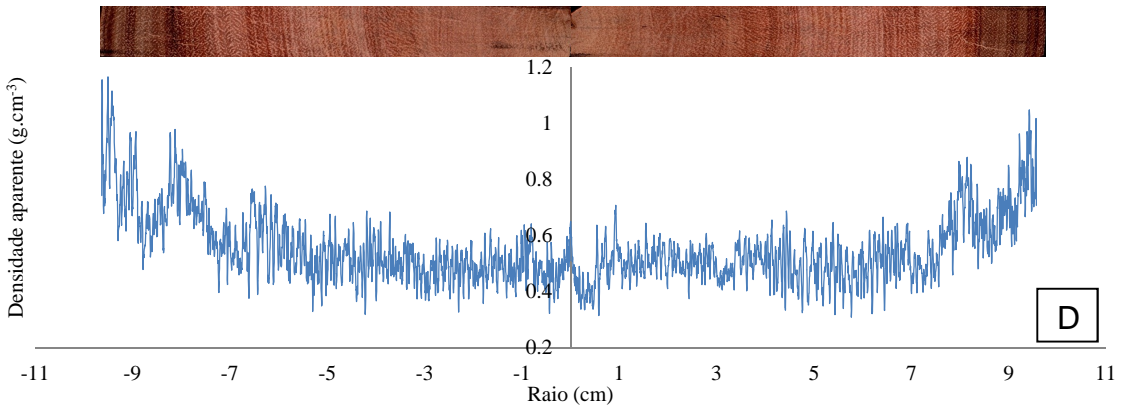
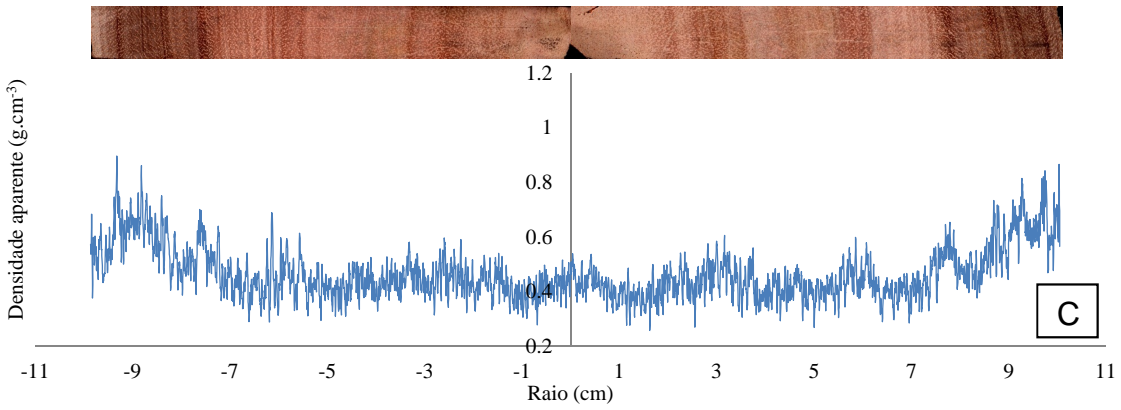
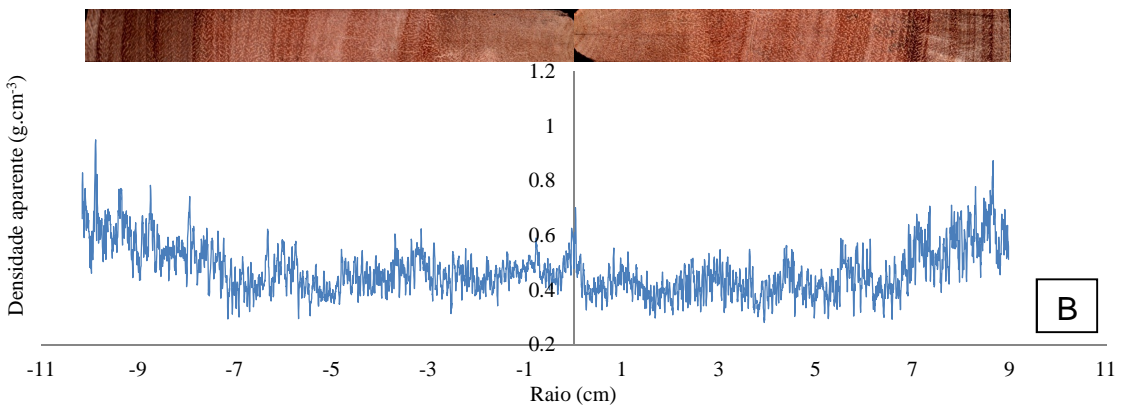
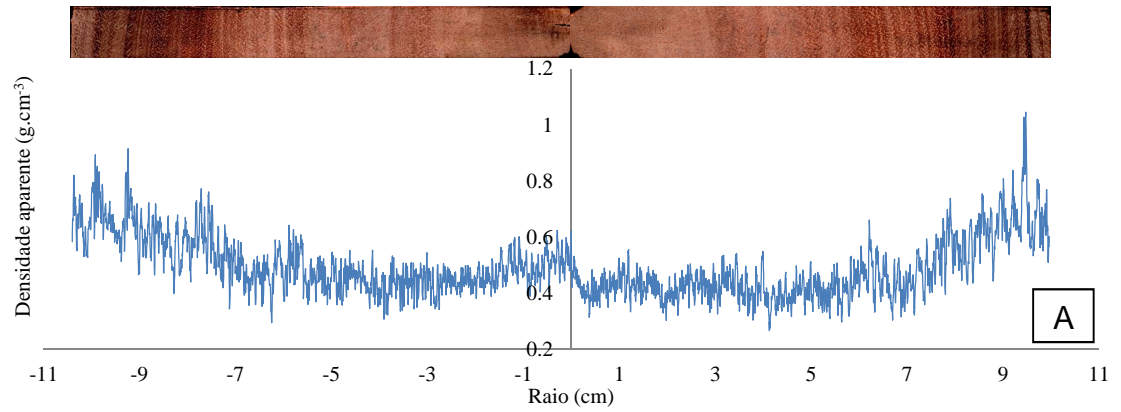
Apêndice 1.4. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone B de Ferros, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4.



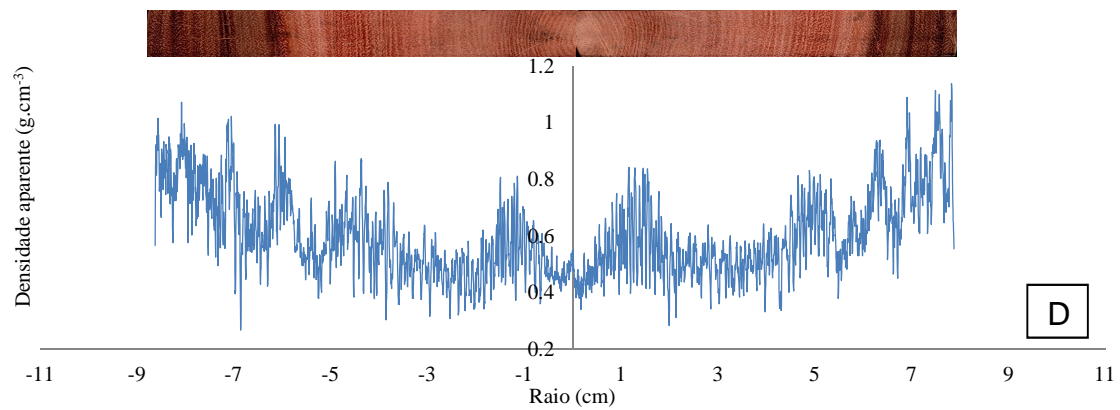
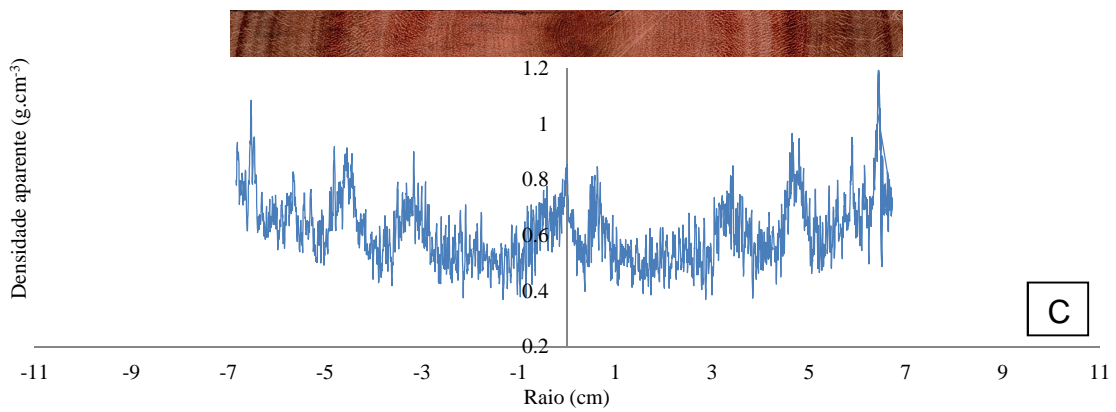
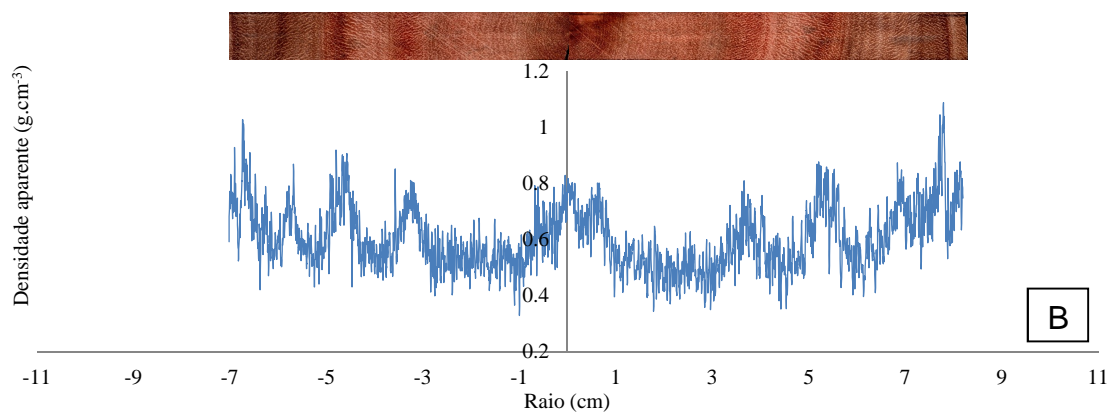
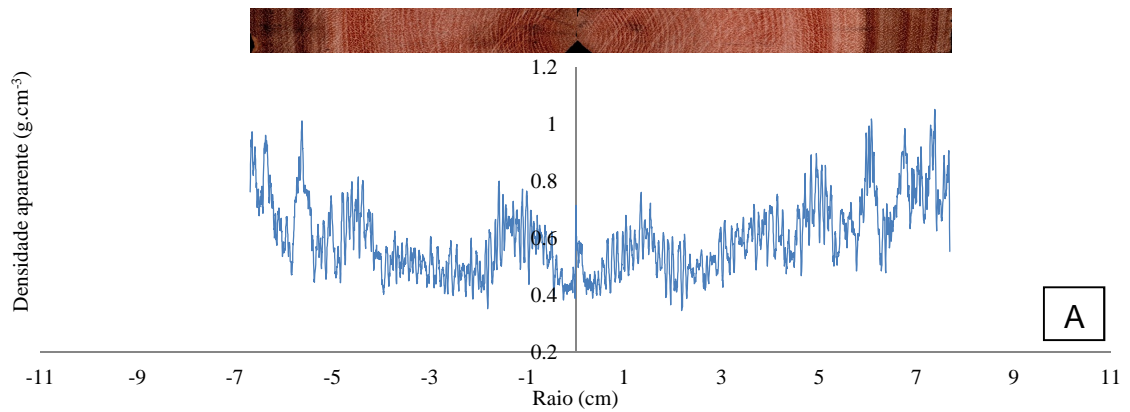
Apêndice 1.5. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone A de Santa Bárbara, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4.



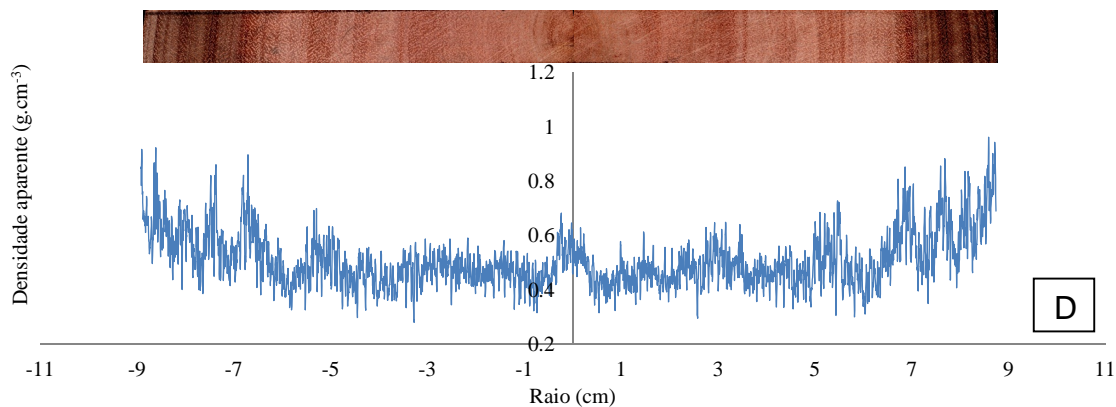
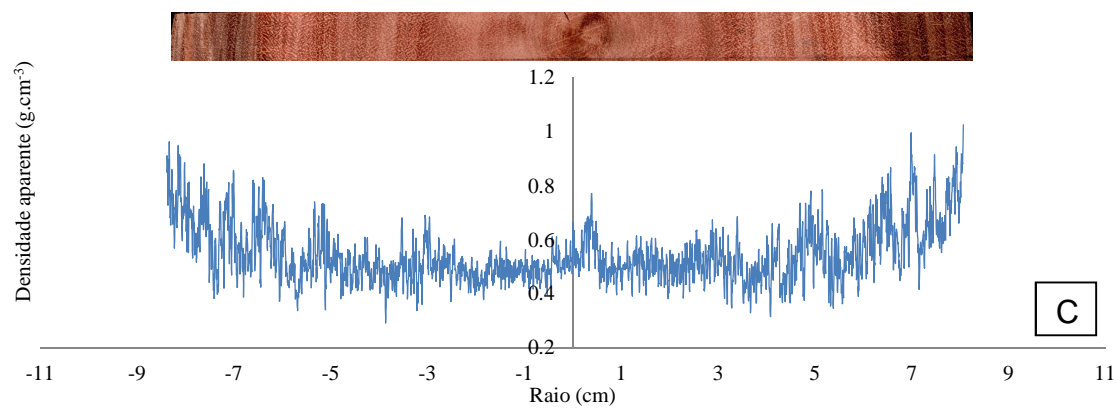
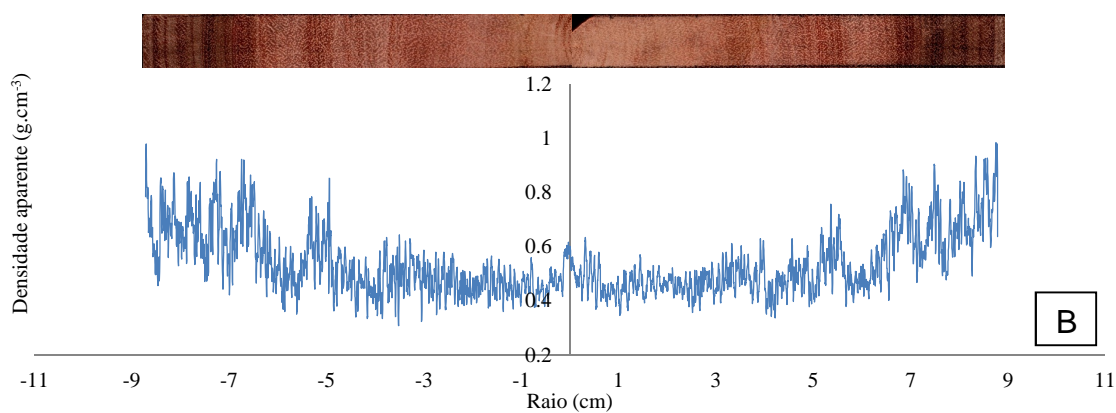
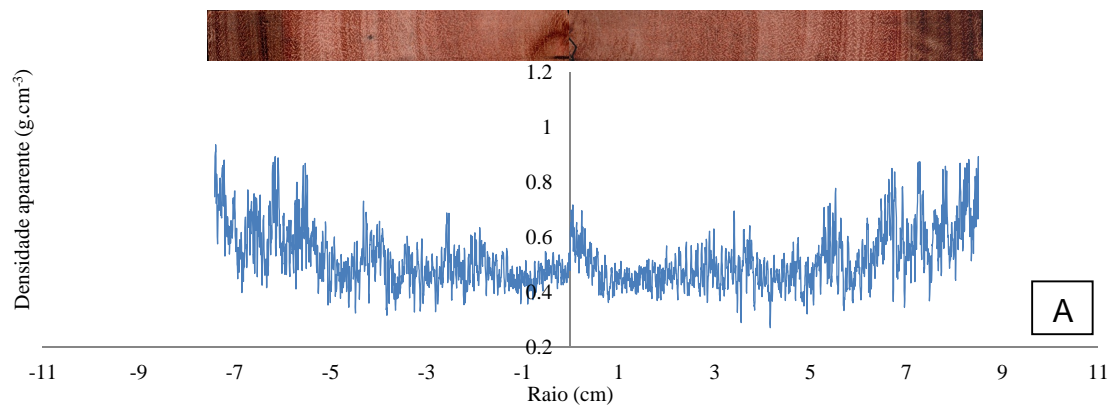
.Apêndice 1.6. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone B de Santa Bárbara, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4.



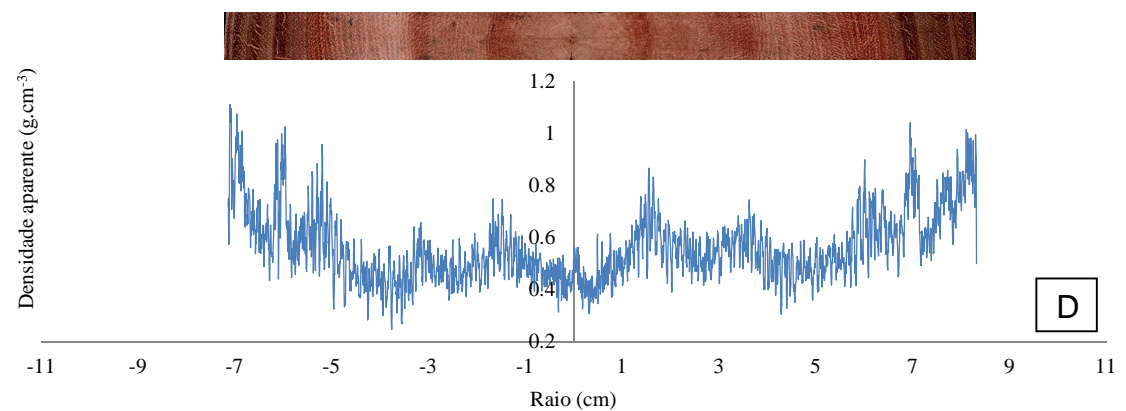
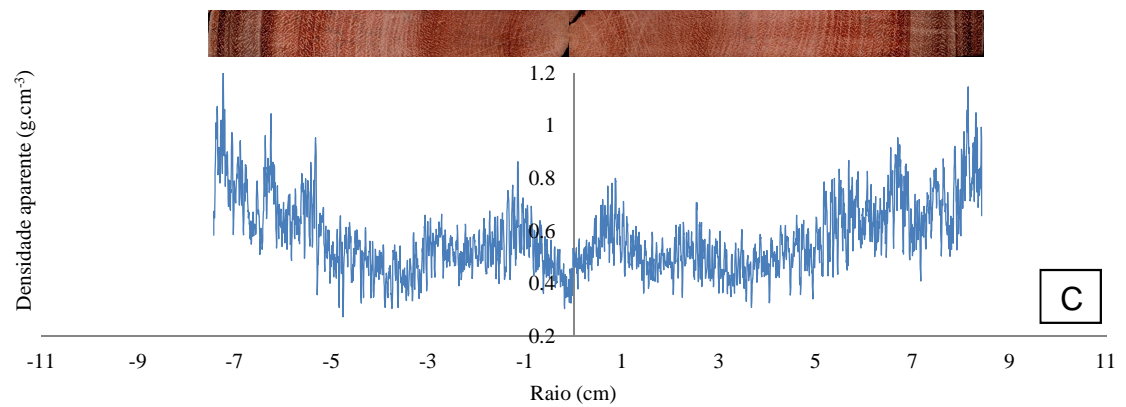
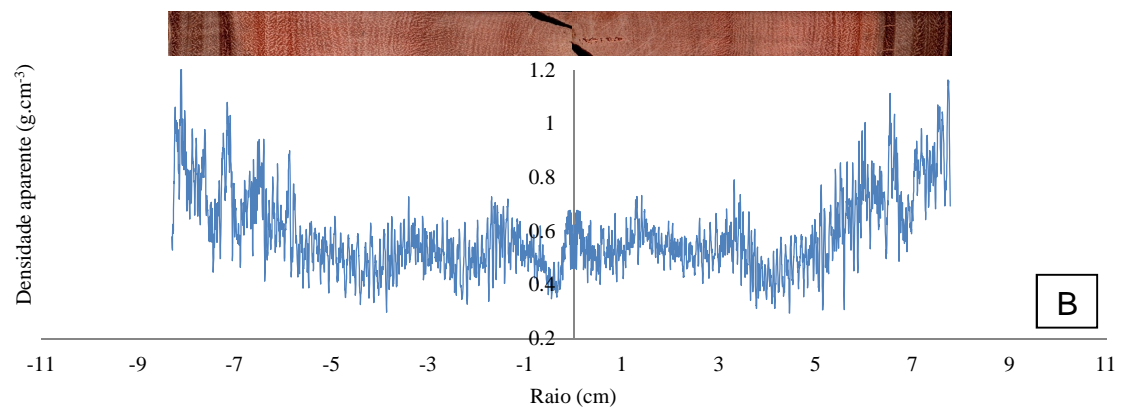
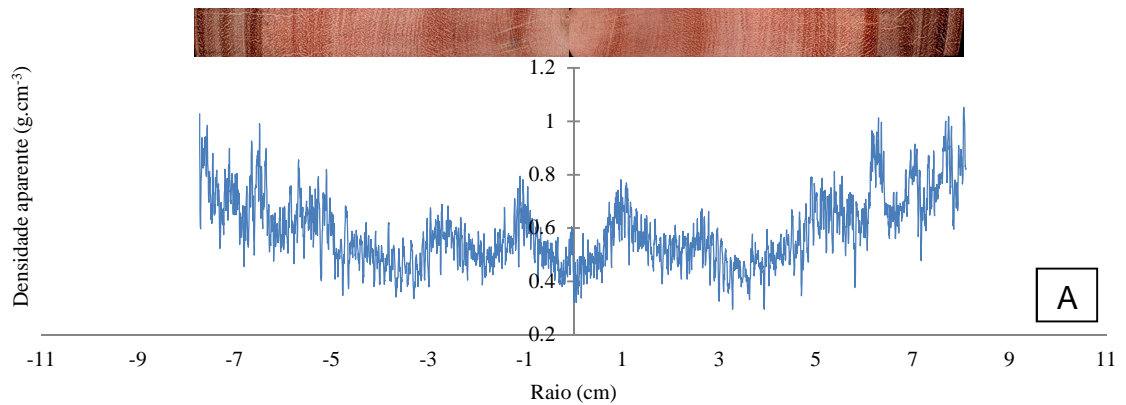
Apêndice 1.7. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone A de Itabira, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4.



Apêndice 1.8. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone B de Itabira, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4.

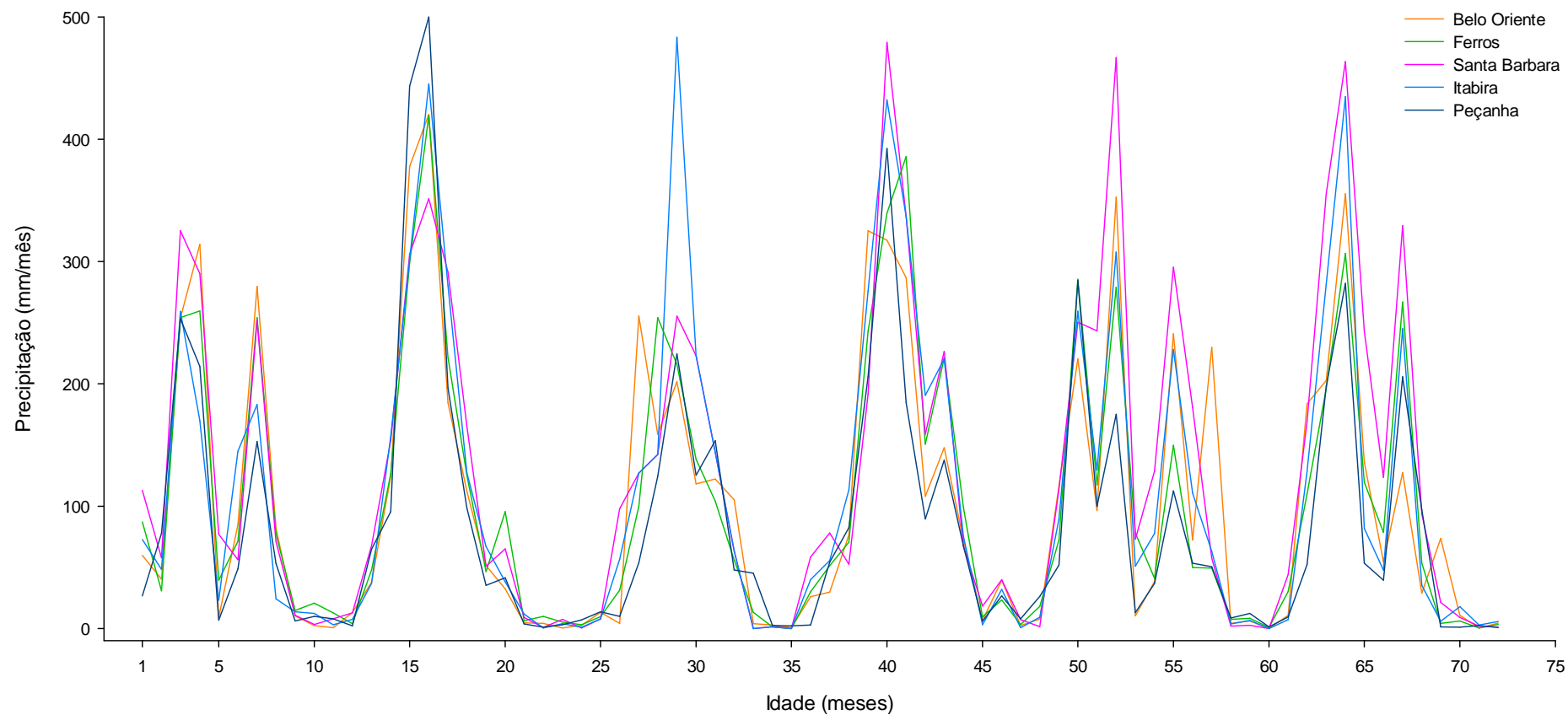


Apêndice 1.9. Variação radial da densidade aparente da madeira do clone A de Peçanha, (A) árvore 1, (B) árvore 2, (C) árvore 3 e (D) árvore 4.

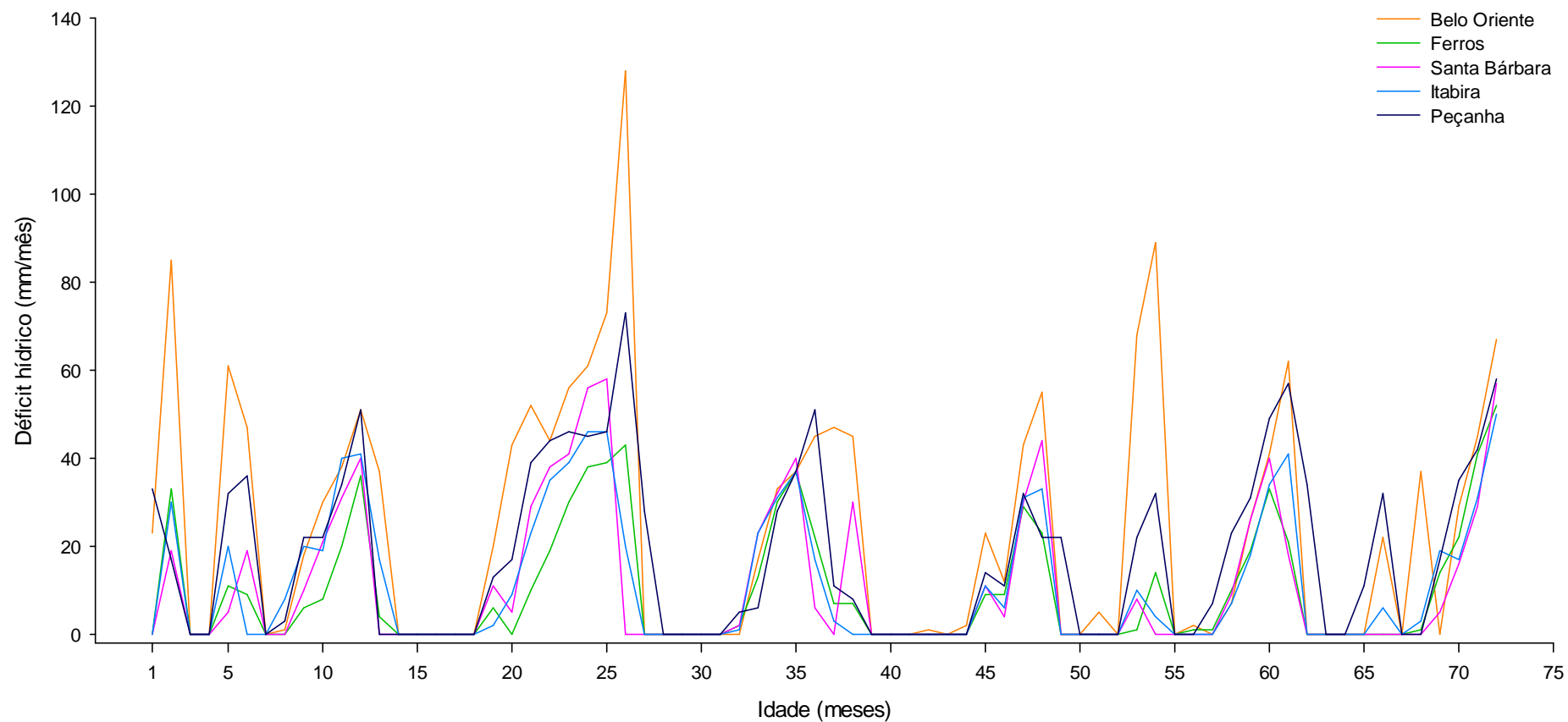


Anexo 1. Variações climáticas regionais.

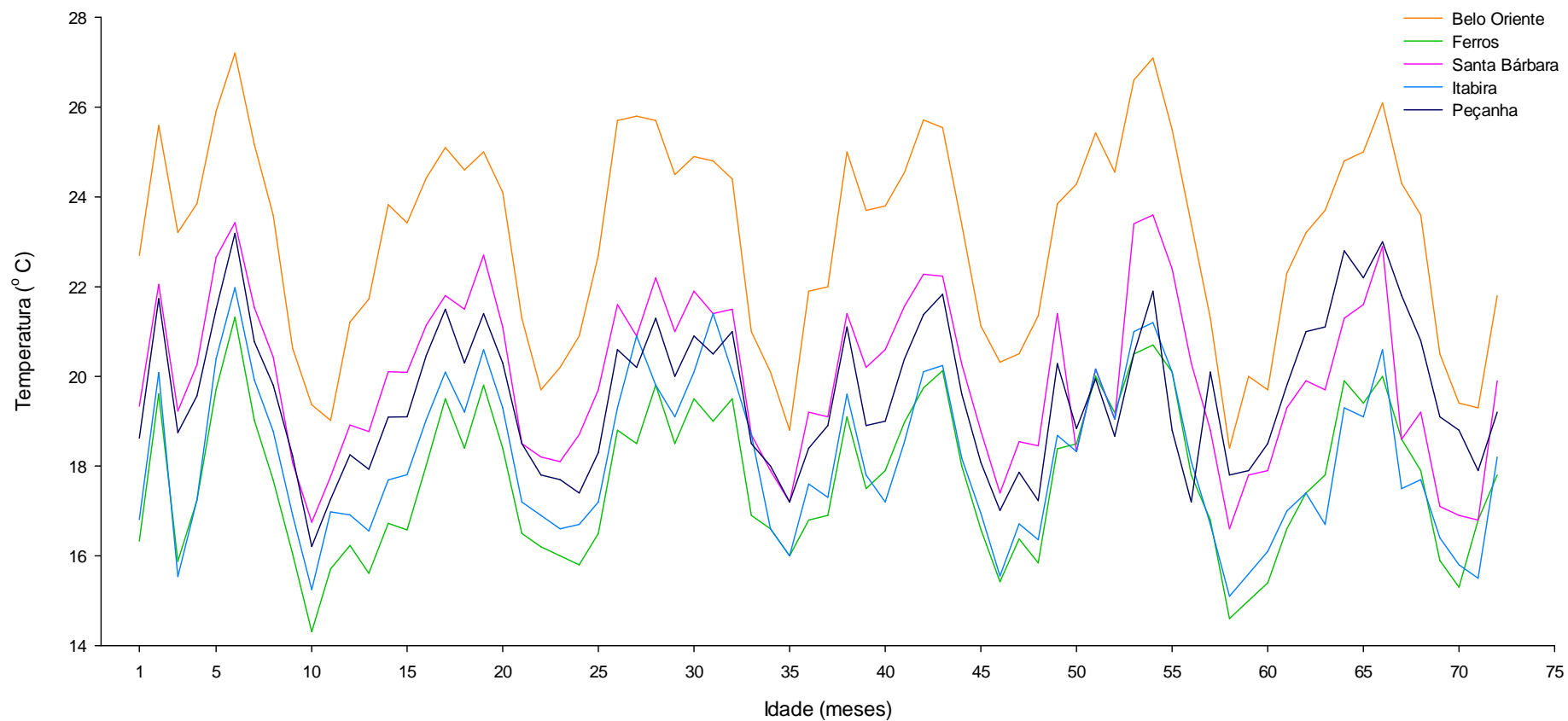
Anexo 1.1. Precipitação mensal dos diferentes locais onde clones de *E. grandis* x *E. urophylla* foram cultivados por um período de 72 meses.



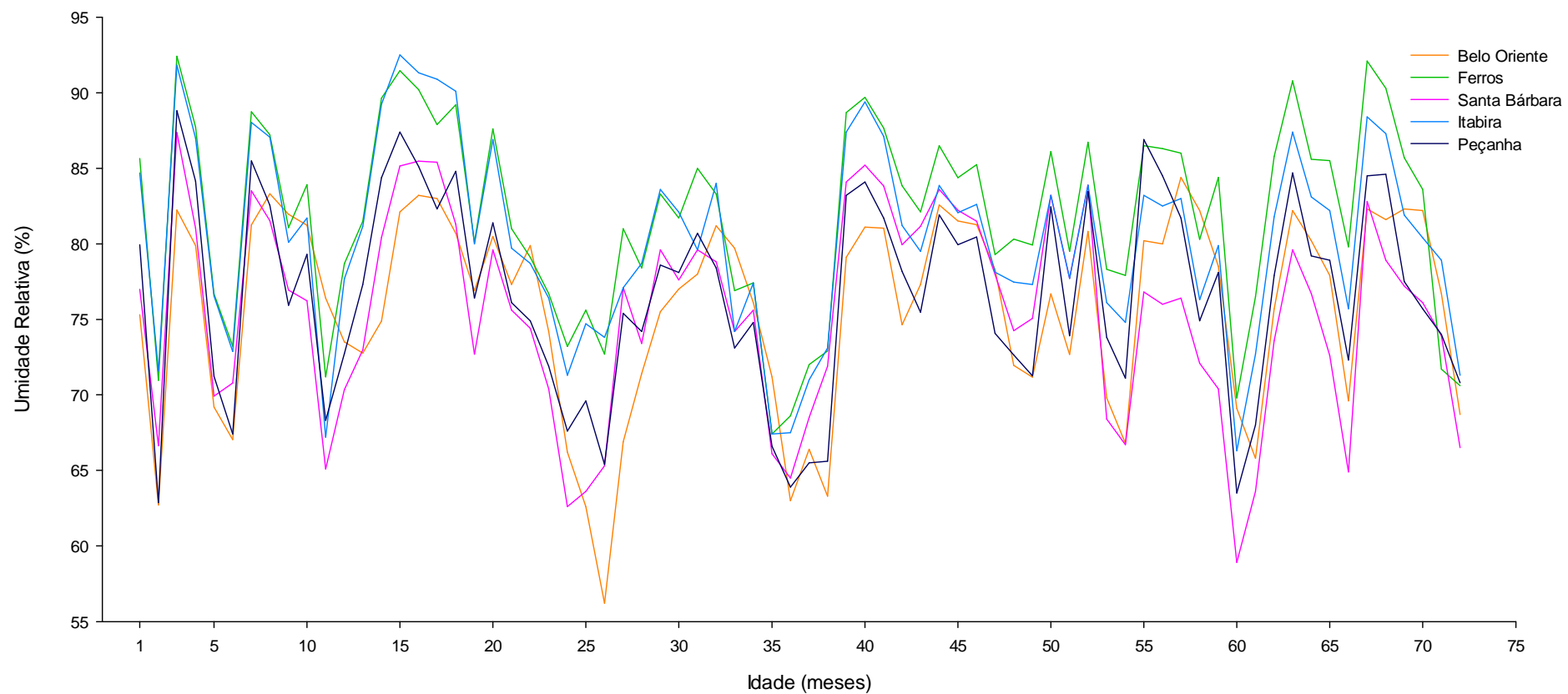
Anexo 1.2. Déficit hídrico mensal dos diferentes locais onde clones de *E. grandis* x *E. urophylla* foram cultivados por um período de 72 meses.



Anexo 1.3. Média mensal da temperatura para os diferentes locais onde clones de *E. grandis* x *E. urophylla* foram cultivados por um período de 72 meses.

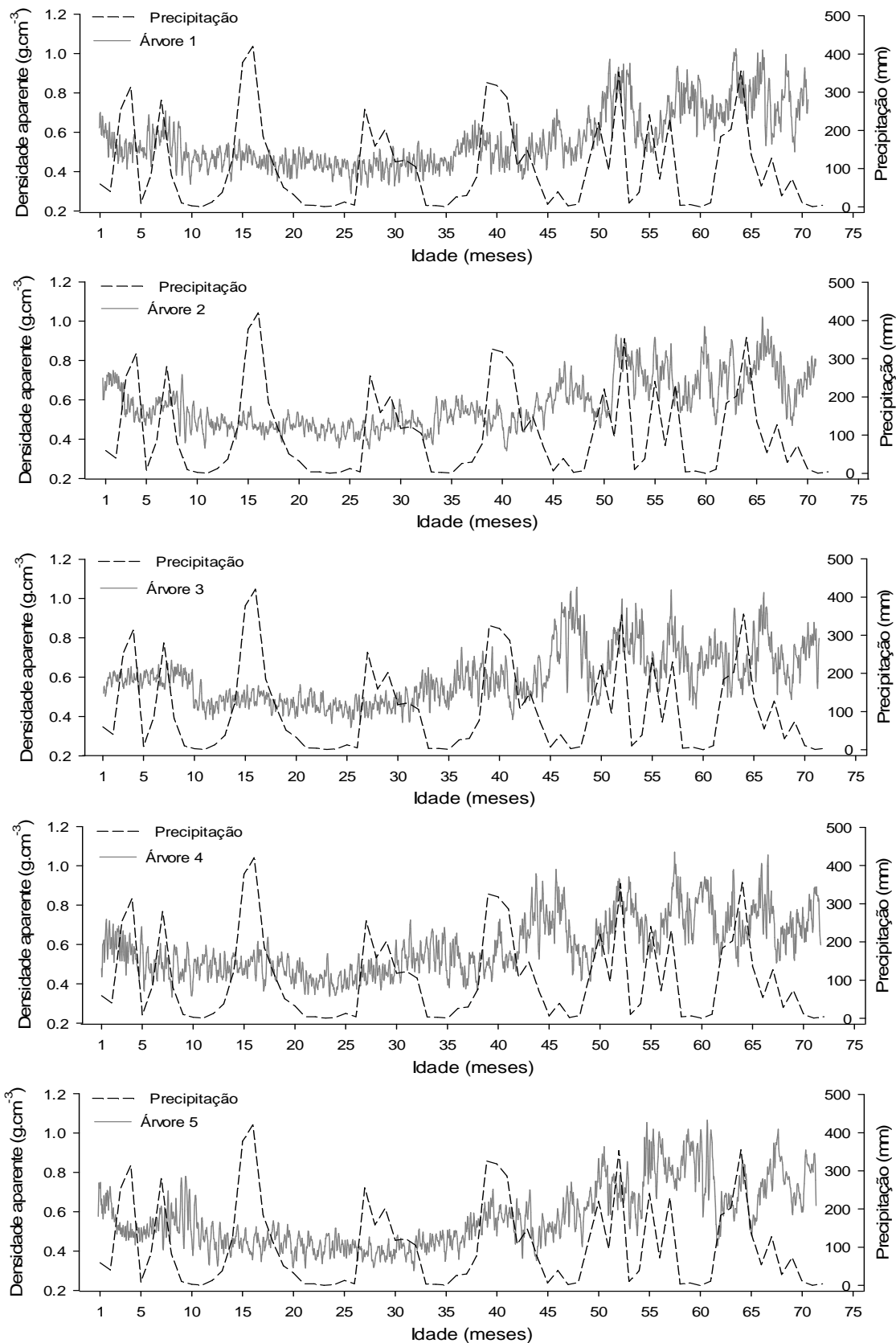


Anexo 1.4. Média mensal da umidade relativa do ar para os diferentes locais onde clones de *E. grandis* x *E. urophylla* foram cultivados por um período de 72 meses.

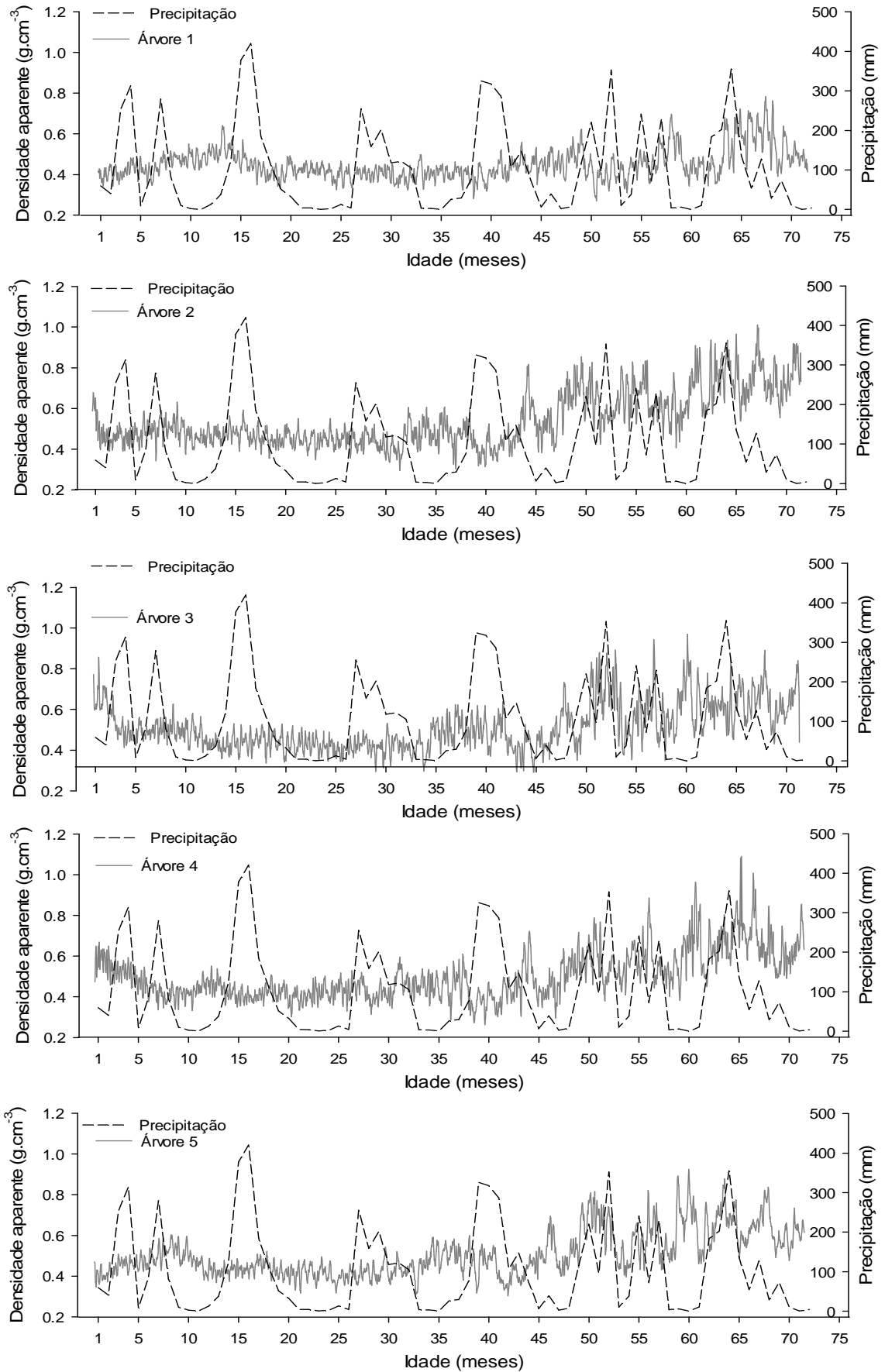


Anexo 2. Precipitação x densidade aparente da madeira.

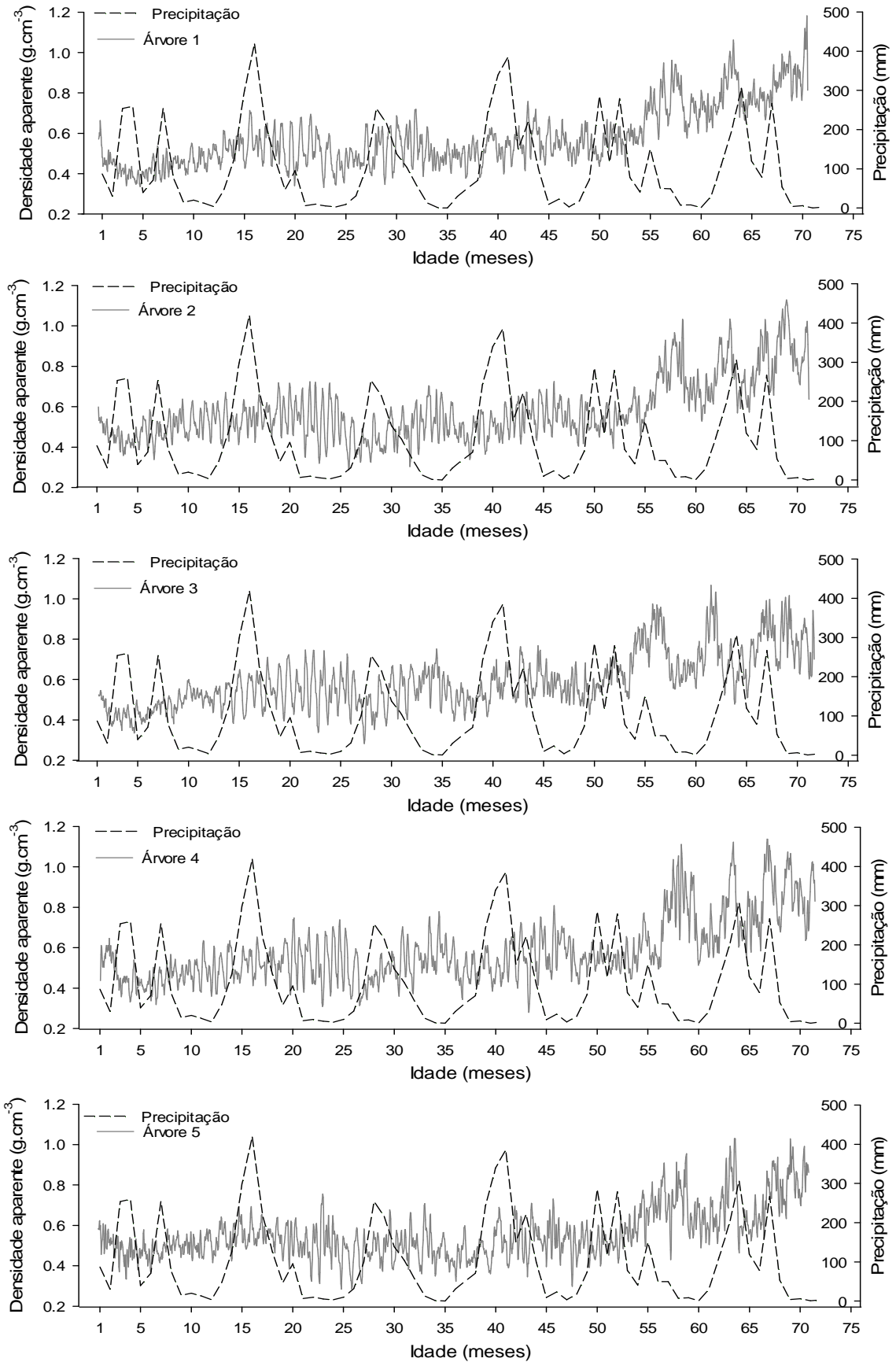
Anexo 2.1. Precipitação x densidade aparente da madeira na localidade de Belo Oriente, clone A.



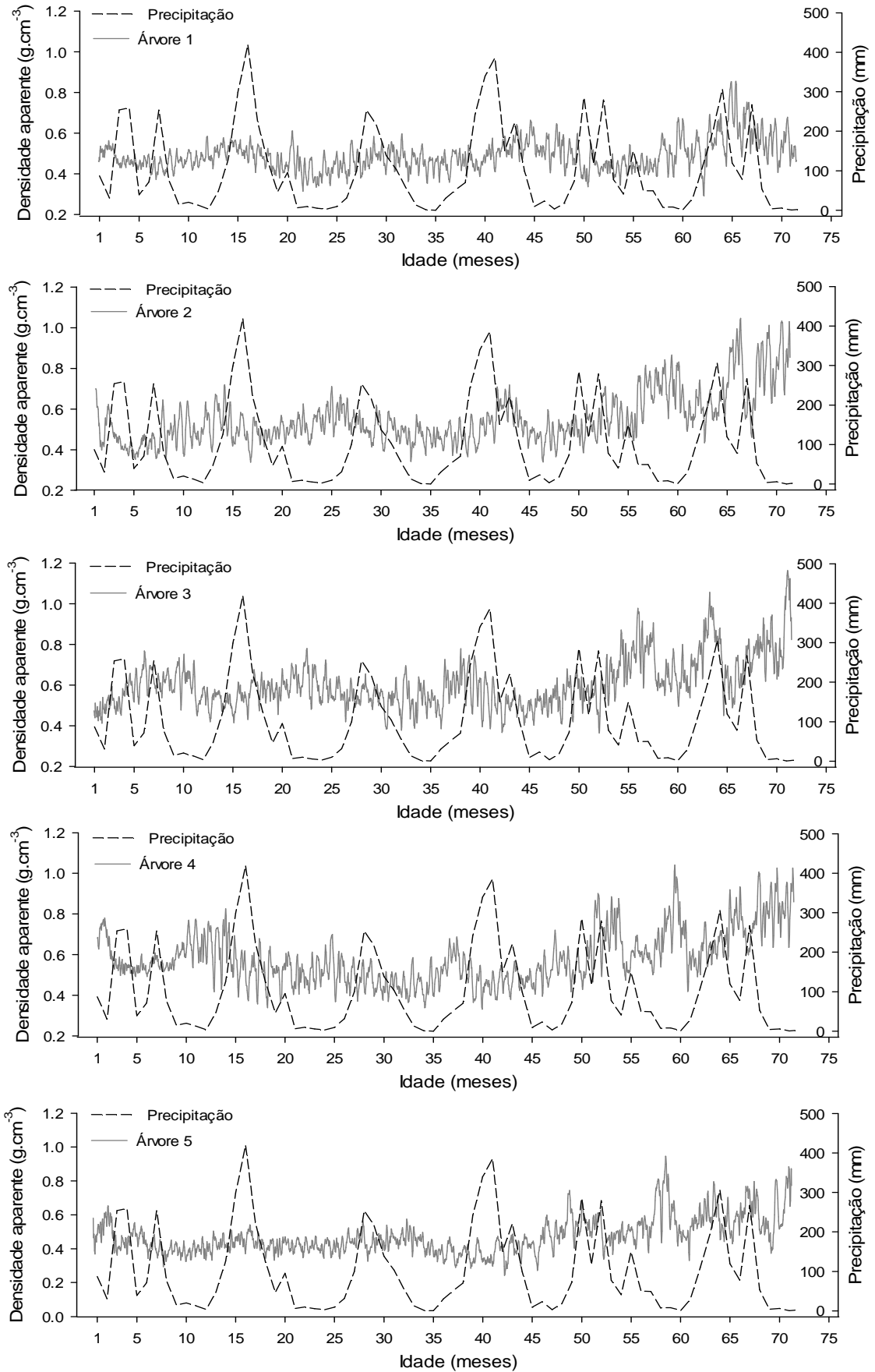
Anexo 2.2. Precipitação x densidade aparente na localidade de Belo Oriente, clone B.



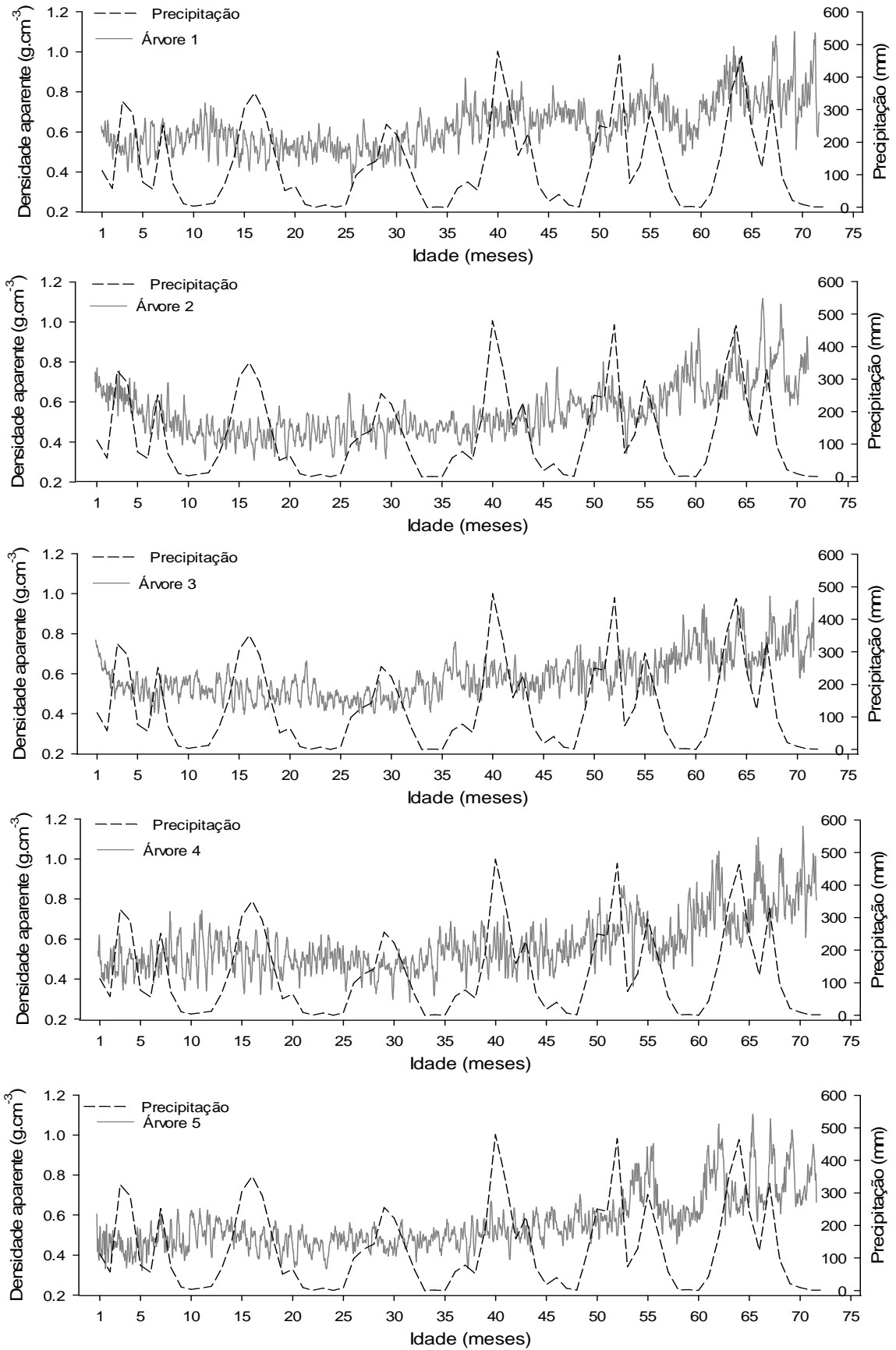
Anexo 2.3. Precipitação x densidade aparente da madeira na localidade de Ferros, clone A.



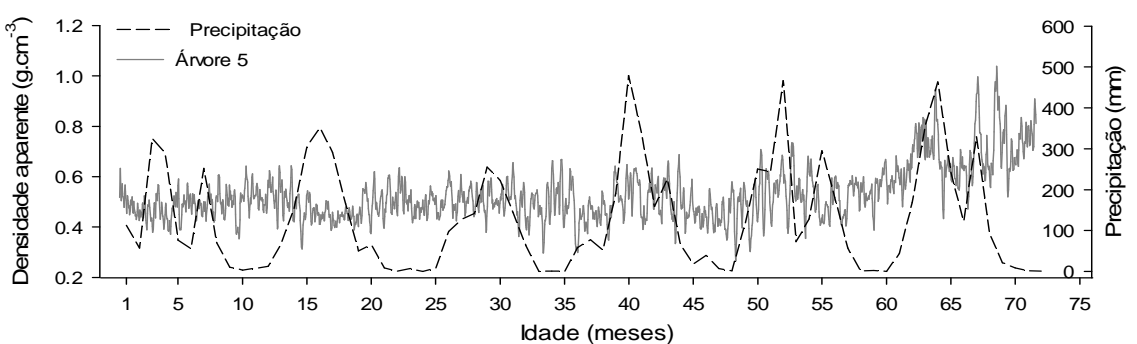
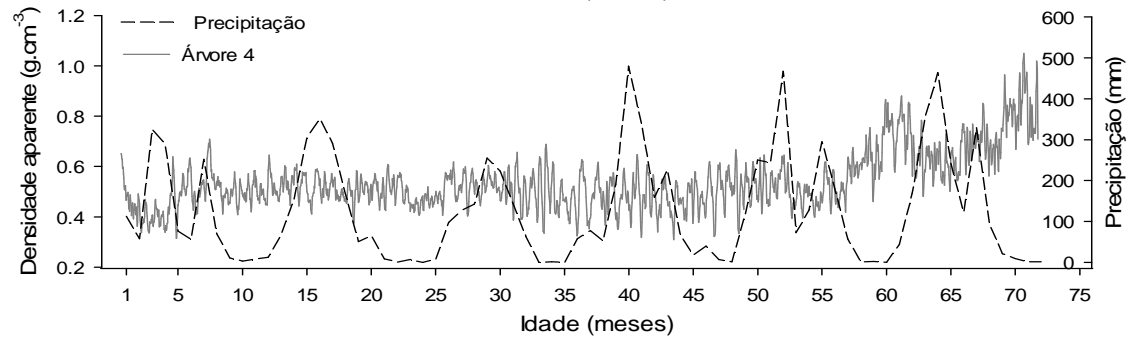
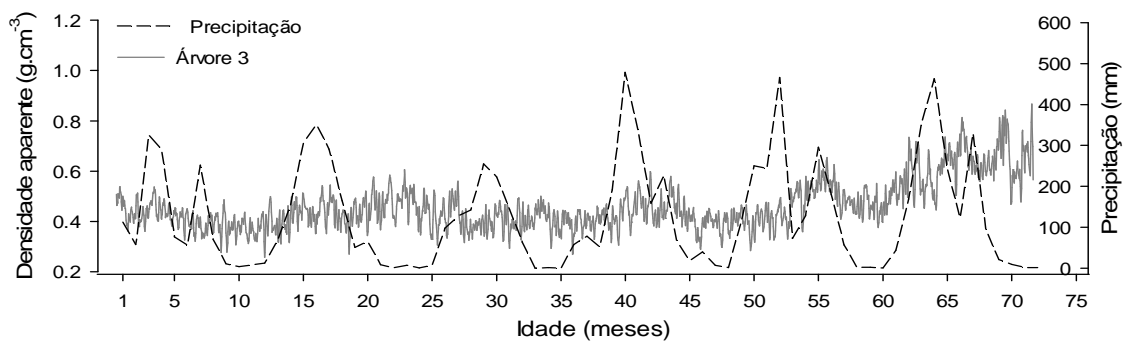
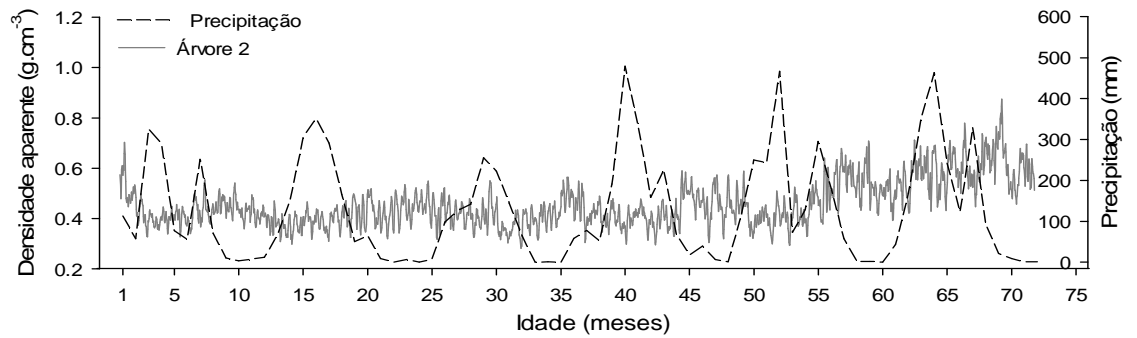
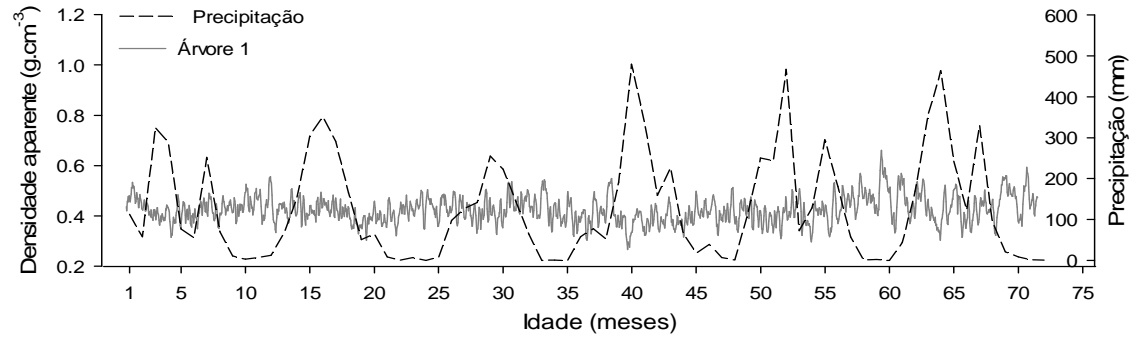
Anexo 2.4. Precipitação x densidade aparente da madeira na localidade de Ferros, clone B.



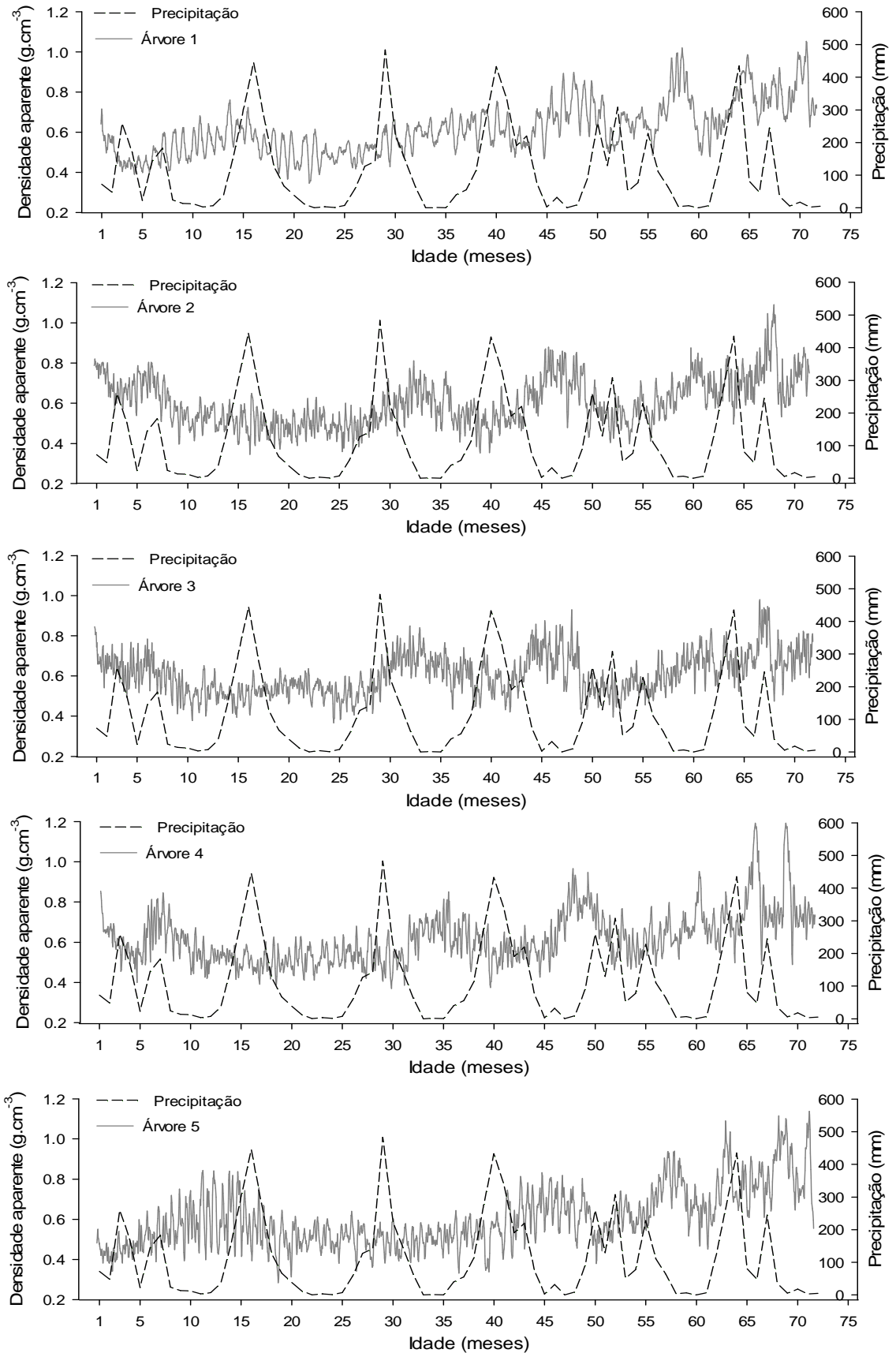
Anexo 2.5. Precipitação x densidade aparente da madeira na localidade de Santa Bárbara, clone A.



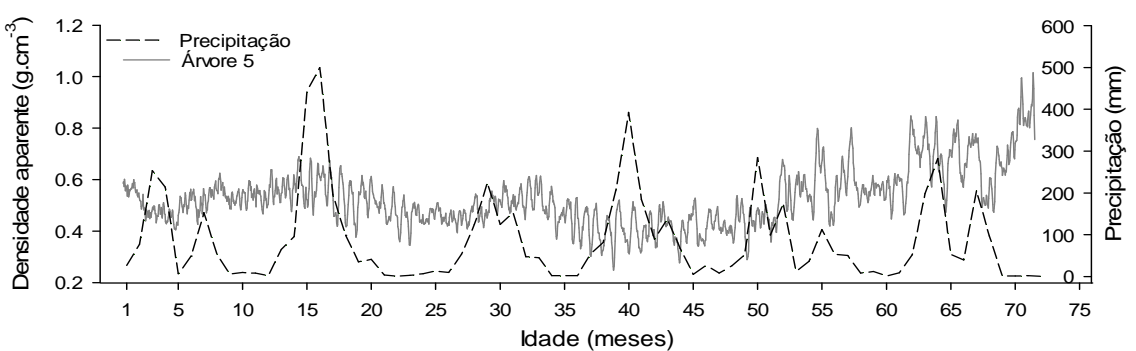
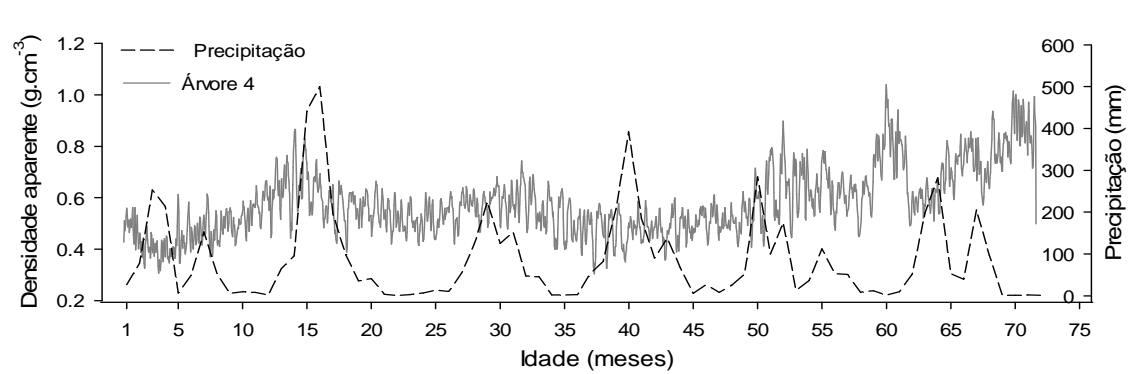
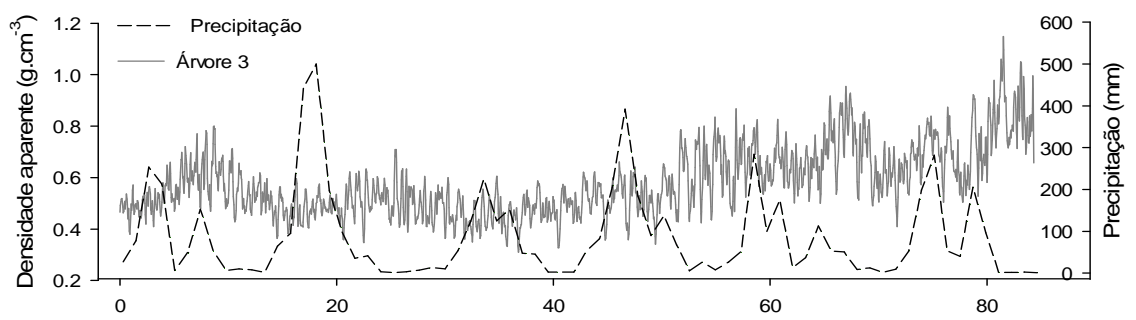
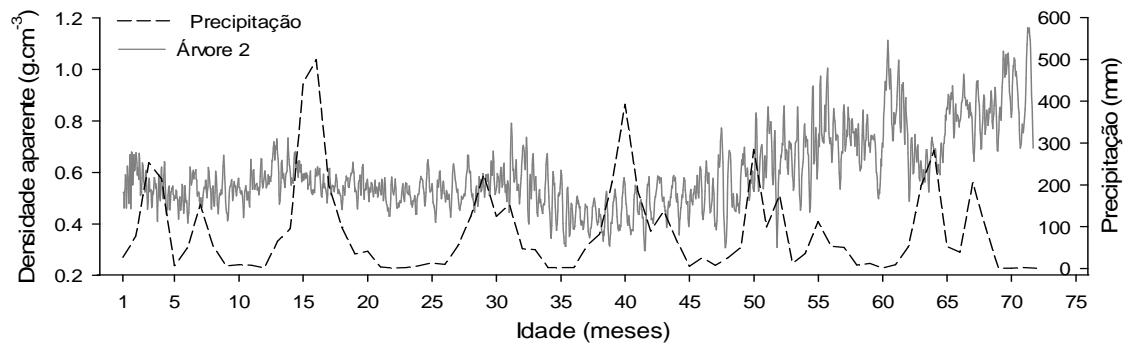
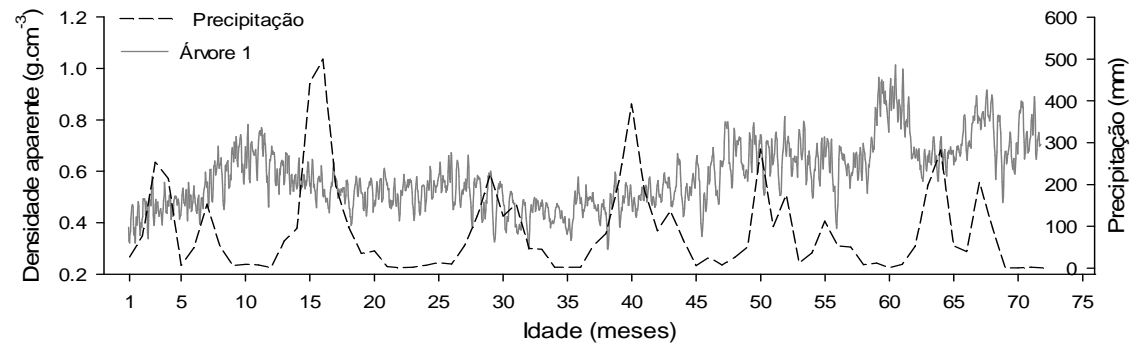
Anexo 2.6. Precipitação x densidade aparente da madeira na localidade de Santa Bárbara, clone B.



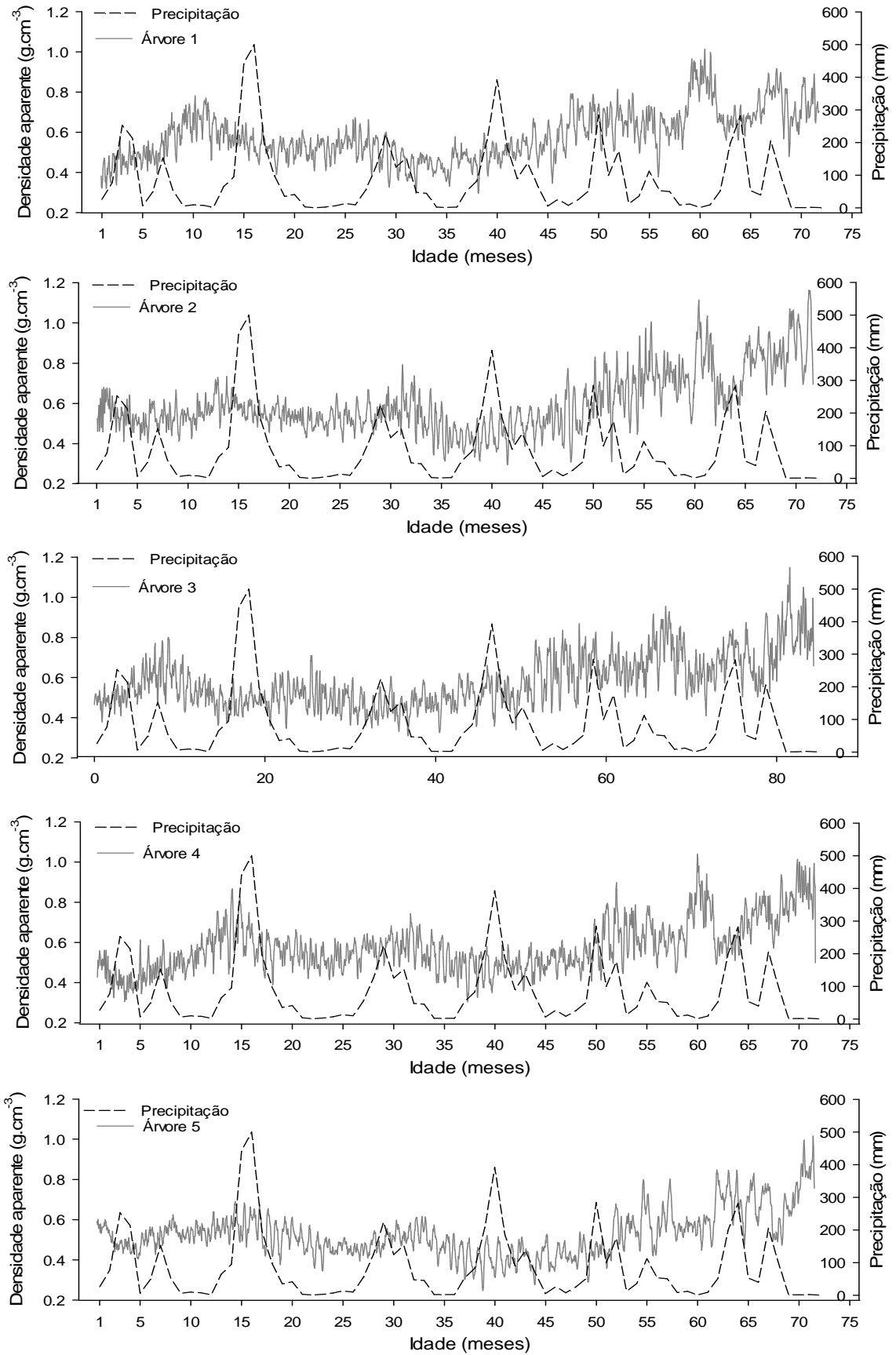
Anexo 2.7. Precipitação x densidade aparente da madeira na localidade de Itabira, clone A.



Anexo 2.8. Precipitação x densidade aparente da madeira na localidade de Itabira, clone B.

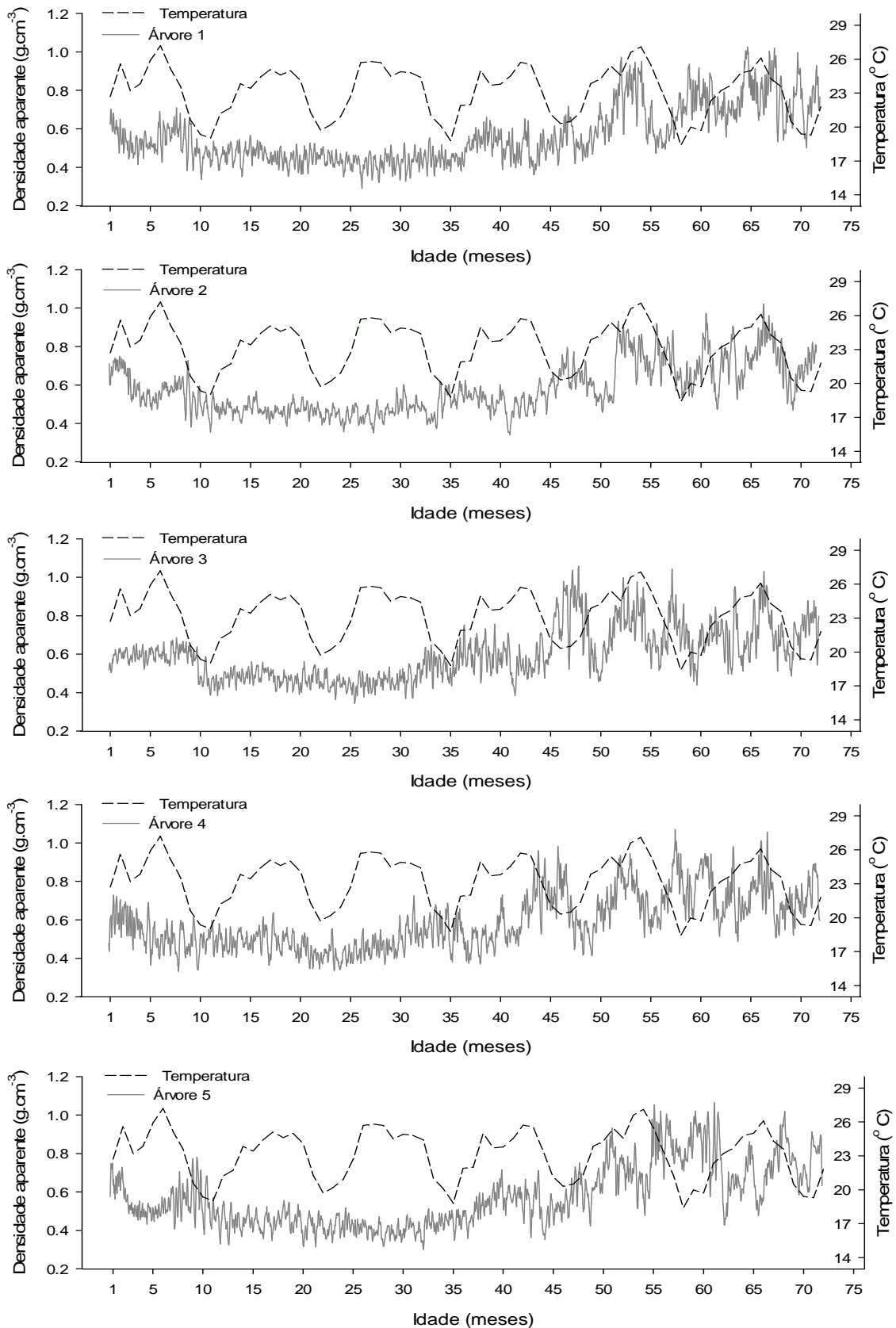


Anexo 2.9. Precipitação x densidade aparente da madeira na localidade de Peçanha, clone A.

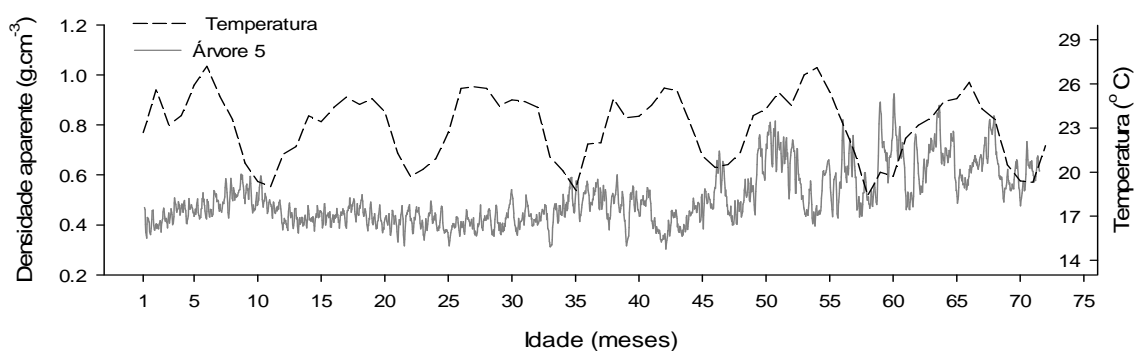
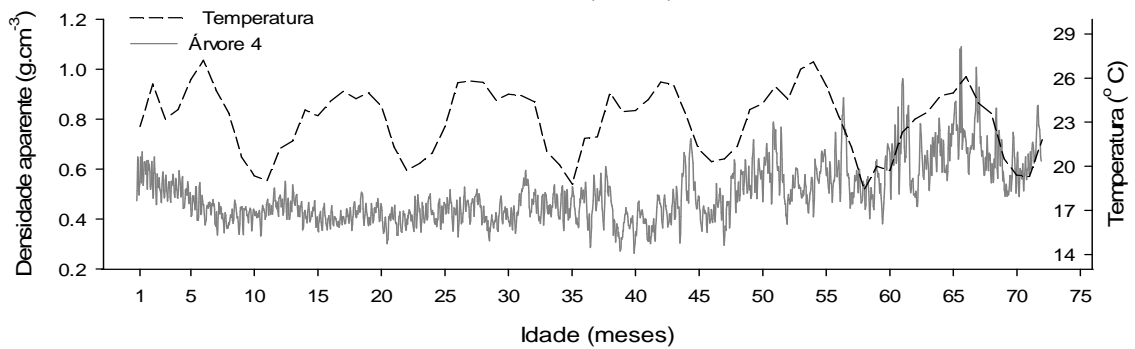
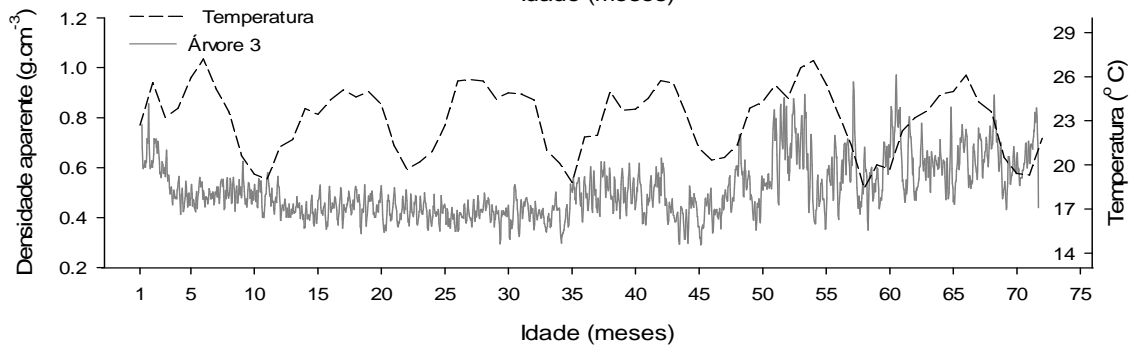
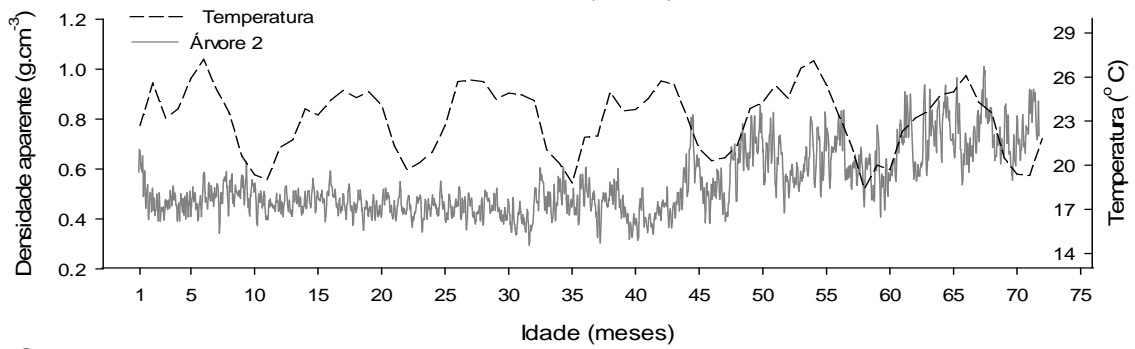
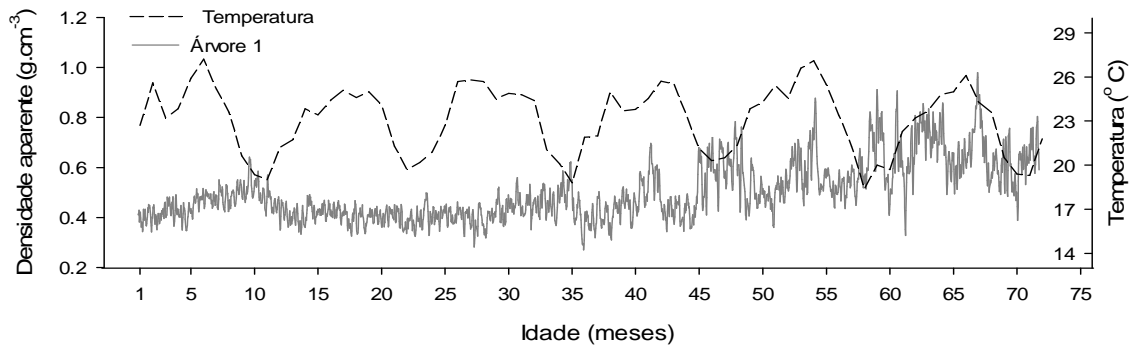


Anexo 3. Temperatura x densidade aparente da madeira.

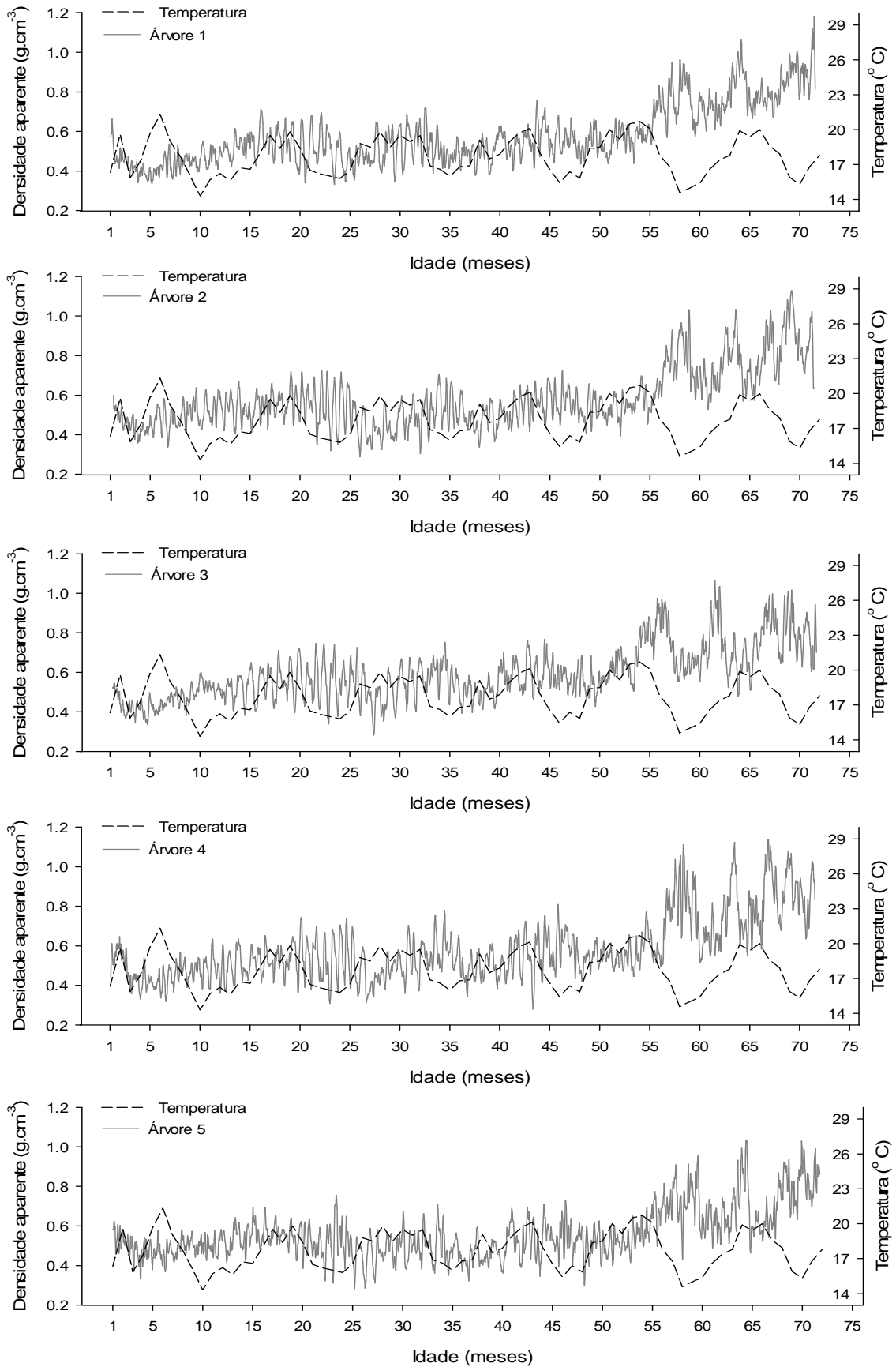
Anexo 3.1. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Belo Oriente, clone A.



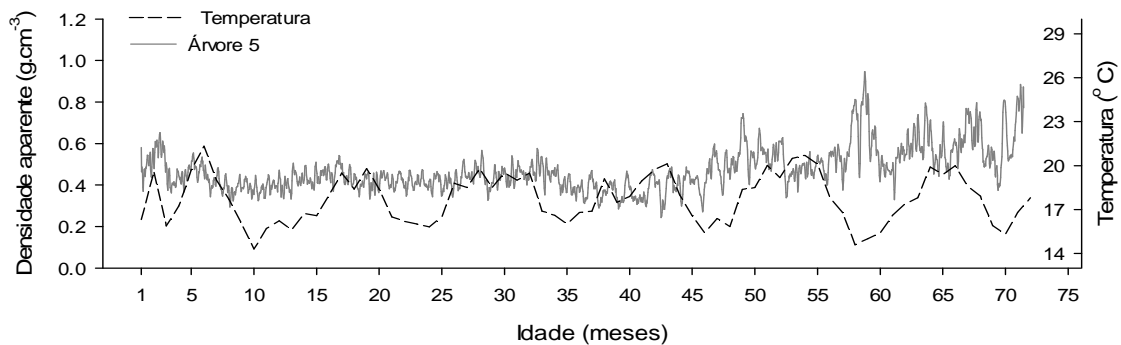
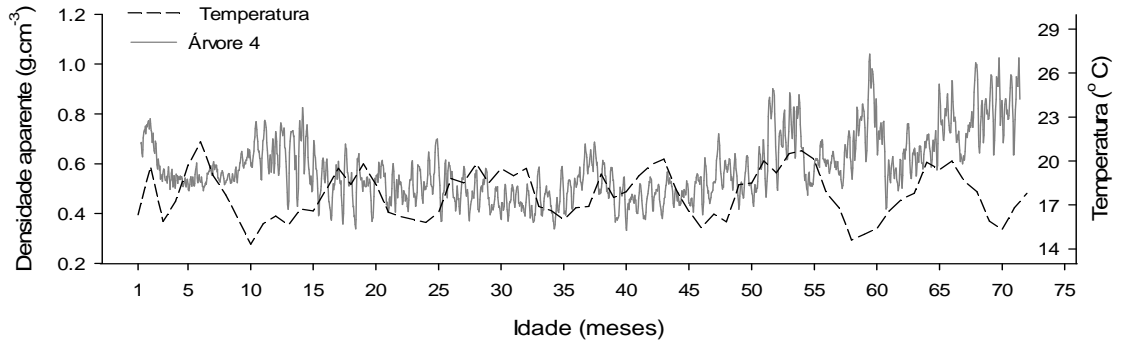
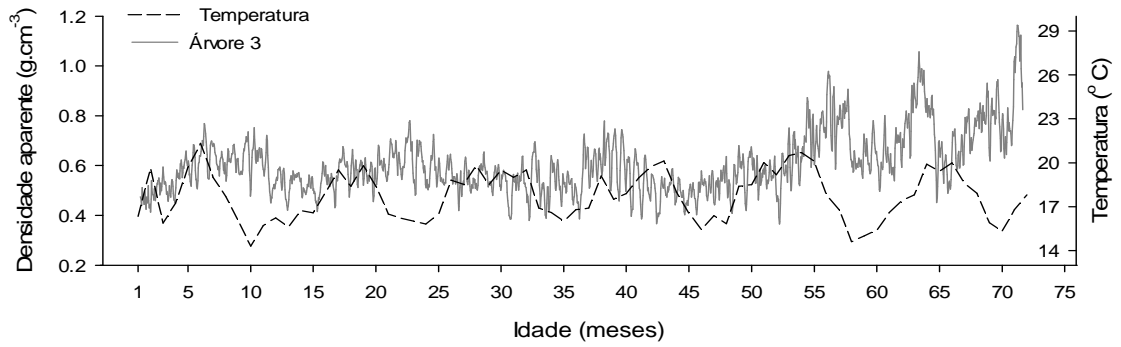
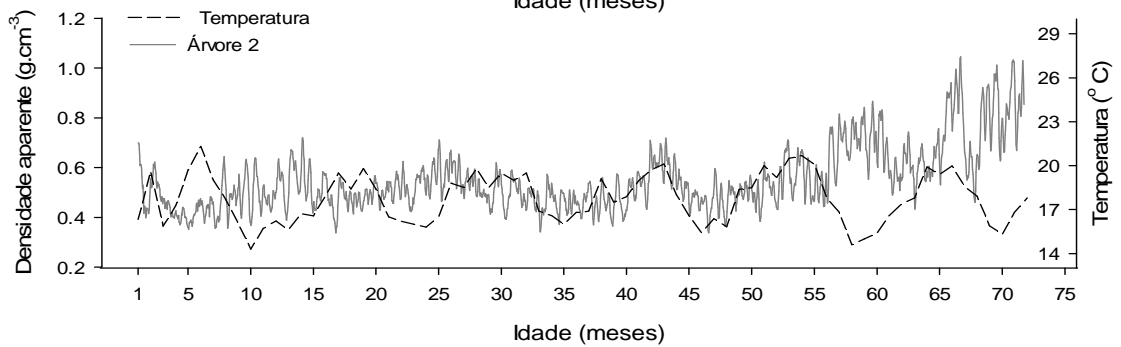
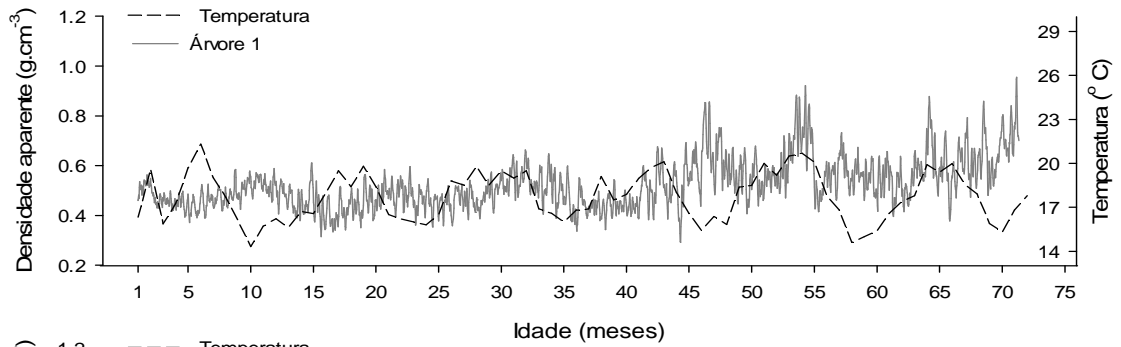
Anexo 3.2. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Belo Oriente, clone B.



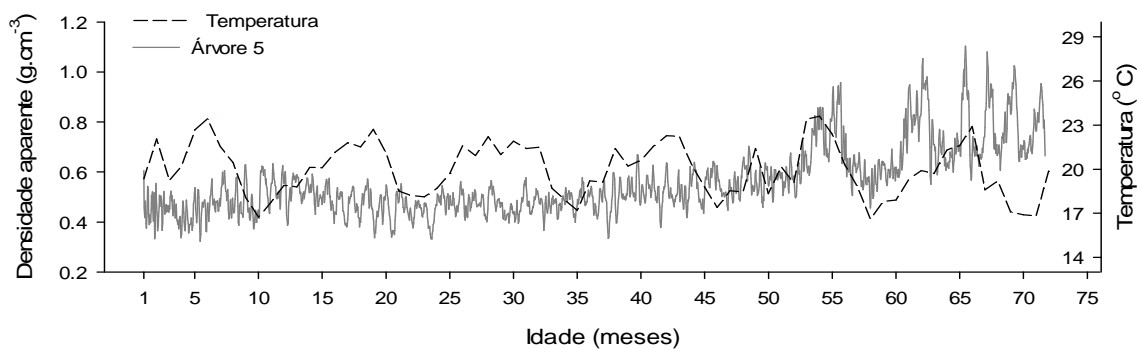
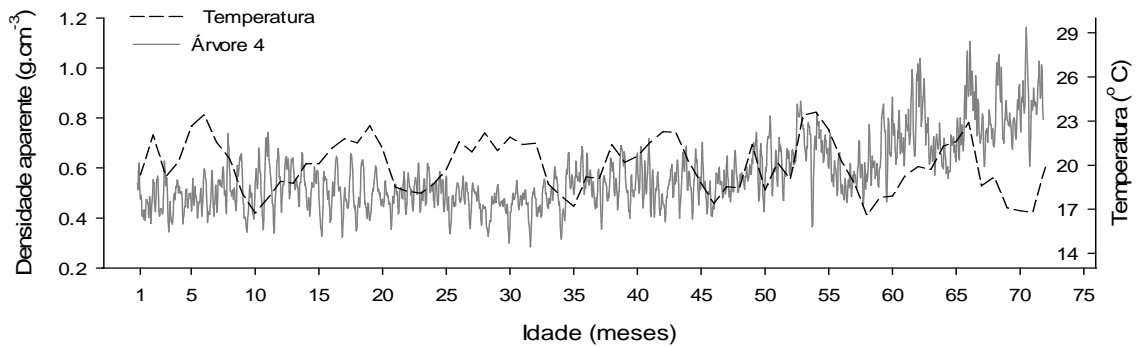
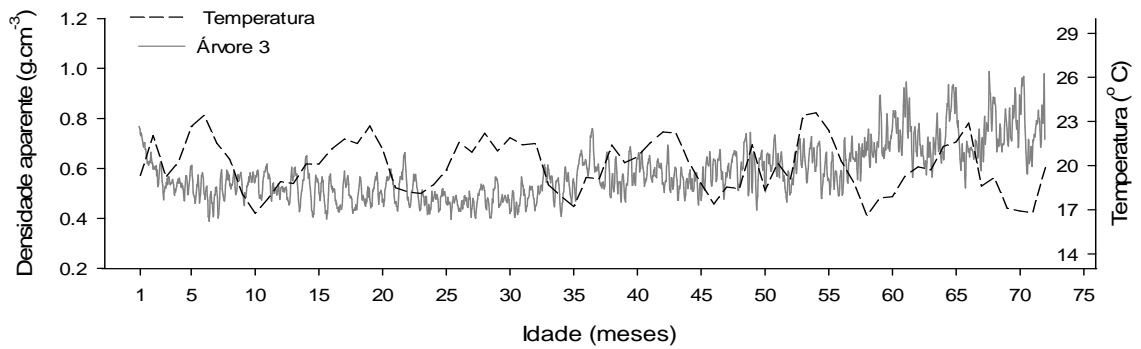
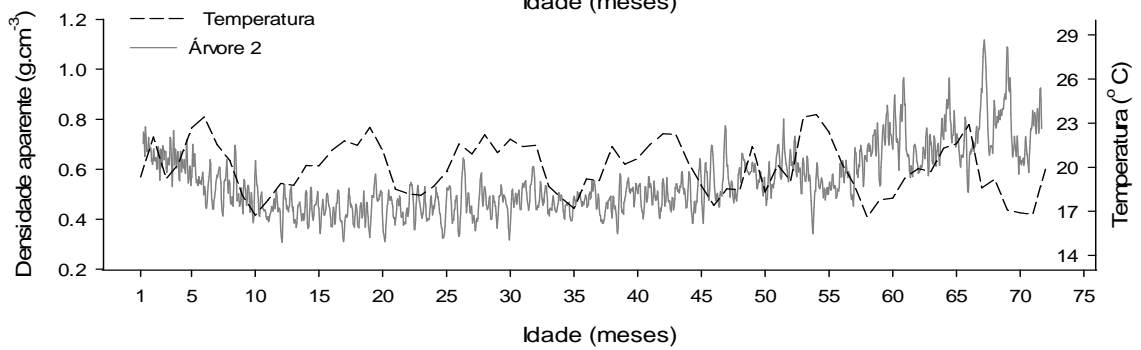
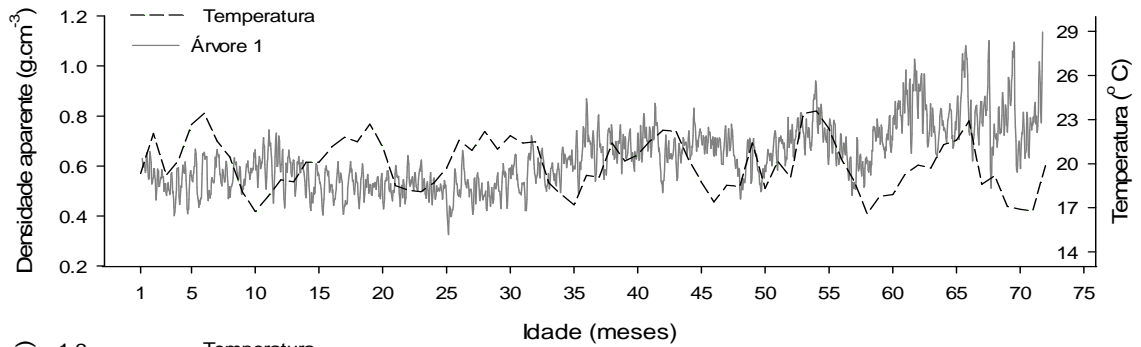
Anexo 3.3. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Ferros, clone A.



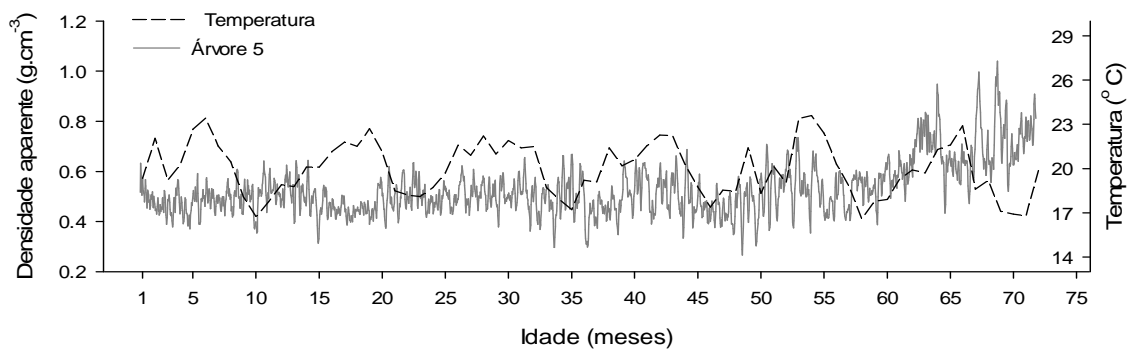
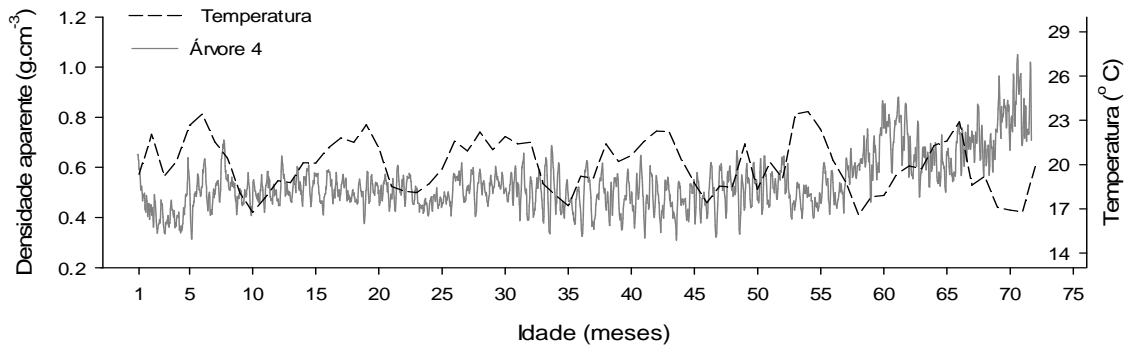
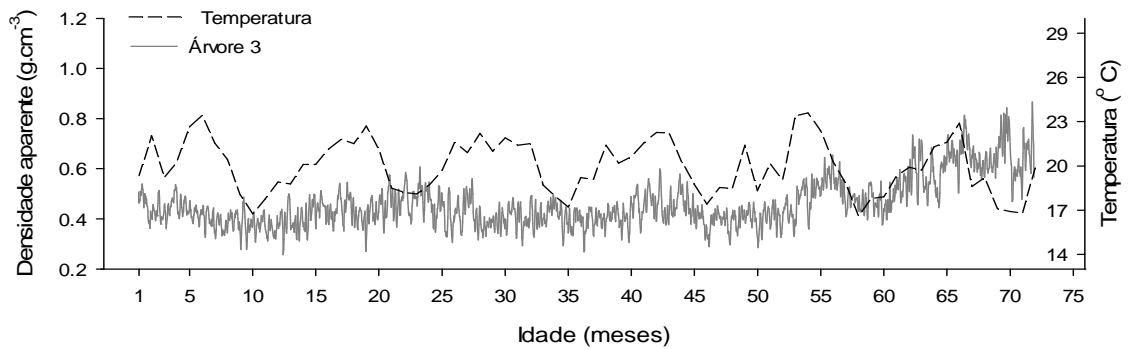
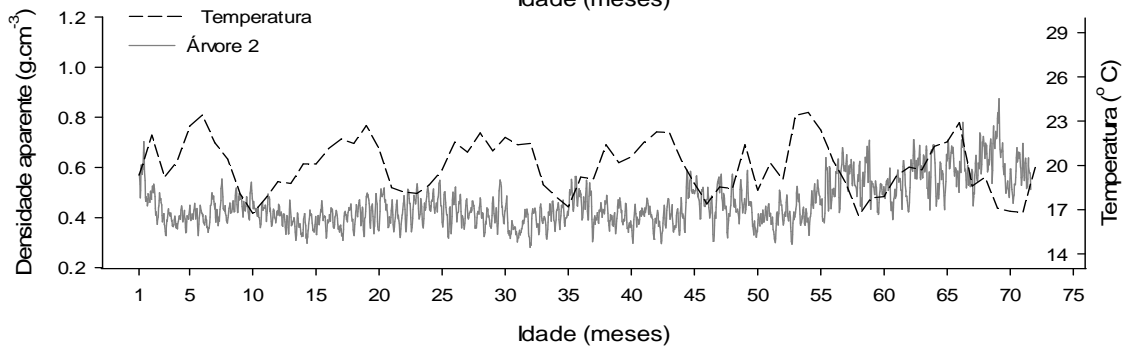
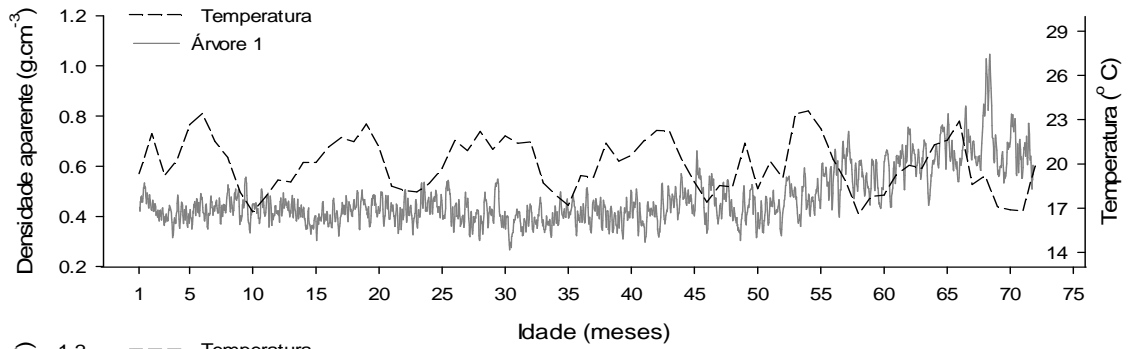
Anexo 3.4. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Ferros, clone B.



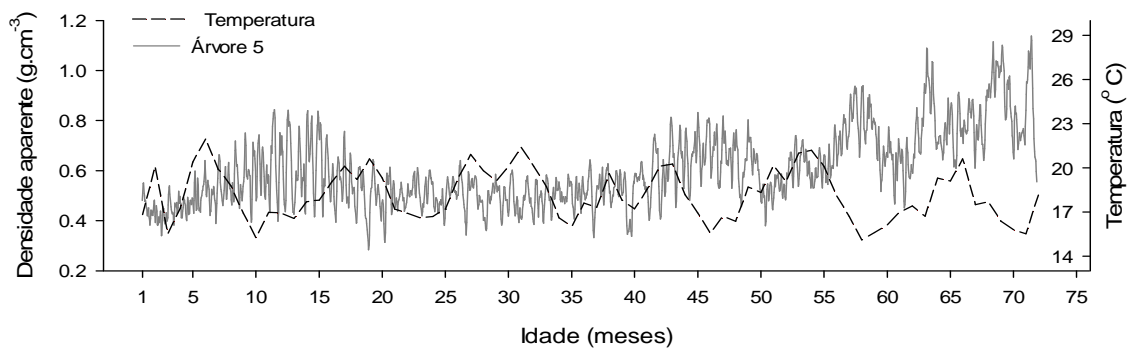
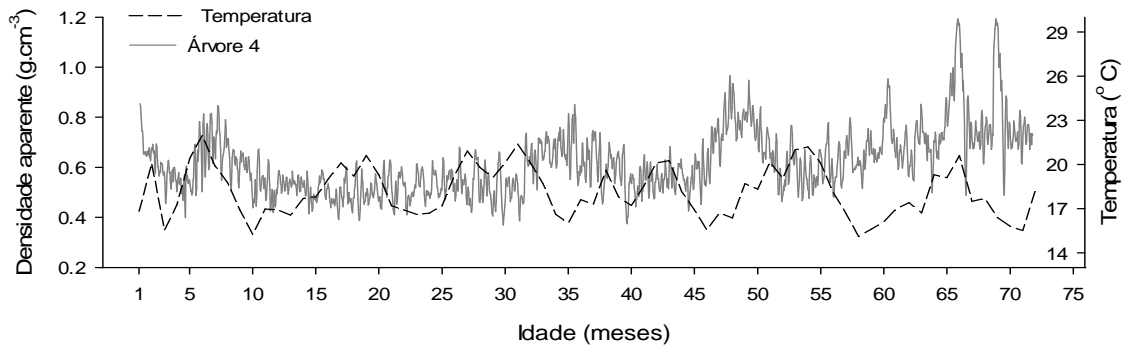
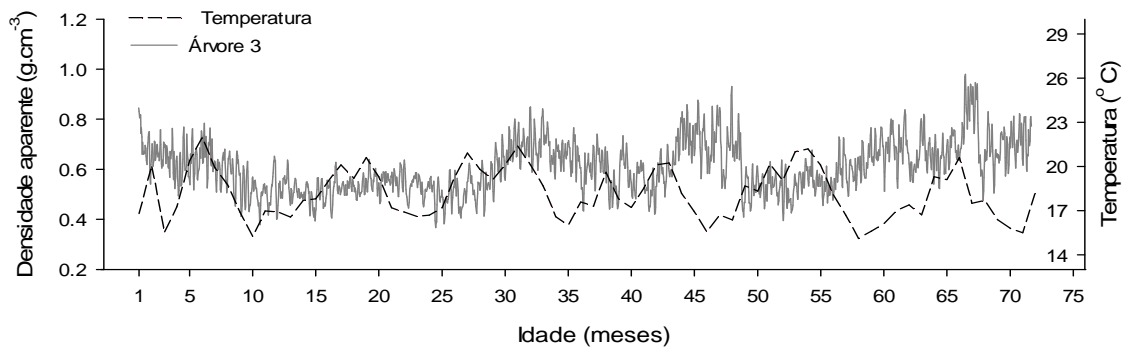
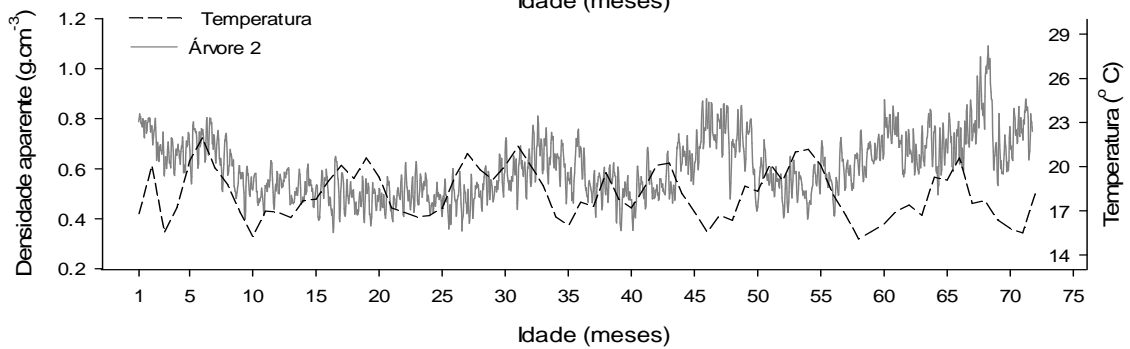
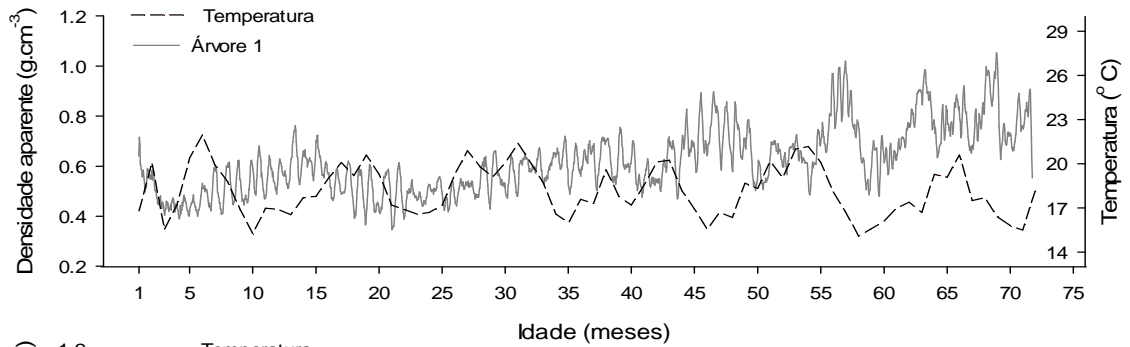
Anexo 3.5. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Santa Bárbara, clone A.



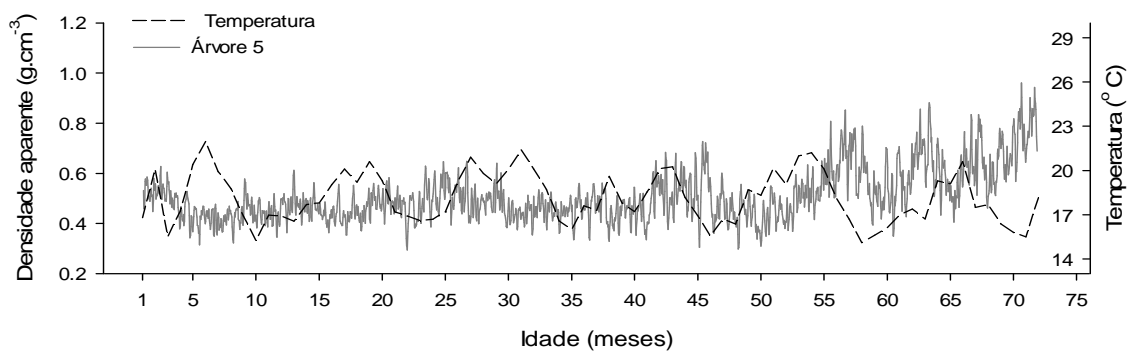
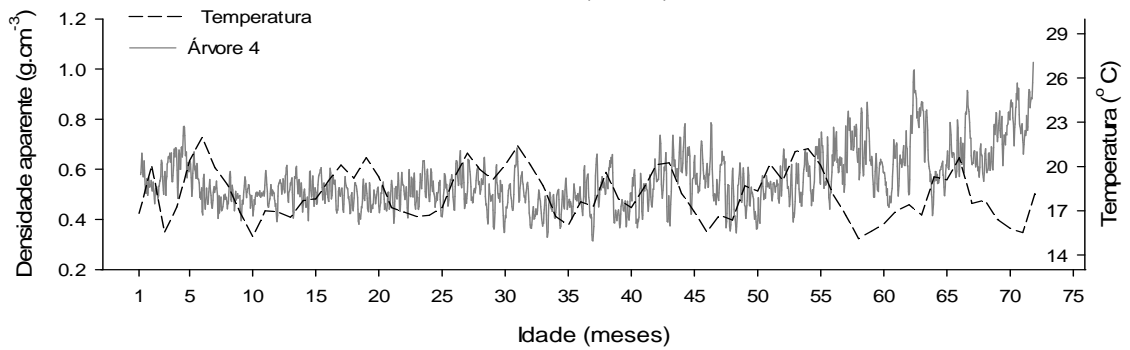
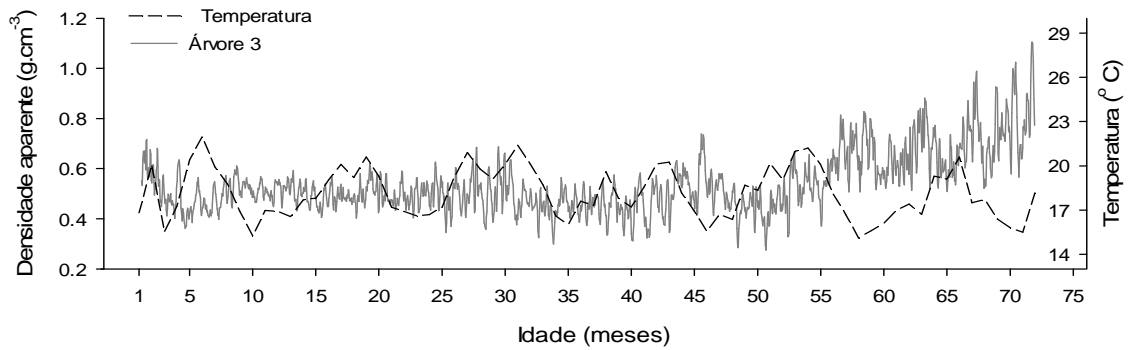
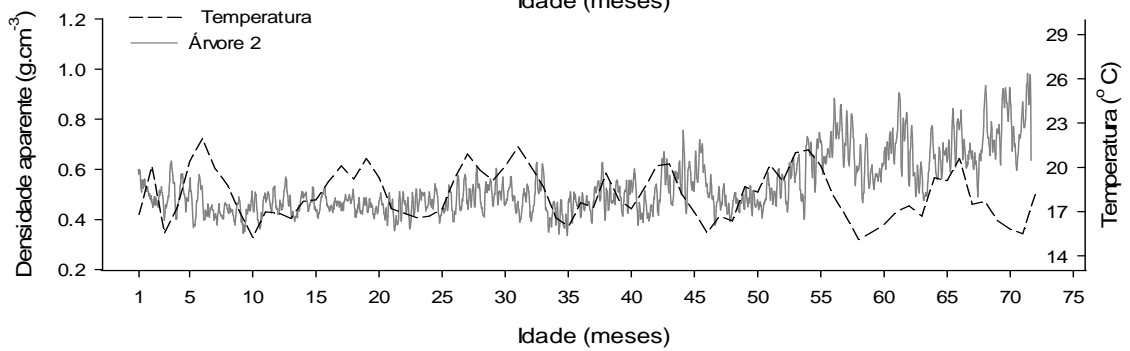
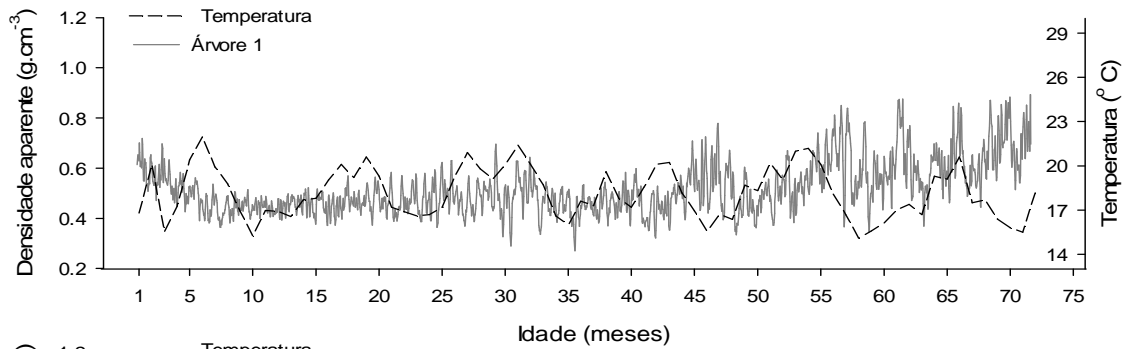
Anexo 3.6. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Santa Bárbara, clone B.



Anexo 3.7. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Itabira, clone A.



Anexo 3.8. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Itabira, clone B.



Anexo 3.9. Temperatura x densidade aparente da madeira na localidade de Peçanha, clone A.

