

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**TESE**

**Painéis aglomerados de madeira de *Acacia mangium* com adesivos de uréia-  
formaldeído e tanino em pó da casca de *Acacia mearnsii***

**Fabricio Gomes Gonçalves**

**2012**



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

**PAINÉIS AGLOMERADOS DE MADEIRA DE *Acacia mangium*  
COM ADESIVOS DE URÉIA-FORMALDEÍDO E TANINO EM PÓ  
DA CASCA DE *Acacia mearnsii***

**FABRICIO GOMES GONÇALVES**

*Sob orientação do Professor*  
**Roberto Carlos Costa Leles**

*e Co-orientação do Professor*  
**Edva Oliveira Brito**

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

Seropédica, RJ  
Dezembro de 2012

6	674.83	Gonçalves, Fabricio Gomes, 1972-
	G635p	Painéis aglomerados de madeira de Acacia
	T	mangium com adesivos de uréia-formaldeído e tanino em pó da casca de Acacia mearnsii / Fabricio Gomes Gonçalves – 2012.
		105 f.: il.
		Orientador: Roberto Carlos Costa Lelis.
		Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, 2012.
		Bibliografia: f. 59-72.
		1. Madeira aglomerada - Teses. 2. Acácia - Teses. 3. Adesivos - Teses. 4. Taninos – Teses. 5. Formaldeído – Teses. I. Lelis, Roberto Carlos Costa, 1965- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. III. Título.

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

FABRICIO GOMES GONÇALVES

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

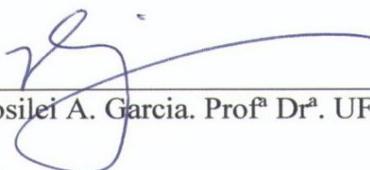
TESE APROVADA EM: 13/12/2012



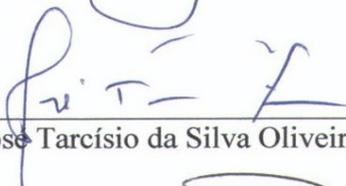
Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)



Alexandre Monteiro de Carvalho. Prof. Dr. UFRRJ



Rosilei A. Garcia. Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. UFRRJ



José Tarcísio da Silva Oliveira. Prof. Dr. UFES



Mário Tomazello Filho. Prof. Dr. ESALQ/USP

À minha esposa, Milane, pela paciência,  
companheirismo e sobretudo pela  
compreensão e dedicação à família.

Minha eterna gratidão !!!!

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em especial aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da área de Tecnologia e utilização de Produtos Florestais pela oportunidade de realização do curso.

À Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira pelo apoio e por permitir minhas ausências, com muito trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, campus de São João Evangelista, por colaborar e permitir que meus estudos pudessem ser continuados, e por ter proporcionado minha primeira experiência na área de educação.

Aos meus pais, Valmir Caetano Gonçalves e Ana Raquel Gomes Gonçalves pelo inestimável apoio, incentivo e confiança.

Ao Professor, tutor e amigo Roberto Carlos Costa Lelis pela orientação, dedicação e, principalmente, pela credibilidade em mim depositada.

Ao Professor, amigo e co-orientador Edvá Oliveira Brito pelas contribuições e sugestões inerentes a esta pesquisa.

Aos amigos Michel Cardoso Vieira e Gisely de Lima Oliveira pelas inúmeras e variadas contribuições acadêmicas e pelo apoio pessoal.

Às empresas Hexion Química, TANAC e CENIBRA, pela doação dos adesivos químicos comerciais, do tanino de acácia e da madeira de *Acacia mangium*, respectivamente.

Ao técnico de laboratório José Geraldo Lima de Oliveira (CCA/DCF/UFES) pelo inestimável apoio nas diferentes atividades realizadas.

Ao Prof. Mário Tomazello Filho pela disponibilização do Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raio X e nas análises de densitometria de raio X e ao Doutorando Vinícius de Castro, pela ajuda nas interpretações dos gráficos.

Aos Professores Adair José Regazzi, Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho e Adriano Ribeiro de Mendonça pela ajuda nas análises estatísticas.

A todos os demais que por algum motivo não estão aqui citados, mas contribuíram de forma significativa.

E, sobretudo a **DEUS**, soberano e Pai de todos nós, por permitir que minhas conquistas sejam transformadas em conforto para minha família.

## **BIOGRAFIA**

FABRICIO GOMES GONÇALVES, filho de Valmir Caetano Gonçalves e Ana Raquel Gomes Gonçalves, nasceu no município de Alegre, Estado do Espírito Santo, aos 18 de julho de 1972.

Em 1998, obteve o título de Engenheiro Florestal, pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, em Seropédica, RJ.

Em 1999, obteve o título de Especialista em Mudanças Globais e Desenvolvimento Sustentável, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, em São José dos Campos, SP.

Em 2006, obteve o título de Mestre em Produção Vegetal, área de concentração em Recursos Florestais, desenvolvendo estudos na linha de pesquisa de Tecnologia da Madeira, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, em Alegre, ES.

No período de 2006 a 2009 foi professor efetivo do quadro permanente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus de São João Evangelista, MG.

Em 2009, ingressou no curso de doutorado em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, em Seropédica, RJ.

Desde 2010 é professor do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, em Jerônimo Monteiro, ES; atuando nas áreas de painéis reconstituídos de madeira, adesivos naturais à base de taninos e gestão ambiental.

## RESUMO

GONÇALVES, Fabricio Gomes. **Painéis aglomerados de madeira de *Acacia mangium* com adesivos de uréia-formaldeído e tanino em pó da casca de *Acacia mearnsii***. 2012. 105f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar a utilização do tanino comercial de *Acacia mearnsii* na forma de pó aplicados diretamente às partículas de madeira de *Acacia mangium* na confecção de painéis aglomerados. Foram avaliados: as propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira de *A. mangium*; as propriedades física, mecânica e química dos painéis aglomerados confeccionados com esta madeira; e, os perfis de densidade aparente por intermédio da técnica de densitometria de raios X. Dez árvores de *A. mangium* com aproximadamente 50 meses de idade foram coletadas no município de Santa Bárbara, MG; destas, cinco foram analisadas quanto às propriedades tecnológicas, as demais foram transformadas em partículas utilizadas na confecção de painel aglomerado. Na confecção dos painéis, os taninos foram aplicados na forma de pós após a aplicação do adesivo uréia-formaldeído (UF) para diferentes razões de compactação (1,39; 1,55; 1,73; 2,00) dos painéis. Os resultados mostram que a densidade básica média encontrada ( $0,34 \text{ g.cm}^{-3}$ ) foi relativamente baixa para a idade e/ou espécie. O pH e a capacidade tampão da madeira variaram de 5,45 a 5,90 e de 0,05 a 0,104 mmolNaOH, respectivamente. Os extrativos encontrados não indicaram haver uma variação significativa ao longo da árvore. Os caracteres anatômicos apresentaram pequenas variações quando comparados com árvores mais adultas. Os painéis aglomerados confeccionados sob quatro razões de compactação e o efeito destas nas propriedades dos painéis apresentaram comportamento diferente em função do teor de tanino em pó (0, 10, 20 e 30%) aplicado às partículas após encoladas com uréia-formaldeído. Pode-se afirmar que a adição de tanino em pó proporcionou melhorias em algumas propriedades físicas e mecânicas, havendo efeito significativo entre a razão de compactação e os adesivos utilizados. Houve variações de densidade, dentro dos tratamentos e no perfil de densidade. Os perfis de densidade por densitometria de raios X ao longo da espessura dos painéis mostraram significativas variações da estrutura, nas razões de compactação a diferentes concentrações de tanino em pó. A técnica de raios X para obtenção direta da densidade, por meio não destrutivo foi positiva.

**Palavras-chave:** Tecnologia de chapa aglomerada, adesivo natural, madeira.

## ABSTRACT

GONÇALVES, Fabricio Gomes. **Particleboards of the *Acacia mangium* wood with adhesives of urea formaldehyde and powder tannin from the bark *Acacia mearnsii*.** 2012. 105f. Thesis (Doctor Science in Environmental and Forestry Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

The present study aimed to evaluate the use of *Acacia mangium* wood and powdered commercial tannin from of the *A. mearnsii* to make particleboard. The physical and chemical properties and wood anatomy of *A. mangium* were evaluated. The physical, mechanical, chemical properties of the particleboards made with this timber, and their apparent density profiles by X-ray densitometry were determined. Ten trees of *A. mangium* with approximately 50 months were collected in the region of Santa Bárbara, MG, where was used five trees for the technological properties. The others trees were transformed into particles for manufacture of particleboard. In the production of the particleboards, tannins were applied in powdered form after application of the urea-formaldehyde adhesive (UF) for different compression ratios (1.39; 1.55; 1.73; 2.00) of the particleboards. The results showed that the average specific gravity ( $340 \text{ kg.m}^{-3}$ ) was relatively low for the age and/or the specie. The pH and buffer capacity ranged from 5.45 to 5.90 and from 0.05 to 0.104 mmolNaOH, respectively. The extractives found presented low levels, indicating no significant variation along the tree. The anatomical characters presented small variations in behavior compared to older trees. The particleboard were made with four compaction ratio and the effect on the properties of these showed different behavior due to the proportion of powder form tannin (0, 10, 20 and 30%) applied to the particles with urea-formaldehyde adhesive. The addition of powdered tannin yielded improvement on some physical and mechanical properties, with significant effect between the compaction ratio and the adhesives used. There were variations in density within treatments and density profile. The density profile by X-ray scanning across the thickness of the panel structure showed significant variations in the compaction ratio in different concentrations of powder form tannin. The x-ray scanning technique to be obtained non-destructive evaluation of density distribution in the particleboard was positive.

**Key words:** Particleboard technology, natural adhesive, wood.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Painéis aglomerados .....	3
2.2 A madeira de <i>Acacia mangium</i> .....	4
2.3 Influência da anatomia no processo de adesão .....	5
2.4 Adesivos sintéticos para colagem de madeira .....	6
2.5 Tipos de taninos.....	6
2.5.1 Taninos condensados .....	7
2.5.2 Taninos hidrolisáveis.....	8
2.6 Taninos na produção de adesivos .....	9
2.7 Densitometria de Raio X em painéis reconstituídos.....	11
3. CAPÍTULO I.....	12
CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, QUÍMICA E FÍSICA DA MADEIRA DE <i>Acacia mangium</i> Willd.....	12
RESUMO .....	13
ABSTRACT .....	14
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.1 Descrição do material de estudo e da região de coleta .....	16
2.2 Avaliação das características físicas e químicas da madeira.....	16
2.2.1 Densidade básica .....	16
2.2.2 Teor de extrativos .....	16
2.2.3 Valor do pH e capacidade tampão da madeira .....	17
2.3 Descrição anatômica quantitativa.....	17
2.3.1 Mensuração de vasos e raios .....	17

2.3.2 Mensuração das fibras .....	18
2.4 Análise dos dados .....	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
3.1 Caracterização da densidade, do pH e dos extrativos da madeira de <i>Acacia mangium</i> .....	18
3.2 Caracterização anatômica da madeira de <i>Acacia mangium</i> .....	21
4 CONCLUSÕES .....	23
4. CAPÍTULO II.....	25
COLAGEM DE PAINÉIS AGLOMERADOS COM URÉIA-FORMALDEÍDO SOB ADIÇÃO DE TANINO EM PÓ .....	25
RESUMO .....	26
ABSTRACT .....	27
1 INTRODUÇÃO.....	28
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1 Origem da matéria-prima.....	29
2.2 Preparo dos painéis.....	29
2.4 Análise estatística .....	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
3.1 Propriedades físicas e químicas dos painéis .....	31
3.2 Propriedades mecânicas dos painéis.....	37
3.3 Potencial de hidrogênio .....	41
4 CONCLUSÕES .....	42
5. CAPÍTULO III .....	44
DENSITOMETRIA DE RAIOS X NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PAINEL AGLOMERADO DE <i>Acacia mangium</i> .....	44
RESUMO .....	45
ABSTRACT .....	46
1 INTRODUÇÃO.....	47
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	47

2.1 Caracterização dos painéis aglomerados .....	47
2.2 Confeção dos corpos de prova dos painéis aglomerados.....	48
2.3 Determinação dos parâmetros de densidade dos painéis aglomerados .....	48
2.3.1 Densidade aparente dos painéis aglomerados por microdensitometria de raio X.....	48
2.3.2 Densidade aparente dos painéis aglomerados por gravimentria.....	50
2.4 Análise estatística .....	50
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
3.1 Densidade aparente dos painéis de partículas de madeira de <i>Acacia mangium</i> .....	50
3.2 Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados por densitometria de raio X .....	52
3.3 Correlação entre densidade aparente, obtida por raio X e densidade gravimétrica.....	55
3.4 Valores de densidades média, máxima e mínima.....	56
4 CONCLUSÕES .....	56
6. CONCLUSÕES GERAIS .....	57
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	58
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
APÊNDICE I.....	73
APÊNDICE II.....	78
ANEXO I.....	94

## 1. INTRODUÇÃO

Os painéis aglomerados, também chamados de chapas de partículas ou chapas de madeira aglomerada são produtos fabricados com fragmentos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos, mediante aglutinação com adesivos sintéticos, naturais ou mistos, submetidos à prensagem a quente para completa cura do adesivo.

Os adesivos sintéticos uréia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF) e melamina-formaldeído (MF) são os mais utilizados na fabricação dos painéis aglomerados. No emprego de painéis para áreas externas são obtidos excelentes resultados com o adesivo à base de fenol-formaldeído, uma vez que este proporciona boa resistência à umidade. Para ambientes internos, os adesivos mais utilizados são os adesivos à base de uréia-formaldeído.

A partir da década de 1970, com a crise do petróleo, surgiram novas pesquisas buscando por tecnologias de produção de novos adesivos, principalmente à base de matérias primas naturais, a exemplo do tanino (COPPENS et al., 1980; SANTANA et al., 1981).

Ainda hoje, devido à fragilidade dos produtos sintéticos advindos de fontes de matérias primas não-renováveis, a utilização de resinas à base de extratos tânico de casca de espécies florestais tem sido alvo de inúmeras investigações (MORI et al., 1999; CARNEIRO et al., 2001; TOSTES et al., 2004; CARNEIRO et al., 2009; MELO et al., 2010; HOONG et al., 2011; VALENZUELA et al., 2012).

Os taninos são considerados polifenóis devido a grande quantidade de anéis fenólicos presentes em sua estrutura, com massa molecular variando entre 500 a 3000 g/mol aproximadamente. Os taninos são classificados quimicamente em taninos hidrolisáveis e taninos condensados. Os taninos hidrolisáveis apresentam na sua constituição monômeros de ácido gálico ou ácido elágico, enquanto que os taninos condensados são polifenóis com unidades flavonóidicas (flavan-3-ol e flavan-3,4-diol), em vários graus de condensação (HOINACKI, 1994; MORI et al., 2003).

Os taninos estão presentes principalmente na casca de algumas espécies florestais, como *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp. e algumas leguminosas de amplo conhecimento, como a *Acacia mearnsii*, mais utilizada na exploração e industrialização de taninos.

O maior emprego dos taninos pela indústria ocorre no curtimento de couro. O mercado mundial de taninos vegetais oscila em torno de 160 mil t/ano, sendo que aproximadamente 100 mil toneladas são provenientes de plantios de acácia negra (*Acacia mearnsii*); o restante advém de outras espécies, como castanheira (*Castanea sativa*), quebracho (*Schinopsis* sp.) e tara (*Caesalpinia spinosa*). (FURTADO, 2010).

No emprego do tanino como adesivo existem algumas limitações para a sua utilização. Os extratos tânico comerciais contêm, além das substâncias fenólicas ativas, aminoácidos, açúcares e gomas de alto peso molecular, contribuindo para a diminuição da qualidade de sua colagem.

Apesar de alguns aspectos negativos do tanino, como seu alto peso molecular e sua baixa resistência à umidade, o uso desta matéria-prima é como adesivo é possível mediante técnicas adequadas envolvendo a redução da viscosidade e adição de endurecedores, fazendo com que este polifenol seja eficiente na produção de aglomerados. O tanino vem sendo utilizado em alguns países da Europa e também na África do Sul e Austrália na fabricação de painéis aglomerados (PIZZI & STEPHANOU, 1994; ROSAMAH, 2004; ROFFAEL & DIX, 1989; KRAFT, 2007).

Os painéis à base de madeira produzidos no Brasil são constituídos, em sua maioria por madeira de diferentes espécies de pinus. Em função da crescente demanda por matéria-

prima, surge a necessidade de utilização de outras espécies, principalmente de rápido crescimento, como àquelas pertencentes ao gênero *Eucalyptus* e algumas leguminosas. Dentre estas se destacam o *Shizolobium amazonicum* (paricá), na confecção de lâminas para compensado e aquelas pertencentes ao gênero *Acacia*, em especial, a *Acacia mangium*.

A maior parte da área plantada com árvores de rápido crescimento no país é com eucalipto; desta forma, uma nova espécie que possa promover o desenvolvimento regional associada a novas tecnologias pode tornar-se interessante. Atualmente, novas alternativas estão sendo estudadas para os usos tradicionais da madeira de eucalipto, como carvão vegetal, polpa celulósica e aglomerado; porém, novas espécies ainda são uma lacuna, principalmente quando se pensa em fabricação de painel aglomerado de partículas de média densidade.

Na exploração da madeira de *Acacia mangium* para confecção de painéis aglomerados, a idade da árvore um importante fator. Árvores mais jovens tendem a possuir menor densidade básica, o que é um fator interessante para painel aglomerado. O crescimento de plantios desta espécie no Brasil para energia já é uma realidade. Assim, novas formas de utilização para o produtor florestal poderia ser interessante, contribuindo para o aumento de sua rentabilidade.

Na fabricação de painéis aglomerados, a espécie é uma das mais importantes variáveis do processo de produção. Diversos são os autores que buscam a qualidade tecnológica nos painéis aglomerados à base de madeira, sendo os estudos concentrados em combinações de algumas variáveis, como teor e tipo de adesivo, umidade das partículas, aditivos, granulometria das partículas, e ainda do processo de fabricação das mesmas, como tempo de prensagem, temperatura da prensa, entre outros (MACIEL et al., 2004; TOSTES et al., 2004; IWAKIRI et al., 2005; BRITO et al., 2006; GONÇALVES et al., 2008; CARNEIRO et al., 2009).

Na literatura existem vários trabalhos que reportam sobre a utilização de taninos na forma de solução ou em misturas com adesivos sintéticos. Um dos maiores problemas da utilização do tanino como adesivos está na sua elevada viscosidade, tornando sua utilização limitada a uma solução de 45%. (MORI et al., 1999; TOSTES et al., 2004; SOUSA, 2006).

A adição de taninos na forma de solução em adesivos sintéticos não é tão simples, devido ao alto peso molecular dos taninos, o que acarreta em altos valores de viscosidade, podendo inviabilizar a aplicação do adesivo. Também, os taninos condensados reativos formam agregados moleculares através de pontes de hidrogênio, contribuindo para aumento da viscosidade. A solução aquosa de extrato tânico não é uma solução verdadeira, mas de fato, uma suspensão coloidal na qual o acesso da água em todas as partes é baixo. Como consequência é difícil eliminar as ligações de hidrogênio intermoleculares pela simples diluição em água (PIZZI & MITTAL, 1994). De modo geral, tem sido encontrado que é possível uma substituição de adesivo sintético por taninos em até 10%, sem alterar negativamente as propriedades de colagem.(FERREIRA, 2004; SILVA et al., 2012)

Desta forma, o emprego de tanino em pó seria uma alternativa para viabilizar o processo de colagem, uma vez que não seria necessário diluir o tanino em água e também não se teria possíveis problemas relacionados à alta viscosidade das soluções de tanino. Assim, a etapa de preparo de solução de tanino seria eliminada e também seria mais fácil o armazenamento do tanino na forma de pó. Outra vantagem seria poder utilizar a madeira com teores de umidades maiores.

A hipótese do trabalho é de que é possível empregar o tanino na forma de pó junto às partículas já encoladas com uréia-formaldeído, obtendo-se uma diminuição na quantidade de adesivo sintético empregado e painéis aglomerados com propriedades tecnológicas satisfatórias.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a utilização da madeira de *Acacia mangium* e a aplicação de tanino comercial de acácia negra na forma de pó para confecção de painéis

aglomerados, apresentando assim uma nova alternativa para sua utilização. Os objetivos específicos foram: avaliar as propriedades físicas, químicas e caracteres anatômicos da madeira de *Acacia mangium*; avaliar as propriedades físicas, mecânicas e químicas de painéis aglomerados confeccionados com a madeira de *A. mangium*; e obter os perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados por densitometria de raio X.

Desta forma, o presente trabalho foi dividido em três capítulos. O primeiro trata da caracterização da madeira de *Acacia mangium* como matéria-prima para utilização em painel aglomerado. No segundo, foram avaliadas as propriedades tecnológicas dos painéis aglomerados confeccionados com tanino aplicado na forma de pó sob as partículas, encoladas com uréia-formaldeído em quatro diferentes razões de compactação. O terceiro capítulo versa sobre uma avaliação da densidade aparente dos painéis aglomerados pela técnica não destrutiva de raio x.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Painéis aglomerados

Painéis aglomerados, chapas aglomeradas, painéis de partículas ou ainda chapas de madeira aglomerada são produtos, formados de madeira picada (triturada, com padronização em algumas dimensões) pura ou adicionada a outros materiais ligno-celulósicos unidos por adesivos sintéticos ou naturais, em presença de calor e temperatura (TEODORO, 2008; PIZZI, 1994-b).

Estes painéis são produzidos sob temperaturas que variam entre 130 e 160°C, e compressão de 14 a 35 kgf.cm<sup>-2</sup>, com teor de umidade final entre 5 e 12% (WATAI, 1987). BERNARDO<sup>1</sup> (1988 citado por TEODORO, 2008), afirma que painéis aglomerados podem ser produzidos em densidades que variam de 250 a 1.200 kg.m<sup>-3</sup>, sendo a densidade média mais usual entre 400 a 800 kg.m<sup>-3</sup>.

Os painéis aglomerados estão entre os produtos à base de madeira reconstituída onde o crescimento é mais acentuado, isto se deve à sua praticidade e facilidade de uso nos mais diversos segmentos industriais. Porém, muitas são as variáveis inerentes ao processo de produção de painéis aglomerados, dentre elas podem ser destacadas a umidade e densidade da madeira para transformação em partículas; composição química da madeira; características anatômicas; tipo e geometria das partículas; tipo e quantidade de adesivo; tempo e forma de prensagem (KOLLMANN et al., 1975; KELLY, 1977; ALBUQUERQUE & LATORRACA, 2000; HILLIG, 2000; ASHORI & NOURBAKHS, 2008; THOEMEN et al., 2010; SHMULSKY & JONES, 2011).

A norma americana (ANSI, 1999) para painéis aglomerados categoriza este produto com base em três variáveis apenas: densidade do painel, controle de qualidade, e tipo de adesivo empregado. O padrão canadense (COMMERCIAL STANDARD, 1968) reconhece onze categoriais, diferenciadas principalmente pelas propriedades físicas.

O pH é, de acordo com Kollmann et al (1975), a variável que afeta a velocidade de cura do adesivo e a resistência de juntas coladas, sendo a capacidade tampão, a capacidade de ácido ou base necessária para tornar o pH correto à cura do adesivo.

Brito et al. (2006) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira aglomerada utilizando partículas convencionais a partir de madeira maciça e partículas oriundas de maravalhas com dois teores de adesivo uréia-formaldeído, 6% e 8%. Os

---

<sup>1</sup> BERNARDO, C. Madeira aglomerada: conceito e utilização. SAGRA, 18p., 1988.

resultados indicam que a adição de maravalhas às partículas convencionais demonstrou bom potencial para a produção de chapas de aglomerados.

Brito & Peixoto (2000) descreveram que a razão entre o comprimento e a espessura das partículas (coeficiente de esbeltez) deve apresentar um valor mínimo, de 200. Os autores avaliaram duas granulometrias de partículas de *Pinus taeda*, e afirmam que, uma vez alterada a geometria ou granulometria das partículas, há também a necessidade de verificação de outras variáveis do processo, principalmente a melhor proporção de adesivo.

Haselein et al. (2002) avaliaram a resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. Os autores afirmam que o aumento do comprimento e a diminuição da espessura das partículas proporcionaram aumentos significativos nas propriedades de flexão estática. Porém, o inchamento em espessura e a resistência ao arrancamento de parafusos aumentaram com o aumento da espessura das partículas.

Pedrazzi et al. (2006) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados fabricadas com resíduos da madeira (palitos e serragem) de *Eucalyptus saligna*, provenientes da picagem das toras para a confecção de cavacos utilizados na produção de celulose. Foram utilizados o adesivo à base de uréia-formaldeído em proporções de 4; 8 e 12%. Os resultados permitiram concluir que, usando-se tanto partículas tipo palitos quanto serragem com maiores percentagens de adesivo e maiores densidades, podem ser produzidas chapas com qualidade satisfatória.

Kunaver et al., (2010) realizaram tratamentos nas partículas de madeiras resinosas provenientes do sul da Europa mediante o processo de liquefação com glicerol e dietileno glicol. Os autores afirmam que a adição de 50% da madeira tratada atenderam exigências de qualidade européias, sendo ainda possível concluir que a madeira tratada pode ser utilizada como substituto de precursores de resinas sintéticas em adesivos que são usados para a produção de painéis de partículas.

## 2.2 A madeira de *Acacia mangium*

O gênero *Acacia* está incluso na família das Leguminosae, subfamília Mimosoideae, sendo esta família uma das maiores inseridas nas dicotiledôneas, compreendendo mais de 13 mil espécies distribuídas em mais de 600 gêneros (JOLY, 1998). Segundo Barroso (1991) a subfamília Mimosoideae está praticamente confinada nos trópicos, apresentando aproximadamente 2.800 espécies, pertencentes aos gêneros mais comuns *Inga*, *Mimosa* e *Acacia*, englobando aproximadamente de 50 a 60 gêneros.

A *Acacia mangium* é cultivada em várias partes do mundo possuindo ocorrência natural na Austrália, na Indonésia, Malásia, Papua Nova Guiné e Java (WONG et al., 1988; SILVA et al., 1996; STARR et al., 2003; OUYPORNPRASERT et al., 2005, ANTUNES, 2009), e associada a outras espécies como a *Acacia crassicarpa*, *Acacia aulacocarpa*, *Acacia flavescens* e a *Acacia cincinnata* (KEONG, 1983<sup>2</sup> citado por TONINI & HALFELD-VIEIRA, 2010), suporta solos com pH entre 4,5 a 6,5 (JOKER, 2000), no entanto não se desenvolve bem em regiões de temperaturas inferiores a 12 °C e superiores a 34 °C (STARR et al., 2003; MARTO et al., 2007).

Segundo Antunes (2009), a *Acacia mangium* é muito utilizada para produção de polpa celulósica, madeira para movelaria, energia, em projetos de recuperação de áreas degradadas e na confecção de compensados. Há ainda estudos referentes à sua madeira para composição de elementos estruturais, como o realizado por Ouypornprasert et al. (2005).

---

<sup>2</sup> KEONG, T. C. *Acacia mangium* Willd: uma espécie para plantação em campos de *Imperata cylindrica* (L) Beauv. em Sabah. *Silvicultura*, São Paulo, v. 8, n. 30, p. 321-326, 1983.

A densidade básica média para a madeira de árvores de *A. mangium* com sete anos de idade, segundo Vale et al. (1999), está em torno de  $0,52 \text{ g.cm}^{-3}$  com uma tendência de redução até a metade da altura, crescendo daí até o topo, não igualando com a base do tronco. A densidade da madeira também pode variar em função do sítio e dos tratamentos silviculturais aplicados à espécie (WILKINS & HORNE, 1991; TONINI e HALFELD-VIEIRA, 2010). Segundo Barry et al. (2005) o cerne da espécie apresenta certa vulnerabilidade a podridão por fungos.

Há relatos de doenças em árvores de plantios homogêneos, em especial causadas por fungos, que promovem a podridão do tronco, independentemente da idade (LEE et al., 1988), tornando sua porção mais central oca, o que afeta diretamente a utilização da madeira (HALFELD-VIEIRA et al., 2006).

### **2.3 Influência da anatomia no processo de adesão**

Os caracteres anatômicos estão relacionados à densidade da madeira, que por sua vez está associada à razão de compactação dos painéis aglomerados, esta por sua vez influencia nas propriedades finais do painel (KOLLMANN et al., 1975).

A variação das dimensões dos elementos anatômicos do lenho tem um efeito marcante sobre a qualidade da madeira (KOLLMANN et al., 1975). De acordo com Rocha et al. (2004), sob o aspecto da anatomia da madeira, as dimensões, a distribuição e o arranjo estrutural das células podem conferir propriedades como resistência mecânica elevada em relação à massa, boa trabalhabilidade, isolamento térmico e acústico. Os mesmos autores ainda mencionam que a madeira das folhosas apresenta uma distribuição dos elementos celulares bastante característica, com a maioria dos estudos dirigidos para a avaliação das fibras. Oliveira (2009) ainda afirma que o comportamento dos elementos anatômicos é variável em função do local de crescimento.

Em painéis aglomerados, especialmente no processo de colagem, alguns fatores podem influenciar na qualidade do produto final, dentre eles encontram-se as características anatômicas da madeira utilizada, a razão de compactação, o ciclo de prensagem, a geometria e tamanho das partículas o tipo e quantidade de adesivo utilizado (BRITO, 1995; ALBUQUERQUE & LATORRACA, 2000; KAMKE e Lee, 2007; ASHORI & NOURBAKSH, 2008; TEODORO, 2008).

Características anatômicas como a porosidade e a espessura da parede celular possuem significativa influência nos processos de adesão (ALBUQUERQUE & LATORRACA, 2000), podendo facilitar ou dificultar a penetração do adesivo, o que, segundo Carneiro et al. (2009) pode ser facilmente alterado quando se altera a composição dos adesivos.

Conforme mencionam Kamke & Lee (2007) e Lopes (2008), a porosidade e a permeabilidade da madeira possuem significativa influência na capacidade de adesão, uma vez que de acordo com o arranjo dos espaços vazios haverá a penetração do adesivo, promovendo a adesão mecânica com a madeira. Logo, quanto mais permeável ela for, maior será a penetração deste adesivo nas cavidades celulares, permitindo desta forma gerar ligações adesivas fracas, a conhecida linha faminta, de acordo com a viscosidade do adesivo (LATORRACA et al., 2000).

Kamke & Lee (2007) realizaram uma extensa revisão sobre como se apresenta a penetração de adesivo em compósitos de madeira, afirmando que isto ainda é objeto de muitos estudos. Os autores citam algumas técnicas potenciais para o entendimento do comportamento da penetração do adesivo na madeira, dentre elas a microscopia eletrônica de varredura e a microscopia eletrônica de raio x.

## 2.4 Adesivos sintéticos para colagem de madeira

As resinas sintéticas são as mais utilizadas na confecção de chapas aglomeradas (MALONEY, 1977; PIMENTA et al., 1996; DUNK, 2003). Dentre as resinas sintéticas, as mais utilizadas são à base de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, sendo a primeira a preferida na indústria de produtos de madeira devido ao baixo custo, ao menor tempo de reação na prensagem a quente (MALONEY, 1977; Albuquerque et al., 2005), coloração clara pós cura e fácil trabalhabilidade (SELBO, 1975), além de boa resistência ao calor e à solventes (SINA, 2008). Em todo o mundo, mais de 85% das chapas aglomeradas são fabricadas com resinas desse tipo (SCHROEDER & THOMPSON, 1990; FRIHART, 2005).

Do ponto de vista químico, a uréia-formaldeído é a combinação de dois compostos químicos complexos, a uréia e o formaldeído, que resultam em polímeros lineares e ramificados, ligados fortemente quando curados (CONNER, 1996). De acordo com Pizzi (1994b), a uréia possui dois grupos amônia, que permitem a formação de pontes metilênicas com os hidrogênios reativos do formaldeído, permitindo uma condensação ácida das metilolureias para, primeiramente, solubilizar e, então, polimerizar o adesivo.

Painéis confeccionados com adesivos a base de uréia-formaldeído, quando expostos à condições de extrema umidade e temperaturas elevadas podem ter comprometidas as suas propriedades, sendo por isso indicados para uso interno (VICK, 1999; IWAKIRI et al., 2005). Para que estas propriedades não sejam afetadas diretamente em função do uso inadequado, o adesivo deve apresentar algumas características ideais, dentre elas destaca-se: 1) a composição, o conteúdo de sólidos, a viscosidade, a pureza; 2) a cor, o cheiro e a facilidade de aplicação; 3) a elevada resistência às variações climáticas; e, 4) a baixa emissão de compostos voláteis, como o formaldeído durante e após a produção do painel (DUNK, 2003).

Os adesivos fenólicos são obtidos a partir de uma mistura da resina fenólica termorrígida com outros componentes tais como resina epóxi, neopreno, nitrila, poliamida (termoplástica), vinil butiral (termoplástico), vinil formal (termoplástico) e o formaldeído - mais utilizado na indústria de painéis de uma forma geral (PEREIRA, 2007). A maioria desses tipos de adesivos está na forma líquida e alguns como pós ou películas. São resistentes a água e altas temperaturas, também são tóxicos a microorganismos (PIZZI 1994a). Sua utilização é mais expressiva em painéis compensados e aglomerados estruturais de uso externo, vigas laminadas (quando modificadas com resorsinol), e chapas duras pelo processo seco. Ocasionalmente, são usados para chapas de partículas e fibras de média densidade (CALEGARI et al., 2000).

## 2.5 Tipos de taninos

Taninos são compostos polifenólicos de alto peso molecular, mais reativos que o fenol (FRIHART, 2005; MOSIEWICKI, 2007), utilizados para diferentes finalidades. Dentre estas, temos seu uso como agente dispersante no controle da viscosidade de argilas na perfuração de poços de petróleo (PANSIN et al., 1962<sup>3</sup> citado por PAES et al., 2010), na fabricação de tintas (TRUGILHO et al., 1997), no tratamento de águas residuárias (SILVA, 1999), na produção de adesivos (MORI et al., 2000), como inibidor de corrosão (BISANDA et al., 2003), e ainda para curtimento de couro (PAES et al., 2006). Recentemente, Tondi et al. (2008) propuseram a utilização de taninos na composição de espumas rígidas expansíveis

---

<sup>3</sup> PANSIN, A.J.; HARRAR, E.S.; BETHEL, J.S.; BAKER, W.J. **Forest products: their sources, production, and utilization**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1962, 538p.

como enchimento de portas e paredes, com a vantagem de que eles não queimam, portanto não emitem gases tóxicos.

As árvores que possuem taninos em suas cascas possuem uma capacidade de repelir seus inimigos naturais como mecanismo de defesa e esta habilidade poderia também estar associada à presença de taninos, conforme ZUCKER (1993)<sup>4</sup> citado por TRUGILHO et al. (2003).

Os compostos polifenólicos contidos na madeira e na casca de algumas espécies florestais possuem um grande poder de ligação. Essas substâncias podem formar uma resina através da condensação com o formaldeído sob determinado valor de pH (GONÇALVES, 2000). As coníferas, com exceção de suas cascas, apresentam pequena quantidade de tanino, no entanto, de acordo com Vieira (2010), na casca de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* pode-se encontrar até 28% de tanino. Ferreira (2004) encontrou tanino nas cascas de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas proporções de 23,60%, 31,63% e 19,32%, respectivamente, com extrações realizadas com água e sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) a 5%.

Em folhosas, Haslam (1989) encontrou nas cascas de *Eucalyptus astringens* 40-50% de taninos, e na casca e cerne de *Eucalyptus wandoo*, respectivamente 12 a 15% de taninos. Trugilho et al. (2003) encontraram taninos nas proporções de 40,31% para *Eucalyptus cloeziana* e 16,03% para *Eucalyptus paniculata*.

Tecnicamente, o termo tanino está associado aos produtos naturais e fenólicos baseados no ácido gálico, conhecidos como taninos hidrolisáveis, ou nos poliflavonóides, chamados de taninos condensados (HEMINGWAY, 1989; PIZZI, 1994-a). Os taninos hidrolisáveis estão presentes em cascas e madeiras de árvores pertencentes aos gêneros *Terminalia*, *Phyllanthus* e *Caesalpinia*, dentre outros (HERGERT, 1989).

Chang (2000) em estudo conduzido sobre taninos em madeira de *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus grandis* menciona que os mesmos apresentaram taninos hidrolisados (galotaninos e elagitaninos), e condensados.

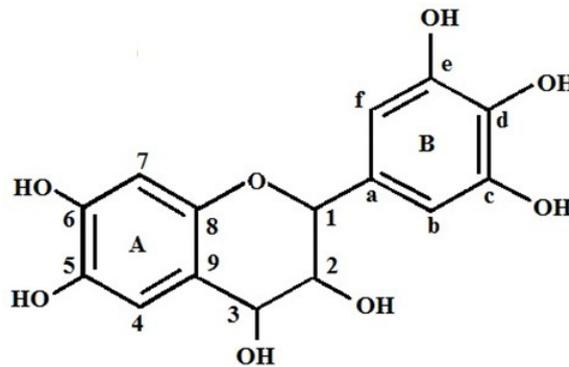
### 2.5.1 Taninos condensados

Os taninos condensados são polifenóis que possuem um esqueleto de carbono do tipo  $\text{C}_6\text{C}_3\text{C}_6$ . São conhecidos também como proantocianidinas e responsáveis pelas características de adstringência e precipitação de proteínas. Os taninos condensados (Figura 1) são formados por unidades de flavonóide (flavan 3-4 diol e flavan 3-ol) em vários graus de condensação (PEÑA et al., 2006), o que depende do tipo e da origem do tanino, não sofrem hidrólise e se precipitam com formaldeído e ácido clorídrico, segundo a reação de Stiasny (WISSING, 1955). De acordo com Schofield et al. (2001) este tipo de tanino é dificilmente identificado devido à complexidade estrutural de seus componentes.

Segundo Gonçalves & Lelis (2009), os taninos condensados são utilizados como substitutos de resinas sintéticas em razão de reação com formaldeído, formando assim um polímero de estrutura rígida. Ayrlmis et al. (2009) afirmam que o tanino condensado, devido a sua natureza fenólica, pode reagir com formaldeído presente na resina uréica, podendo assim, reduzir a emissão de formaldeído nos processos de colagem da madeira e suas variações.

---

<sup>4</sup> ZUCKER, W. V. Tannins: does structure determine function? An ecological perspective. **The American Naturalist**, Lancaster, v.121, n.3, p. 335-365, 1993.



**Figura 1.** Estrutura química do tanino condensado presente na casca de *Acacia mearnsii*.  
Fonte: Modificado de Moubarik et al. (2010)

Os extrativos da casca de *Acacia mearnsii* e da madeira do *Schinopsis* sp são os mais importantes taninos condensados produzidos industrialmente. Os taninos condensados constituem mais de 90% da produção mundial de taninos comerciais ultrapassando a marca de 350.000 t.ano<sup>-1</sup> (GUANGCHENG et al., 1991).

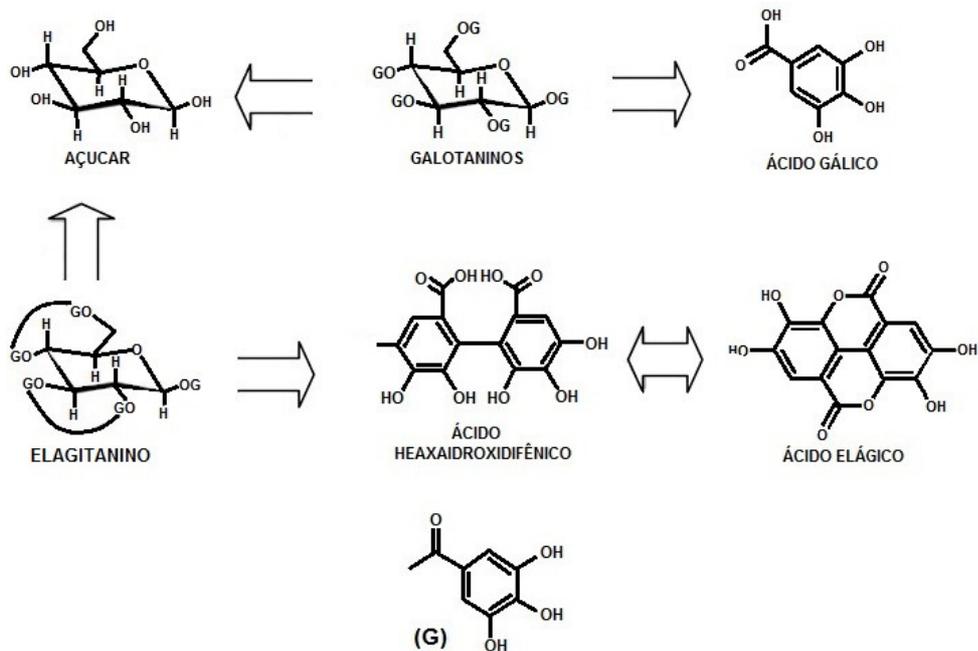
### 2.5.2 Taninos hidrolisáveis

Os taninos hidrolisáveis são assim conhecidos porque suas ligações ésteres são passíveis de sofrerem hidrólise por ácidos ou enzimas. Os taninos hidrolisáveis são uma mistura de açúcares simples (como uma glucose) e ácidos polihidrofênicos (como ácido gálico, ácido hexahidroxidifenílico ou ácido elágico) (GARRO-GALVEZ et al., 1996). Esses taninos apresentam baixo caráter nucleofílico, propriedades indesejáveis (baixa reatividade com o formaldeído), além de possuir uma baixa produção mundial e apresentarem um comportamento químico similar aos fenóis substituídos (PIZZI, 1994a).

São exemplos de plantas que possuem taninos hidrolisáveis: *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão), *Maytenus ilicifolia* (espinheira santa), *Phyllanthus ninuri* (quebrapetra), *Eugenia uniflora* (pitangueira). Hergert (1989) ainda coloca que o grupo dos taninos hidrolisáveis é encontrado em extratos de cascas e madeiras das árvores dos gêneros *Terminalia* e *Caesalpinia*, o qual é constituído de misturas de fenóis simples, como pirogalol e ácido elágico, e também de ésteres do ácido gálico ou digálico com açúcares, principalmente glucose.

Os taninos hidrolisáveis compreendem os galotaninos e os elagitaninos. Os galotaninos são decompostos em ácidos gálicos e açúcares, quando hidrolisados; por outro lado os elagitaninos formam ácidos elágicos e açúcares sob as mesmas condições (PIZZI, 1994a). Estes taninos são ésteres do tipo ácido gálico e seus dímeros (ácido digálico ou hexaidroxidifênico e elágico) com monossacarídeos (principalmente a glicose) (HASLAM, 1989).

A Figura 2 apresenta exemplos de galotaninos e elagitaninos.



**Figura 2.** Taninos hidrolisáveis. (Fonte: Queiroz et al., 2002).

Os taninos hidrolisáveis normalmente possuem um anel do tipo D-glicose na área central de sua estrutura; isso faz com que as hidroxilas destas unidades de açúcar sejam parcial ou totalmente esterificadas, tendo anéis fenólicos ligados às carboxilas (RAMIRES, 2010). Peña et al. (2006) citam que estas ligações do tipo ésteres fazem com que os taninos se tornem mais sensíveis a possíveis reações hidrolíticas devido a ação de ácidos minerais, álcalis e algumas enzimas.

## 2.6 Taninos na produção de adesivos

Os taninos comerciais para fins industriais são obtidos, praticamente em sua totalidade, da casca de determinadas folhosas, já que as cascas das coníferas apresentam pequena quantidade de tanino (MALONEY, 1977). No entanto, dados que permitam inferir a utilização direta do tanino na indústria madeireira como produto comercial inexistem, ou são parciais.

Anatomicamente, não há estudos específicos que afirmam a localização exata dos taninos nas cascas; há muitos indícios que devem estar localizados em vacúolos<sup>5</sup>.

Do ponto de vista acadêmico, inúmeras são as pesquisas com taninos visando colagem em compensados (SANTANA & BAUMANN 1996; MOUBARIK et al., 2009), aglomerados (GONÇALVES et al., 2008; CARNEIRO et al., 2009; MOUBARIK et al., 2010), OSB (TEODORO, 2008; VIEIRA, 2010) e madeira sólida (TEODORO & LELIS, 2005).

Como fonte de taninos passíveis de exploração econômica e com resultados em pesquisas temos *Rhizophora mucronata* (YUSOFF et al., 1988), *Mimosa caesalpiniaefolia* (GONÇALVES et al., 2003), *Acacia mearnsii* (GONÇALVES & LELIS, 2009), *Eucalyptus* spp. (VITAL et al., 2004), *Anadenanthera peregrina* (CARNEIRO et al., 2009) e *Pinus oocarpa* (FERREIRA et al., 2008; VIEIRA, 2010), *Acacia mangium* (HOONG et al., 2009),

<sup>5</sup> Comunicação pessoal do Dr. Ann E. Hagerman, do Departamento de Química e Bioquímica da Universidade de Miami, EUA.

dentre outras. Isto mostra o potencial deste polifenol nas indústrias, uma vez que este pode se destacar ainda mais no quesito ambiental, pois sua obtenção é sustentável.

De uma forma geral, os adesivos podem ser entendidos como substâncias capazes de unir superfícies de materiais não metálicos pelo processo de adesão e coesão. Logo, o termo adesivo pode ser entendido como um termo genérico, assim como outros nomes: cola, pasta, goma e adesivo cimentante. Os taninos por sua vez, são substâncias naturais produzidas pelas plantas e que possuem a função de proteção contra ataques de agentes bióticos como insetos, micro-organismos e outros herbívoros (PAES et al., 2010). Os mesmos autores ainda afirmam que os taninos se encontram presentes em concentrações variáveis em distintas partes dos vegetais como em folhas, frutos, ramos e troncos em épocas diferentes de sua fisiologia, podendo as quantidades variarem de acordo com o gênero e espécie, o que exatamente pode conferir maior ou menor resistência ao ataque de patógenos ou pragas. De acordo com Pizzi (1980), podem ser utilizados como substitutos do fenol ou outros compostos sintéticos na formação de adesivos.

Os adesivos produzidos à base de taninos podem ter sua qualidade influenciada pelos componentes químicos não fenólicos, como açúcares, gomas, aminoácidos, pectinas, e ainda pelos componentes químicos utilizados na extração do tanino (COPPENS et al., 1980; WEISSMANN, 1985). Tais componentes influenciam na viscosidade da resina, reduz a vida útil e evita a formação de ligações cruzadas intramoleculares, diminuindo assim, a resistência da linha de cola (HILLIS, 1981; PIZZI, 2003).

De acordo com Pizzi et al. (1981), o desenvolvimento de adesivos duráveis e resistentes a partir de tanino precisa ser muito estudado, principalmente no que se refere à sua viscosidade, quando em solução aquosa. A aplicação deste tipo de adesivo em painéis de partículas, segundo os autores, necessitou de estudos, que resolvessem este problema, além de outros, como a fraca resistência à água e seu elevado peso molecular.

As propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados confeccionados com adesivos à base de tanino apresentam-se dentro de parâmetros estipulados por diferentes normas, ABNT, ANSI e CS. A Tabela 1 ilustra alguns destes resultados.

**Tabela 1.** Alguns resultados de trabalhos com adesivo à base de tanino-formaldeído de diferentes fontes naturais na fabricação de aglomerados

Fonte de tanino	Propriedades				Autor
	Mecânicas		Físicas		
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	AA 24 horas (%)	IE 24 horas (%)	
<i>Larix gmelini</i>	26,88	3.670	-	-	Lu & Shi (1995)
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	72,8	1.301	85,46	25,09	Gonçalves et al. (2003)
<i>Eucalyptus grandis</i>	22,96	3.263	59,60	35,50	Vital et al. (2004)
<i>Eucalyptus grandis</i>	23,32	3.227	80,31	29,60	Carneiro et al. (2004)
<i>Eucalyptus pellita</i>	26,64	3.277	85,23	44,40	Tostes et al. (2004)
<i>Acacia mearnsii</i>	15,89	2.224	-	23,36	Gonçalves et al. (2008)
<i>Anadenanthera peregrina</i>	20,03	2.019	82,31	17,19	Carneiro et al. (2009)
<i>Acacia mearnsii</i>	19,28	1.962	30,41	21,55	Melo et al. (2010)
<i>Quercus castaneifolia</i>	14,4	2.185	72,00	16,00	Tabarsa et al. (2011)

## 2.7 Densitometria de Raio X em painéis reconstituídos

A técnica de densitometria de raio X é muito utilizada em madeira para a caracterização de anéis de crescimento, tanto em espécies tropicais (PALERMO et al., 2002) como temperadas (FERREIRA & TOMAZELLO FILHO, 2009). Em painéis reconstituídos de madeira, permite a avaliação de sua qualidade, por ser considerada não destrutiva (WANG et al., 2006; LAMKE & LEE, 2007; BELINI et al., 2009), conferindo alta precisão nos resultados, pois consegue detectar variações a partir de intervalos de 10 micrômetros (REMADE, 2003). No entanto, há necessidade de cuidados na utilização desta técnica, pois, pode-se incorrer em erros, devido a diferenças de densidade no perfil do painel, conforme observado por Rautkari et al. (2011).

No Brasil, a aplicabilidade densitométrica de raio X está concentrada principalmente na análise da madeira juvenil e adulta e da massa específica da madeira ao longo das micro-variações existentes em sua anatomia (ROQUE, 2005; COSTA, 2006; BELINI, et al., 2011). Mais recentemente a técnica vem sendo aplicada em algumas modalidades de painéis, a exemplo dos painéis de média densidade e de partículas, bem como estruturais (WANG et al., 2006; WANG et al., 2007; BELINI et al., 2009; TOMAZELLO FILHO et al., 2010). A técnica permite ainda a obtenção do perfil de densidade em painéis (LINVILLE, 2000; CHEN et al., 2010), avaliar possíveis danos em madeira atacada por fungos (TOMAZELLO FILHO et al., 2008) e detectar a presença de sílica em painéis a base de bagaço-de-cana de açúcar com partículas de madeira de eucalipto (BELINI et al., 2012).

A técnica de raio X associada a outras radiações, como a radiação gama, foi utilizada por Cai (2008) para determinação da umidade em madeira e em compósitos de madeira, mostrando-se eficiente para o fornecimento de uma estimativa precisa e rápida.

Evans et al. (2010) utilizaram a técnica de raio X para visualizar a distribuição da resina melamina-uréia-formaldeído em painéis aglomerados de partículas e examinar as alterações da distribuição de cola na superfície das partículas de madeira, antes e depois da pressão. A técnica permitiu aos autores afirmarem que o adesivo migra sobre as partículas durante a prensagem. Permiteu ainda afirmar que o adesivo acumula-se em pequenos espaços vazios entre as partículas e nos canais capilares dentro das extremidades da madeira e na base do painel.

Em painéis MDF, Grigsby et al. (2004) utilizaram a técnica de raio X para quantificar a cobertura de resina nas fibras de fibra e afirmam que a técnica é essencial para a compreensão da integridade do painel e produtos semelhantes.

### **3. CAPÍTULO I**

## **CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, QUÍMICA E FÍSICA DA MADEIRA DE *Acacia mangium* Willd<sup>6</sup>**

---

<sup>6</sup> Publicado na Revista Floresta e Ambiente, v.19, n.3, p. 286-295, 2012.

## RESUMO

A espécie *Acacia mangium* apresenta potencial silvicultural no país, em função da sua boa adaptação e do seu rápido crescimento. É muito utilizada em recuperação de áreas degradadas, porém ainda pouco estudada no que se refere às propriedades tecnológicas de sua madeira, sobretudo em árvores mais jovens. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a densidade básica, o teor de extrativos, o valor do pH e a capacidade tampão da madeira de *Acacia mangium*, além de descrevê-la anatomicamente. Foram utilizadas árvores com 4,2 anos, provenientes de reflorestamento misto com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis*, localizado no município de Santa Bárbara, região do Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais. Análises químicas, físicas e anatômicas da madeira obtida em diferentes alturas do tronco foram realizadas. A densidade básica média encontrada foi de 0,34 g.cm<sup>-3</sup>. A madeira não apresentou uma elevada acidez e os valores de pH e capacidade tampão da madeira variaram de 5,45 a 5,90 e de 0,05 a 0,104 mmolNaOH, respectivamente. Os extrativos apresentaram baixos teores, indicando não haver uma variação significativa ao longo da árvore. Os caracteres anatômicos apresentaram comportamento com pequenas variações quando comparados com árvores mais adultas.

**Palavras-chave:** tecnologia da madeira, qualidade da madeira, madeira juvenil

## ABSTRACT

*Acacia mangium* species presents silvicultural potential in the country due to its good adaptability and fast growth. It is widely used in renovation of disturbed areas; however, there are few studies on the technological properties of its wood, especially in younger trees. Thus, the purpose of this research was to evaluate the density, extractives content, pH value and buffer capacity of the *Acacia mangium* wood, as well as to describe it anatomically. Tree of 4.2-year-old were used; they were planted in reforestation mixed with the *Eucalyptus urophylla x grandis* hybrid, located in Santa Barbara, State of Minas Gerais. Chemical, physical and anatomical analyses of the wood at different stem heights were carried out. The results showed an average wood basic density of  $0.34 \text{ g.cm}^{-3}$ . The wood did not show high acidity; the pH and buffer capacity ranged from 5.45 to 5.90 and from 0.05 to 0.104 mmolNaOH, respectively. The extractives presented low levels, indicating no significant variation along the tree. The anatomical characters presented small variations in behavior when compared to older trees.

**Key words:** Wood technology, Wood quality, Juvenile Wood

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização econômica e sustentável das florestas, notadamente aquelas de crescimento rápido, é muito estudada. Um exemplo típico de aproveitamento de espécies de rápido crescimento é o de *Eucalyptus* spp. A madeira de eucalipto desempenha um papel de grande relevância no setor florestal do país. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF 2010), existem 4,51 milhões de hectares florestados com esse gênero. A maioria dos estudos relativos à madeira de espécies de rápido crescimento é realizada com base em povoamentos puros. Quando associadas a plantios mistos, pouco ainda se sabe das alterações das características da madeira que podem ocorrer quando de seu desenvolvimento.

A espécie *Acacia mangium* Wild. é uma leguminosa pioneira e muito cultivada em todo o mundo, especialmente para energia primária (VALE et al., 2000) e celulose (ALENCAR, 2009). A espécie pertence à família Leguminosae, subfamília Mimosoideae, cujo gênero compreende aproximadamente 700 a 800 espécies (LAMPRECHT, 1990), habitando naturalmente áreas tropicais e subtropicais. Em razão da boa forma do fuste e das boas possibilidades de uso (serrado, energia e painéis), tem chamado a atenção de vários pesquisadores em diversas partes do mundo (VEIGA et al., 2000). Recentemente, tem-se realizado estudos para utilização de sua madeira para produção de partículas destinadas à indústria de compósitos de madeira, puros ou através de *mix* com outras espécies de menor densidade (SILVA, 2008).

A espécie se destaca por possuir um crescimento relativamente rápido (VEIGA et al., 2000) e um bom desenvolvimento em várias regiões do país, não sendo exigente em solos (FALESI, 2006); porém, é imprópria para regiões com geadas fortes e déficits hídricos (ANTUNES, 2009), apresentando madeira de baixa densidade ( $0,52 \text{ g.cm}^{-3}$ ) (VALE et al., 1999).

O conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira é de fundamental importância para se conhecer a sua qualidade e o direcionamento de seu uso (HILLIG, 2000). As propriedades da madeira interferem em vários processos de sua utilização. Com relação às propriedades químicas, a presença de extrativos se destaca com grande efeito no uso de uma madeira, podendo comprometer a eficiência de processos de colagem (ROWELL et al., 2005). Os extrativos são um grupo de substâncias químicas presente na madeira, sendo constituídos basicamente de gorduras, fenóis, terpenos, esteroides, ácidos diversos, breu, ceras e muitas outras combinações orgânicas; tais combinações ou até mesmo essas substâncias isoladas são responsáveis por conferir cor, cheiro e durabilidade à madeira.

Com relação às propriedades tecnológicas da madeira de *Acacia mangium*, alguns trabalhos já foram realizados. Antunes (2009) destaca algumas características dessa madeira: anéis de crescimento indistintos, cerne claro e alburno distinto, elementos de vasos dispostos em padrão não específico com diâmetro tangencial de 120 a 160  $\mu\text{m}$ , sem presença de tilos nos vasos, sendo a frequência destes de 4 a 9 por  $\text{mm}^2$ .

O objetivo principal do presente trabalho é caracterizar física-, química-, e anatomicamente a madeira da espécie *Acacia mangium* de 4,2 anos, obtida em plantios de forma consorciada com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Descrição do material de estudo e da região de coleta

O estudo foi realizado a partir de dez árvores iniciais de *Acacia mangium* com 4,2 anos (50,4 meses) de idade, escolhidas ao acaso, porém com diâmetros entre 9 e 15 cm, em uma área experimental cultivada em consórcio com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis*, pertencentes à empresa CENIBRA S.A., localizada no município de Santa Bárbara-MG. Após o abate e a obtenção dos discos, foram escolhidas apenas cinco árvores para o estudo, com exceção da densidade básica, tendo em vista que cinquenta por cento das árvores apresentarem-se ocas até 50% de altura do tronco comercial. As demais foram transformadas em partículas para posterior confecção de painel aglomerado.

O plantio está situado na microrregião Itabira, com clima tropical de altitude, inverno seco e verão brando e úmido. Possui temperatura mínima de 17,1°C e máxima de 26,7°C, sendo os meses de julho e fevereiro os mais frios e quentes, respectivamente. A precipitação anual está em torno de 1.440 mm.

### 2.2 Avaliação das características físicas e químicas da madeira

#### 2.2.1 Densidade básica

A partir das dez árvores, foram obtidas seções transversais (discos) de 2,5 cm de espessura, ao longo do tronco nas posições 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% (topo), além de um disco extra à altura do DAP (1,30 m do solo). A partir desses discos, retirou-se uma cunha em 25% destes, da qual se obteve a densidade básica da madeira mediante o método de imersão em água, conforme descrito por Vital (1984). Buscou-se também uma regressão matemática para estimar a densidade em função da altura do tronco, aplicando-se teste de *Student* na significância dos coeficientes a 1%.

O restante dos discos foi utilizado para determinação do teor de extrativos, do pH (água quente e fria) e da capacidade tampão, além de estudos anatômicos nos planos radial, tangencial e axial.

#### 2.2.2 Teor de extrativos

Os discos, de um total de cinco, foram transformados em cavacos, com posterior trituração em um moinho de facas tipo *Willey*. A serragem obtida foi peneirada para homogeneização do material, utilizando-se aquelas que ficaram retidas na malha de número 16 (malha 40 ASTM). Os extrativos foram obtidos conforme descrito por Abreu et al. (2006), mediante uma amostra de madeira (15 g) absolutamente seca, para cada posição.

As partículas de madeira foram transferidas para um extrator soxhlet, seguindo uma escala elutroica de ordem crescente de polaridade dos seguintes solventes: etanol:ciclohexano (1:2), acetato de etila, e, metanol, por 24 horas para cada solvente e, em seguida, concentrado em um rotavapor.

O teor de extrativos foi obtido a partir da diferença entre a massa inicial seca antes e depois de passar pelo processo de extração, considerando-se a quantidade de partículas (base seca) empregada na extração, em porcentagem.

### 2.2.3 Valor do pH e capacidade tampão da madeira

O pH e a capacidade tampão foram determinados mediante solubilização de 5 g de partículas (base seca) da madeira em 150 ml de água destilada, sob refluxo (100°C) por 20 minutos e à temperatura ambiente (23°C) por 24 horas.

Foram pipetados em um becker, após calibração do pH-metro digital com soluções tampão 4 e 7, 50 ml de extratos aquosos provenientes das partículas da madeira de *Acacia mangium* mantidas sob agitação por 5 minutos. O pH inicial foi obtido e, posteriormente, os extratos foram titulados com solução de NaOH 0,001 N até pH 7 para a determinação da capacidade tampão ácida em mmol/l, posteriormente transformados em mmolNaOH/5g. Foram realizadas 12 repetições para cada árvore na condição ambiente (20°C) e oito repetições por árvore na condição aquecida (100°C).

### 2.3 Descrição anatômica quantitativa

Nos discos obtidos para cada posição, retirou-se uma amostra na região do alburno no sentido axial da árvore. Essa decisão foi tomada em razão de algumas árvores estarem ocas nas três primeiras posições do fuste, não permitindo, dessa forma, a obtenção da amostra no cerne.

Foram realizadas mensurações dos elementos anatômicos utilizando-se cortes histológicos e materiais dissociados. Para as fibras, foram feitos macerados de acordo com o método do peróxido de hidrogênio/ácido acético descrito por Ramalho (1987), sendo posteriormente mensurados em microscópio ótico comum, com auxílio de um sistema analisador de imagens. Para os vasos, foram realizados cortes anatômicos com auxílio de um micrótomo de deslize, com montagem temporária em glicerina destilada e água na proporção 1:1. As mensurações foram realizadas em um microscópio ótico comum e um analisador de imagens com software específico. Os estudos anatômicos seguiram os procedimentos preconizados pela norma COPANT (1974) e IAWA Committee (1989), com pequenas modificações na forma de apresentação dos resultados.

#### 2.3.1 Mensuração de vasos e raios

Inicialmente, corpos de prova nas dimensões de 1 x 1,5 x 2 cm foram cortados nas direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente. Estes foram fervidos com água destilada e fixados em micrótomo de deslize para obtenção dos cortes de espessura variando de 18 a 20  $\mu\text{m}$  nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial, sendo em seguida montados em lâminas temporárias, com uso de glicerina e água.

Em relação aos vasos, foram feitas micrografias das lâminas anteriormente descritas, com a utilização de uma câmara fotográfica digital de 7.1 megapixels, adaptada ao microscópio ótico. As leituras e medições foram realizadas no analisador de imagem. Os parâmetros mensurados relativos aos vasos foram a frequência vascular em poros. $\text{mm}^{-2}$  e o diâmetro tangencial, em  $\mu\text{m}$ .

Para cada disco, foram realizadas 30 repetições para frequência e 30 para diâmetro tangencial dos vasos, em cada posição, totalizando, para cada árvore, 180 repetições. Em relação aos raios, com o mesmo sistema analisador de imagem, foram mensurados o comprimento e a largura, ambos em  $\mu\text{m}$ , e também a frequência, em raios. $\text{mm}^{-1}$ .

Para os discos na altura do peito (DAP), foram confeccionadas lâminas permanentes, utilizando cortes histológicos dos três planos, com um total de 30 repetições para frequência, comprimento e largura do raio.

### 2.3.2 Mensuração das fibras

Os corpos de prova da madeira foram transformados em cavacos e posteriormente submetidos ao processo de maceração. Os cavacos de madeira foram transferidos para um frasco de vidro de 25 ml contendo uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio (proporção 1:1), sendo lacrado e transferido para estufa (60°C, 48 horas), segundo método descrito por Ramalho (1987).

Esgotada a solução macerante após o aquecimento, a suspensão de células foi lavada em água destilada, corada em safranina e, posteriormente, foram montadas lâminas histológicas sobre água destilada e glicerina em proporção de 1:1. Depois de fotografadas, as imagens obtidas com uma câmara fotográfica digital de 7.1 *megapixel* acoplada a um microscópio ótico comum foram utilizadas para mensuração do comprimento, da largura e do diâmetro de lume, por meio do sistema analisador de imagens.

A maceração dos cavacos da madeira foi utilizada para se obter as medições das fibras segundo os procedimentos da norma COPANT (COPANT, 1974), considerando-se 20 repetições por posição, totalizando 100 macerações para cada árvore. A espessura da parede celular foi obtida por meio da relação entre a diferença da largura e do diâmetro do lume por dois, com valores expressos em micrômetros.

### 2.4 Análise dos dados

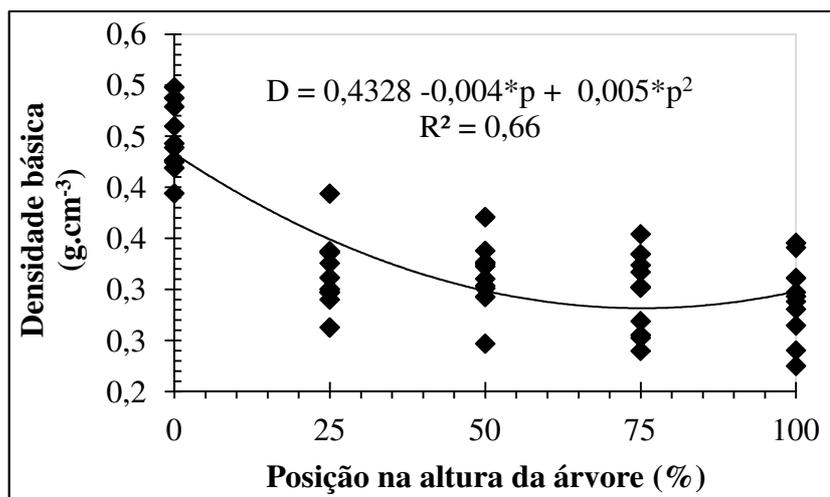
Após coleta dos dados, os mesmos foram dispostos em planilha eletrônica e analisados por meio de estatística simples, por meio da média, do desvio padrão e do coeficiente de variação, mediante apresentação em gráficos e tabelas para ilustração dos parâmetros estudados. Quando possível, aplicou-se análise de regressão a 5% de significância.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização da densidade, do pH e dos extrativos da madeira de *Acacia mangium*

As árvores apresentaram diâmetro à altura do peito médio da ordem de 10,7 cm +/- 1,14 cm com alturas totais médias de 14,90 m +/- 1,57 m. As árvores estudadas apresentaram uma densidade básica média da ordem de 0,34 g.cm<sup>-3</sup>. A análise de variância apresentou diferença estatística (p < 0,001) para essa propriedade, indicando, dessa forma, haver diferenças no sentido axial da árvore.

O comportamento da densidade básica na direção base-topo das árvores de *Acacia mangium* é apresentado na Figura 1.



**Figura 1.** Variação da densidade básica da madeira nas porcentagens da altura do tronco para as árvores estudadas de *Acacia mangium* ( $p$  = posição em cm;  $D$  = densidade em  $\text{g.cm}^{-3}$ ).

A densidade para a espécie segue a mesma tendência encontrada por Vale et al. (1999) para árvores com sete anos de idade. Conforme ilustrado na Figura 1, o componente quadrático, significativo, explica 66,6% da variação total, apresentando boa distribuição dos pontos em relação à curva. A densidade na porção da base foi maior ( $0,45 \text{ g.cm}^{-3}$  em média) e estatisticamente diferente das demais alturas ( $p < 0,001$ ) e um baixo coeficiente de variação (10,82%).

A densidade básica apresentou uma diminuição ao longo do tronco até 75% da altura, com ligeiro acréscimo a partir desse ponto (Figura 1). Em função das árvores estarem se desenvolvendo em consorciação com eucalipto, pode ter ocorrido um estiolamento do tronco associado a menores intensidades de ramos e nós, ou mesmo uma redução do lenho outonal, contribuindo para diminuição de possíveis alterações anatômicas nessas posições. A partir de 75% da altura, a presença mais efetiva de galhos e ramos contribuiu para obtenção de maiores valores de densidade.

A Tabela 1 apresenta os valores médios de pH e de capacidade tampão ácida para a madeira estudada em função da temperatura de obtenção.

**Tabela 1.** Valores médios de pH e capacidade tampão ácida para a madeira de *Acacia mangium*

Modo e tempo de extração	pH	Capacidade tampão ácida (mmolNaOH/5g)
Água fria (ambiente) – 24 horas	5,662 +/- 0,233 a*	0,088 +/- 0,020 a
Água quente – 20 min	5,572 +/- 0,212 b	0,066 +/- 0,023 b

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey,  $p \geq 0,01$ ).

Os valores de pH e tamponamento ácido para a madeira de *Acacia mangium* encontrados indicaram certa heterogeneidade entre as árvores pela análise de variância com significância a 5%. Os valores de pH e tamponamento variaram de 5,45 a 5,90 e 0,05 a 0,104 mmolNaOH, respectivamente. De acordo com Albuquerque et al. (2005), madeiras com valores de pH mais ácidos são mais indicadas para colagem com resinas à base de uréia, já que esta também possui caráter levemente mais ácido se comparada com resinas à base de fenol. Conforme Almeida (2009), a capacidade tampão da madeira mostra a capacidade que a mesma apresenta para resistir à variação de pH do meio. A capacidade de tamponamento,

assim como o valor pH, variou em função da temperatura de solubilização das partículas em água. A madeira da *Acacia mangium* apresentou maior capacidade tampão ácida, quando solubilizada por 24 horas em água à temperatura ambiente, sob agitação.

Em estudo com a madeira de *Pinus* e *Populus* para confecção de um painel de fibras de média densidade ( $0,74 \text{ g.cm}^{-3}$ ), Xing et al. (2006) encontraram valores de capacidade tampão ácida na ordem de  $0,0167 \text{ mmolNaOH}$  para *Populus* spp. e de  $0,0204 \text{ mmolNaOH}$  para *Pinus resinosa*, valores esses bem inferiores ao do presente estudo. Possivelmente, a região climática e o sistema de cultivo das árvores podem ter influenciado neste comportamento, apesar de serem espécies diferentes.

Em trabalho com madeira de *Schizolobium amazonicum*, Colli (2007) encontrou valor médio de pH igual a 4,88, sendo bastante inferior ao encontrado neste trabalho para *Acacia mangium*. Almeida (2009) encontrou valores de pH para madeira de *Pinus elliotii* e *Schizolobium amazonicum*, respectivamente, para água fria e quente, 3,85 e 3,51, e 4,42 e 3,82. De acordo com a mesma autora, a solubilização da madeira em água quente por 20 minutos reflete de forma satisfatória o que ocorre durante a produção dos painéis. Isto é, quando, em um curto intervalo de tempo, a madeira recebe o adesivo e, em seguida, é prensada.

A Tabela 2 apresenta os teores médios de extrativos para a madeira de *Acacia mangium* utilizando os solventes etanol/ciclohexano (1:2), acetato de etila e metanol.

**Tabela 2.** Média dos teores de extrativos obtidos da madeira de *Acacia mangium* em diferentes alturas do tronco com solventes etanol/ciclohexano (1:2), acetato de etila e metanol

Altura (%)	Solvente			Média Geral (%)
	Etanol/Ciclohexano	Acetato de etila	Metanol	
0	$1,71 \pm 1,52$	$0,40 \pm 0,18$	$1,05 \pm 0,41$	$1,05 \pm 1,01$ a
25	$1,79 \pm 1,51$	$0,32 \pm 0,06$	$0,96 \pm 0,49$	$1,02 \pm 1,05$ a
50	$1,43 \pm 1,62$	$0,27 \pm 0,06$	$0,87 \pm 0,19$	$0,86 \pm 1,00$ a
75	$1,61 \pm 2,62$	$0,31 \pm 0,15$	$0,91 \pm 0,22$	$0,94 \pm 1,51$ a
100	$0,43 \pm 0,15$	$0,33 \pm 0,18$	$0,70 \pm 0,24$	$0,49 \pm 0,24$ a
<b>Média Geral (%)</b>	$1,39 \pm 1,61$ A	$0,33 \pm 0,13$ B	$0,90 \pm 0,33$ A	$0,87 \pm 1,04$

\* Letras diferentes maiúsculas na linha e minúsculas na coluna e na linha diferem estatisticamente (Tukey,  $p \geq 0,01$ ).

Observa-se uma tendência não significativa (Tukey,  $p \geq 0,01$ ) decrescente de redução dos extrativos totais presentes a partir da base em direção ao topo. É interessante mencionar que a própria cor dos extrativos obtidos apresentava-se diferente em função da altura, para um mesmo agente extrator, fato esse em função da polaridade dos mesmos quando em contato com os extrativos químicos presentes na madeira. No DAP, a média dos extrativos ficou em  $2,34\% \pm 1,53$ . Os extrativos presentes na madeira podem comprometer a eficiência de uma colagem na confecção de um painel, seja à base de partículas, seja em lâminas de madeira.

A extração etanol/ciclohexano proporcionou a obtenção de maiores teores de extrativos, quando comparado com os demais extratores, indicando haver muitos elementos químicos apolares. Porém, era esperado haver maiores proporções com acetato de etila, em relação ao metanol, justamente em função da capacidade mais polar de extração do mesmo.

Gonçalves & Lelis (2001), estudando cinco leguminosas arbóreas (idade entre 8 e 12 anos) – dentre as quais, a *Acacia mangium* – com DAP de 15 cm, obtiveram, para o teor de extrativos, valores entre 5 e 8% para extração com água quente e com água e sulfito, respectivamente. O resultado foi 2,1 a 3,4 vezes superior ao encontrado neste estudo.

Entretanto, deve-se considerar que a extração foi realizada com água e que as árvores avaliadas no presente trabalho apresentavam DAP inferior às árvores estudadas pelos autores citados; note-se, ainda, o fato de terem sido utilizadas árvores bem mais velhas. A água também foi utilizada por Lima et al. (2007) na determinação de extrativos presentes na madeira de candeia (*Moquinia polymorpha*), apresentando um total de 4%, também superior ao verificado neste trabalho. A determinação de extrativos, também com água quente, permitiu uma extração de 9,14% em madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), em trabalho realizado por Gonçalves et al. (2010).

Pan et al. (2007) realizaram uma retirada de parte dos extrativos em partículas de madeira de *Eucalyptus saligna* com água quente. Os resultados indicaram que a absorção de água nos painéis de partículas teve uma redução de mais de 65% e os módulos de ruptura e elasticidade apresentaram um acréscimo de 73,51% e 85,05%, respectivamente. Esse fato pode ser explicado pela reatividade de alguns extrativos presentes na madeira que são prejudiciais no processo de colagem.

### 3.2 Caracterização anatômica da madeira de *Acacia mangium*

A análise de variância (Tabela 3) mostrou diferenças em todos os caracteres anatômicos estudados entre as árvores em um nível superior a 95% de probabilidade, para a espécie *Acacia mangium* à altura do peito (DAP).

**Tabela 3.** Resumo da Análise de variância para as características anatômicas estudadas entre as árvores, para a madeira de *Acacia mangium* à altura do DAP

CARACTERÍSTICA	Coefficiente de Variação (%)	Quadrado médio	Significância (F)
Comprimento da fibra (µm)	18,51	872075,1	<0,001
Largura da fibra (µm)	20,23	394,26	<0,001
Largura do lume (µm)	28,41	889,87	<0,001
Fração parede (%)	31,05	2882,75	<0,001
Frequência de vaso (vaso/mm)	38,43	516,75	<0,001
Diâmetro do vaso (µm)	24,06	9929,75	<0,001
Frequência do raio (raio/mm)	31,20	59,08	<0,001
Comprimento do raio (µm)	37,26	51655,15	<0,001
Largura do raio (µm)	55,76	77,31	<0,001

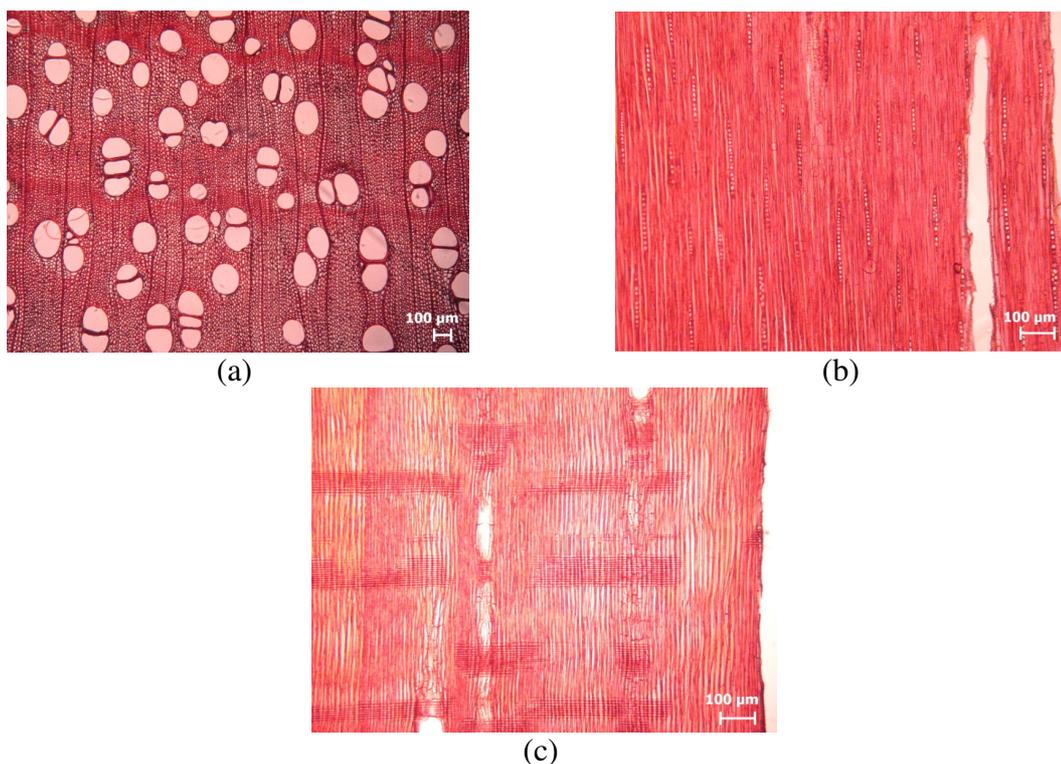
Os vasos são visíveis a olho nu, com parênquimas axiais praticamente imperceptíveis; quando presentes são paratraqueais vasicêntricos, com distribuição difusa, predominantemente solitária a múltipla, sem tiloses, ovais a circulares. As placas de perfuração são simples. Os vasos são poucos frequentes, com uma frequência média de 6,09 vasos.mm<sup>-2</sup>, variando de 2 a 21 vasos.mm<sup>-2</sup>. Apresentam-se com diâmetros tangenciais médios, com tamanho médio de 116,63 µm, variando de 18,02 a 207,79 µm.

Conforme observado para as características dos vasos, por exemplo, uma frequência de vasos associados a elementos de dimensões elevadas poderá comprometer a colagem, por meio de uma linha de fuga mais intensa.

Os raios são homocelulares constituídos por células procumbentes, com estrutura não estratificada, e unisseriados. Apresentam-se muito finos, com largura média de 5,83 µm, variando de 1,69 a 24,58 µm; são pouco frequentes, isto é, com uma frequência média de 4,91 raios.mm<sup>-1</sup> linear, variando de 1,00 a 11,00 raios/mm linear. Os raios são baixos, possuindo um comprimento médio (altura) de 138,06 µm, variando de 40,71 µm a 390,03 µm.

As fibras apresentaram comportamento dentro do esperado para a espécie, estando próximo daqueles encontrados por Antunes (2009). O autor avaliou árvores com seis anos de idade, contra 4,2 anos no presente trabalho, destacando-se a espessura da parede mais espessa no presente trabalho (3,96  $\mu\text{m}$  contra 3,2  $\mu\text{m}$ ), provavelmente em função das condições de plantio misto com eucalipto, apesar da menor idade.

A Figura 2 apresenta as fotomicrografias dos planos transversal, tangencial e radial obtidos em corpo de prova à altura do peito, para a espécie *Acacia mangium*.



**Figura 2.** Estrutura anatômica da madeira de *Acacia mangium*: (a) plano transversal, (b) plano tangencial, e (c) plano radial no diâmetro à altura do peito. Barra de escala = 100  $\mu\text{m}$ .

As dimensões das fibras (comprimento, largura, espessura e diâmetro do lume) e as informações relacionadas aos vasos e raios da madeira são importantes no contexto da formação de um painel aglomerado, uma vez que as propriedades físicas e mecânicas estão diretamente associadas a tais características.

A Tabela 4 apresenta as características anatômicas determinadas em função da altura das árvores.

**Tabela 4.** Valores médios dos caracteres anatômicos da madeira de *Acacia mangium* em função da altura (continua)

CARACTERES ANATÔMICOS	POSIÇÃO NO TRONCO (%)					Média
	0	25	50	75	100	
	<b>Fibra</b>					
Comprimento ( $\mu\text{m}$ )	946,68a*	809,74b	801,43bc	749,34cd	700,81d	802,20 $\pm$ 179,87
Largura total ( $\mu\text{m}$ )	26,59d	28,52cd	29,14bc	30,95ab	31,55a	29,35 $\pm$ 6,25
Largura do lume ( $\mu\text{m}$ )	17,23c	20,16b	21,25b	24,01a	24,54a	21,44 $\pm$ 6,71
Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	4,68a	4,18b	3,95b	3,47c	3,51c	3,96 $\pm$ 1,07

**Tabela 4.** Continuação

<b>Vasos</b>						
Frequência (vasos.mm <sup>-2</sup> )	9,23a	6,25b	5,35c	4,55d	5,12cd	6,09 ± 2,87
Diâmetro (µm)	126,12a	118,63ab	121,19a	111,81bc	105,37c	116,63 ± 28,92
<b>Raios</b>						
Frequência (raios/mm)	5,77a	4,06c	4,65b	4,97b	5,11b	4,91 ± 1,63
Comprimento (µm)	153,55a	159,89a	137,06b	119,98c	119,82c	138,06 ± 53,94
Largura (µm)	6,66a	6,32ab	5,94ab	4,89c	5,35bc	5,83 ± 3,31

\* A existência de pelo menos uma letra igual na linha e para cada variável analisada não difere estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

As fibras encontradas para *Acacia mangium* são libriiformes e muito curtas, com comprimento médio de 802,20 µm, variando de 362,36 a 1.402,35 µm. A largura das fibras variou entre 5,55 e 43,07 µm, com média de 21,44 µm, e a largura média total do lume encontrada foi de 29,35 µm, variando de 13,61 a 48,20 µm. As fibras apresentaram ainda paredes parcialmente finas, com espessura média da parede celular de 3,96 µm, variando de 1,42 a 8,29 µm.

As características das fibras são controladas por fenômenos fisiológicos de ocorrência diferenciada para cada região (condição climática), o que pode variar de espécie para espécie (variação genética) e até dentro do mesmo indivíduo. Dessa forma, o comprimento das fibras é diretamente influenciado pelas divisões que ocorrem no câmbio (PANSWIN & DE ZEEUW, 1980). No presente estudo, em função da baixa idade das árvores e da condição silvicultural imposta às mesmas, o comportamento anatômico pode ter sido comprometido, tornando as fibras com menores dimensões, se comparado aos trabalhos realizados por Antunes (2009). No entanto, para características como a espessura da parede, tal efeito não foi observado, uma vez que foi encontrado um valor de 3,9 µm para a idade de 4,2 anos contra 3,2 µm para a idade de seis anos, em seu trabalho; assim, pode-se afirmar que nem todos os caracteres anatômicos são influenciados pela idade. O fato das árvores terem se desenvolvido sob sombreamento pode ter comprometido o desenvolvimento celular e causando um estiolamento dos elementos celulares, em comparação com a espécie cultivada na Indonésia e estudada por Antunes (2009) em ambiente silvicultural homogêneo.

A espessura da parede celular afeta diretamente a densidade da madeira, e conseqüentemente a razão de compactação. Como as fibras apresentaram-se muito curtas, isto poderá comprometer a instabilidade dimensional, por exemplo, no plano de painéis aglomerados.

#### 4 CONCLUSÕES

- A madeira de *Acacia mangium* apresentou baixa densidade básica, sendo o valor médio de 0,34 g.cm<sup>-3</sup>.
- A madeira de *Acacia mangium* não apresentou acidez elevada.
- A madeira de *Acacia mangium* apresentou baixos teores de extrativos, não havendo variação significativa ao longo da árvore.
- Os elementos anatômicos apresentaram-se sem variações significativas para a espécie, com exceção para os parênquimas axiais, os quais se encontram praticamente indistintos.

- Tecnicamente, a madeira apresenta características ideais para ser utilizada, por exemplo, na indústria de colagem de madeira, em razão dos baixos teores de extrativos, da acidez não elevada e da baixa densidade.

## **4. CAPÍTULO II**

### **COLAGEM DE PAINÉIS AGLOMERADOS COM URÉIA-FORMALDEÍDO SOB ADIÇÃO DE TANINO EM PÓ**

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo geral avaliar as propriedades tecnológicas de painéis aglomerados fabricados com partículas de *Acacia mangium* e adesivo uréia-formaldeído (UF) mediante adição de tanino comercial de *Acacia mearnsii* na forma de pó às suas partículas. Os painéis foram fabricados sob diferentes razões de compactação e o efeito destas nas propriedades dos painéis foi avaliado. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 4 x 4, sendo quatro porcentagens de substituição de tanino em pó ao adesivo uréia-formaldeído - 0, 10, 20 e 30%; e quatro razões de compactação – 1,39, 1,55, 1,73, e 2,00. Foi utilizado o ciclo de prensagem com pressão de 3,92 MPa e temperatura de 140°C por 8 minutos. A adição de tanino em pó às partículas encoladas com uréia-formaldeído proporcionou melhoria em algumas propriedades físicas e mecânicas, havendo efeito significativo entre a razão de compactação e os adesivos utilizados. Os resultados indicam a adição do tanino em pó como alternativa viável de utilização em painéis aglomerados.

**Palavras-chave:** adesivo natural, densidade, razão de compactação, *Acacia mangium*

## ABSTRACT

This work had as general objective to evaluate the technological properties of particleboards manufactured with particles of *Acacia mangium* and urea-formaldehyde adhesive by addition of powder form commercial tannin of *Acacia mearnsii* to their particles. The panels were manufactured under different compaction ratio and the effect of these in the properties of the panels was evaluated. We used a completely randomized entirely in the factorial outline 4 x 4, being four percentages of substitution of powder form tannin to the urea-formaldehyde adhesive - 0, 10, 20 and 30%; and four compaction ratios: 1.39, 1.55, 1.73, and 2.00. The particleboards were manufactured with press of 3.92 Mpa, temperature of 140°C and presstime of 8 minutes. The addition of powder form tannin to the particles with urea-formaldehyde has allowed improve on some physical and mechanical properties, with significant effect between the compaction ratio and the adhesives used. The results indicate the addition of powder form tannin as viable alternative of use in particleboards.

**Key words:** natural adhesive, density, compaction ratio, *Acacia mangium*

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento significativo na demanda por madeira proveniente de plantios de eucalipto e pinus, bem como a carência de novas áreas de plantios de reposição, que permitam a equiparação dentre a oferta e demanda para diferentes indústrias madeireiras, faz com que haja uma necessidade de busca por informações de outras espécies para esta lacuna.

Neste contexto, destaca-se a espécie *Acacia mangium* com potencial para suprimento de madeira em alguns segmentos industriais madeireiros sendo cultivada em várias partes do mundo, possuindo ocorrência natural na Austrália, Indonésia, Malásia, Papua Nova Guiné e Java (WONG et al., 1988; SILVA et al., 1996; STARR et al., 2003); suportando solos ácidos, com pH entre 4,5 a 6,5 (JOKER, 2000); geadas e temperaturas superiores a 34 °C (STARR et al., 2003).

A madeira apresenta densidade básica média para árvores adultas com sete anos de idade, segundo Vale et al. (1999), em torno de 0,52 g.cm<sup>-3</sup>. De acordo com Barry et al. (2005) o cerne da espécie apresenta certa vulnerabilidade à podridão por fungos. Isto, conforme Lee et al. (1998), independe da idade e segundo Halfeld-Vieira et al. (2006) pode tornar o tronco oco, conforme observado por Gonçalves & Lelis (2012), resultando em perda de qualidade da madeira e rendimento.

A formação de painéis aglomerados convencionais se dá por intermédio de partículas do tipo *slivers*, com distribuição aleatória e homogênea. São produzidos sob temperatura que varia de 130 a 160 °C, e compressão de 1,37 a 3,43 MPa, com teor de umidade final entre 5 a 12% (WATAI, 1987), além de não possuírem caráter estrutural. As partículas de madeira são unidas por adesivos sintéticos ou naturais (PIZZI, 1994a), com uma densidade final entre 0,60 e 0,79 g.cm<sup>-3</sup> (KOLMANN et al., 1975) ou até mesmo com densidades inferiores.

Dentre os adesivos mais utilizados na confecção de chapas aglomeradas, destacam-se os adesivos à base de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, sendo o primeiro o preferido na indústria de produtos de madeira devido ao baixo custo, ao menor tempo de reação na prensagem a quente (MALONEY, 1977; ALBUQUERQUE et al., 2005), à coloração clara pós cura e a fácil trabalhabilidade (SELBO, 1975), além de boa resistência ao calor e a solventes (SINA, 2008). O adesivo uréia-formaldeído é o mais utilizado em todo o mundo na fabricação de aglomerados a partir de madeira (FRIHART, 2005). Estes adesivos podem também ser utilizados em misturas com adesivos de características naturais, à exemplo dos taninos, rotineiramente empregados na forma líquida por ocasião de sua aplicação às partículas de madeira (GONÇALVES et al., 2008; GONÇALVES & LELIS, 2009); por outro lado, não existem informações sobre o emprego de taninos da forma de pó na colagem de painéis de madeira.

Do ponto de vista acadêmico, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas através da substituição de parte de adesivos sintéticos por taninos visando colagem em painéis reconstituídos à base de madeira (GONÇALVES et al., 2008; CARNEIRO et al., 2009; MOUBARIK et al., 2009). Como fonte de taninos passíveis de exploração econômica e com bons resultados em pesquisas temos a *Rhizophora mucronata* (YUSOFF et al., 1988), *Mimosa caesalpiniaefolia* (GONÇALVES et al. 2003), *Acacia mearnsii* (GONÇALVES & LELIS, 2009), *Eucalyptus* spp. (TOSTES, 2003; VITAL et al., 2004), *Anadenanthera peregrina* (CARNEIRO et al., 2009), *Pinus oocarpa* (FERREIRA et al., 2008; VIEIRA, 2010), *Acacia mangium* (HOONG et al., 2009), dentre outras. Isto mostra o potencial deste polifenol nas indústrias, sobretudo nos aspectos ambientais, pois sua obtenção é sustentável. A utilização de adesivos na fabricação de painéis reconstituídos à base de madeira é o componente de maior custo, tornando necessária a busca por uma quantidade ideal e tipo de adesivo a ser utilizado, permitindo assim uma melhor relação custo/benefício.

Desta forma, este trabalho teve por objetivo verificar a viabilidade de utilização de tanino comercial obtido da casca da *Acacia mearnsii* aplicados na forma de pó em misturas com adesivo uréia-formaldeído em diferentes razões de compactação na fabricação de painéis aglomerados com madeira de *Acacia mangium*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Origem da matéria-prima

Foi utilizada a madeira de 10 árvores de *Acacia mangium* de aproximadamente 50 meses de idade, escolhidas ao acaso, com diâmetros entre 9 e 15 cm, provenientes de um cultivo consorciado com 50% do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *grandis*, pertencente à empresa CENIBRA. O talhão está localizado no município de Santa Bárbara, MG, coordenadas 43°21'19" W e 20°02'19" S, apresentando uma temperatura anual média de 21,9°C, precipitação anual média de 1.440mm e umidade relativa média de 65% .

O consórcio recebeu tratamentos silviculturais convencionais para o cultivo do eucalipto, como calcário calcítico, fosfato natural, cloreto de potássio, além de uma aplicação de herbicida 12 meses após o plantio e combate à formiga semestralmente.

A densidade básica da madeira utilizada foi de  $0,33\text{g.cm}^{-3}$ , obtida a partir da média ponderada de discos de 2,5 cm de espessura e das seções do fuste em função das posições 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 7 cm). A avaliação da densidade básica da madeira está retratada no capítulo 1.

### 2.2 Preparo dos painéis

As árvores foram cortadas em toretes, sendo estes descascados e transformados em discos de aproximadamente 5,0 cm de espessura. Após, foram fracionados em partículas convencionais em um gerador de partículas, com comprimento variável, espessura média de 0,6 mm e largura entre 3 e 5 cm.

Estas partículas, após secas ao ar, atingiram um teor de umidade aproximado de 15%. Posteriormente, foram reduzidas em moinho de martelo com peneira de 9,35 mm para em seguida serem classificadas em um peneirador para retirada dos finos, sendo utilizadas, na confecção das chapas, as partículas que transpassaram pela peneira de 4,0 mm e ficaram retidas na peneira de 0,60 mm. Em seguida, foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C até teor de umidade pré-determinado de 5%, e armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados.

Para aplicação do adesivo foi utilizada uma encoladeira do tipo tambor rotativo equipada com uma pistola pneumática.

O adesivo utilizado foi a uréia-formaldeído (MDP1021), com teor de sólidos de 64%, pH de 8,5, viscosidade de 371,86 cP e densidade de  $1,23\text{g.cm}^{-3}$ . A proporção de adesivo uréia-formaldeído utilizada na confecção das chapas foi de 10% sobre o peso seco das partículas. Adotou-se o sulfato de amônia  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a 24% em proporção de 2% sobre a massa total de sólidos como catalisador do adesivo. O tanino utilizado foi em forma de pó, comercializado com o nome de Phenothan AP com 12% de umidade.

O tanino foi aplicado na forma de pó diretamente sobre as partículas, na própria encoladeira, com uma pequena peneira para permitir uma distribuição de forma homogênea sobre as partículas já encoladas com uréia-formaldeído (respeitando as devidas proporções em massa seca). Após a distribuição do tanino em pó sobre as partículas encoladas, foram realizados cinco giros na encoladeira para envolvimento do tanino ao adesivo uréia-

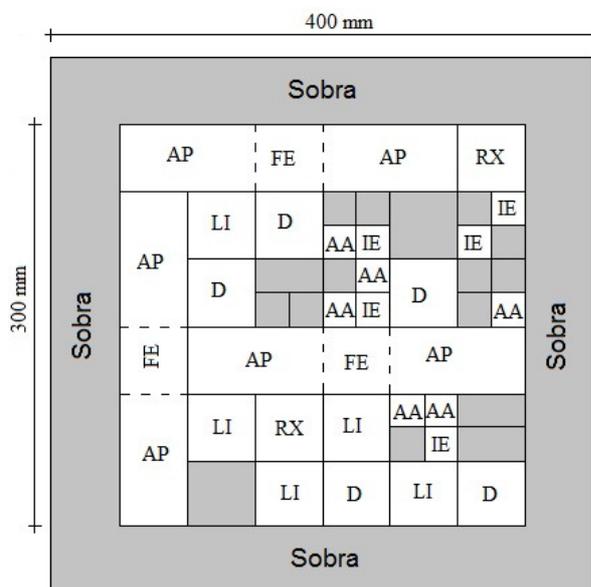
formaldeído. Em seguida, as partículas foram pré-prensadas com auxílio de uma forma guia de madeira para uma melhor acomodação do colchão.

Os painéis, em uma única camada, foram fabricados com dimensões de 40 x 40 x 1,27 cm em uma prensa hidráulica de abertura simples com aquecimento elétrico, utilizando-se tempo de prensagem de 8 minutos, temperatura de 140°C e pressão de 3,92 MPa.

Após a prensagem, os painéis foram mantidos em sala climatizada com umidade relativa de  $65 \pm 5\%$  e temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  até atingirem o equilíbrio, com posterior retirada de aproximadamente 4 cm da bordadura e confecção dos corpos de prova visando a realização dos ensaios físicos e mecânicos. Foram confeccionados 64 painéis.

### 2.3 Ensaios tecnológicos

Os ensaios mecânicos (módulos de ruptura e de elasticidade, ligação interna e arrancamento de parafuso na face) foram realizados em uma máquina universal de ensaios de 100 kN com aquisição de dados automatizada. O ensaio de arrancamento de parafuso foi realizado a partir das extremidades do corpo de prova utilizados no ensaio de resistência a flexão e módulo de elasticidade, unidos pelo adesivo acetato de polivinila (PVAc) com dimensão de 50 x 100 cm. Realizou-se também ensaios físicos (absorção de água e inchamento em espessura), ambos após duas e 24 horas de imersão em água. Todos os testes foram realizados conforme a norma NBR 14810 (ABNT, 2006) com os corpos de prova a uma umidade média de 10%. A Figura 1 ilustra a posição do corte dos corpos de prova para cada ensaio.



**Figura 1.** Disposição dos corpos de prova no painel aglomerado com partículas de madeira de *Acacia mangium*. **FE** - Flexão Estática (250x50mm); **D, LI, RX** – Densidade, Ligação Interna e Densitometria de Raio X (50x50mm); **AA, IE** – Absorção de Água e Inchamento em Espessura (25x25mm); **AP** – Resistência ao arrancamento de parafuso.

Os resultados dos testes foram comparados com os valores estabelecidos pelas normas CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e NBR 14810 (ABNT, 2006).

Foi ainda realizada uma análise do pH mediante cinco repetições de cada tratamento, conforme descrito em Gonçalves & Lelis (2012).

## 2.4 Análise estatística

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial 4 x 4, sendo quatro porcentagens de substituição de tanino na forma de pó ao adesivo uréia-formaldeído, e quatro razões de compactação (Tabela 1). Para cada tratamento foram realizadas quatro repetições (chapas).

**Tabela 1.** Composição dos tratamentos estudados, contendo uma espécie, quatro formulações de adesivos e quatro razões de compactação (RC)

Tratamento	Composição do adesivo		Adesivo	RC
	Uréia	Formaldeído (%)		
T1	100	0	1	1,39
T2	90	10	2	
T3	80	20	3	
T4	70	30	4	
T5	100	0	1	1,55
T6	90	10	2	
T7	80	20	3	
T8	70	30	4	
T9	100	0	1	1,73
T10	90	10	2	
T11	80	20	3	
T12	70	30	4	
T13	100	0	1	2,00
T14	90	10	2	
T15	80	20	3	
T16	70	30	4	

Após ensaiados os corpos de prova, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Havendo interação entre os fatores, procedeu-se o desdobramento apenas da razão de compactação dentro do adesivo, por esta se tratar de fator qualitativo, com a respectiva análise de regressão. O fator adesivo foi submetido à análise de variância dentro de cada razão de compactação com aplicação do teste de *Tukey*, sempre que a probabilidade foi inferior a 5% de significância.

Na interação significativa, representou-se graficamente através do modelo linear, a relação entre a razão de compactação e as propriedades físicas e mecânicas, bem como do pH. Verificou-se a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. A significância foi através de 5% de probabilidade.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Propriedades físicas e químicas dos painéis

Os valores médios obtidos para a densidade aparente (umidade a 10%) dos painéis produzidos foram 0,46; 0,51; 0,57 e 0,67g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente, para cada razão de compactação 1,39, 1,55, 1,73 e 2,00. A bibliografia afirma que a faixa ideal para a razão de compactação está entre 1,3 a 1,6 (KOLLMANN et al., 1975; MALONEY, 1977); no entanto,

optou-se por razões fora deste limite, permitindo desta forma aferir melhores resultados com a espécie estudada.

A densidade aparente dos painéis nos tratamentos variou na faixa de 0,34 a 0,80 g.cm<sup>-3</sup>, o que permitiu a classificação dos painéis como sendo de baixa (< 0,64 g.cm<sup>-3</sup>) e média (0,64 ≤ ρ ≤ 0,80 g.cm<sup>-3</sup>) densidade, conforme a ANSI A-280.1 (ANSI, 1999). Os tratamentos 1 a 12 estão desta forma classificados como baixa densidade, e os tratamentos 13 a 16 como de média densidade. Os painéis foram produzidos em quatro valores de razão de compactação, para que se permitisse uma análise da influência da adição do tanino em pó como parte do adesivo. Isto fez com que a densidade variasse dentro de cada grupo de razão de compactação, não sendo avaliada estatisticamente, uma vez que a mesma está inserida na sua forma de obtenção, com as devidas proporções de matéria-prima (peso seco), adesivo (teor de sólidos) e também do tanino (peso seco).

Os resultados do efeito do adesivo nas razões de compactação para o inchamento em espessura e absorção de água após 2 horas e 24 horas (IE2, IE24, AA2 e AA24) podem ser observados nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2.** Valores médios observados do efeito do adesivo no inchamento em espessura para as razões de compactação (RC) estudadas

Razão de compactação	Propriedades	Adesivo UF:tanino			
		1 (100:0)	2 (90:10)	3 (80:20)	4 (70:30)
RC 1 (1,39)	IE 2 horas (%)	22,52 (5,17) b*	27,57 (7,54) a	22,99 (3,62) b	23,74 (2,73) b
	IE 24 horas (%)	27,62 (5,76) c	37,71 (8,94) a	30,52 (5,43) bc	32,81 (3,66) b
RC 2 (1,55)	IE 2 horas (%)	22,10 (3,87) a	17,25 (2,43) b	18,56 (3,56) b	23,36 (3,41) a
	IE 24 horas (%)	28,92 (5,02) b	26,10 (4,04) b	28,49 (4,98) b	35,51 (5,29) a
RC 3 (1,73)	IE 2 horas (%)	21,99 (2,92) a	10,11 (2,76) c	15,65 (2,32) b	21,18 (5,01) a
	IE 24 horas (%)	31,29 (3,97) b	24,05 (4,64) c	29,07 (6,06) b	38,00 (7,62) a
RC 4 (2,00)	IE 2 horas (%)	33,14 (8,55) a	11,45 (3,54) c	9,55 (3,55) c	18,30 (3,86) b
	IE 24 horas (%)	51,48 (12,16) a	27,55 (3,18) c	27,15 (3,75) c	36,36 (4,65) b

\* A existência de pelo menos uma letra igual na linha e para cada variável analisada não difere estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses é o desvio padrão.

**Tabela 3.** Valores médios observados do efeito do adesivo na absorção de água para as razões de compactação (RC) estudadas (continua)

Razão de compactação	Propriedades	Adesivo UF:tanino			
		1 (100:0)	2 (90:10)	3 (80:20)	4 (70:30)
RC 1 (1,39)	AA 2 horas (%)	98,09 (12,94) bc	106,63 (26,41) a	103,27 (11,14) ab	95,24 (10,42) c
	AA 24 horas (%)	133,58 (12,37) b	142,69 (25,36) a	134,59 (12,72) b	136,09 (13,79) ab

**Tabela 3.** Continuação

RC 2 (1,55)	AA 2 horas (%)	95,64 (24,16) a	65,93 (8,99) c	88,73 (13,79) a	78,22 (11,20) b
	AA 24 horas (%)	126,53 (8,41) a	105,41 (8,63) c	118,26 (11,91) b	120,71 (12,75) ab
RC 3 (1,73)	AA 2 horas (%)	66,78 (7,67) a	43,40 (8,20) c	51,07 (10,06) c	63,91 (9,60) a
	AA 24 horas (%)	106,84 (9,71) a	83,98 (8,04) c	97,21 (14,13) b	108,42 (8,43) a
RC 4 (2,00)	AA 2 horas (%)	75,52 (17,50) a	36,79 (9,40) c	33,77 (8,85) c	49,68 (11,97) b
	AA 24 horas (%)	116,99 (17,44) a	70,36 (8,85) c	68,83 (10,85) c	86,83 (9,50) b

\* A existência de pelo menos uma letra igual na linha e para cada variável analisada não difere estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses é o desvio padrão.

Os valores médios de inchamento em espessura após duas e 24 horas de imersão, variaram entre 9,55 a 33,14% e 24,05 a 51,48%, respectivamente. Para Absorção de água após duas e 24 horas de imersão, os valores oscilaram entre 33,77 a 106,63% e 68,83 a 142,69%, intervalos bem superiores ao encontrado por DaCosta et al. (2005), em que os autores ainda afirmam que esta variação se deve às diferentes razões de compactação dos painéis fabricados.

O adesivo influenciou em todas as propriedades físicas avaliadas. Destaca-se que a aplicação de 10 e 20% de tanino em pó à uréia reduziu o Inchamento em espessura após duas horas em todas as razões de compactação, com exceção da RC1, enquanto que a aplicação de 30% de tanino reduziu o inchamento em espessura após duas horas para a razão de compactação igual a 2. Os menores valores absolutos estão nos adesivos com 10 e 20% de tanino em pó, nas razões de compactação de 1,73 e 2,00. O mesmo comportamento foi observado para o inchamento após 24 horas. Praticamente, todos os adesivos avaliados, atenderam ao requisito máximo de inchamento estabelecido pela norma CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), que é de 35%. A exceção mais expressiva está no adesivo com adição de 30% de tanino em pó nas razões de compactação de 1,39, 1,55 e 2,00.

A adição de 30% de tanino em pó proporcionou resultados para o inchamento em espessura após duas horas próximos e não significativos em relação ao adesivo com 100% de uréia-formaldeído, à exceção para a RC4, com melhores resultados. Destacam-se os maiores inchamentos médios após duas horas de imersão para a razão de compactação de 1,39. A adição de uma solução de tanino 50% à uréia-formaldeído permitiu melhorias significativas na estabilidade dimensional dos painéis produzidos por Gonçalves et al. (2008) com partículas de *Eucalyptus urophylla*, indicando seu potencial de resistência à umidade em função dos polifenóis nele presentes, como já mencionado por Pizzi et al. (1981). Salienta-se que no presente estudo não foi aplicado formaldeído ao tanino, sendo utilizado somente aquele contido no adesivo uréico.

Para a absorção de água após 24 horas de imersão, a presença do tanino a 10 e 20% reduziu esta absorção, independente da razão de compactação, exceto para a RC1. Nas razões de compactação RC1 e RC2, a adição de 20 e 30% de tanino em pó não reduziu significativamente a absorção de água após 24 horas.

A utilização de tanino aplicado na forma de solução em água é objeto de estudo há bastante tempo. Gonçalves et al. (2003), utilizando tanino de *Mimosa caesalpiniaefolia* e Gonçalves et al. (2008), utilizando tanino de *A. mearnsii*, encontraram valores de inchamento em espessura abaixo de 30% para chapas produzidas com uréia-formaldeído modificada com

10% e 20% de tanino; valores estes inferiores ao presente trabalho. A composição química estrutural dos taninos pode influenciar com resultados diferentes, conforme observaram Carneiro et al. (2009), os quais trabalharam com tanino sulfitado de *Anadenanthera peregrina* e encontraram valores superiores ao exigido pelas normas vigentes.

Os resultados do efeito do adesivo nas razões de compactação para o pH podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores médios observados do efeito do adesivo no pH para as razões de compactação estudadas

Razão de compactação	Adesivo UF:tanino			
	1(100:0)	2 (90:10)	3 (80:20)	4 (70:30)
RC 1 (1,39)	5,52 a	5,53 a	5,76 b	5,80 c
RC 2 (1,55)	5,49 a	5,61 b	5,72 c	5,91 d
RC 3 (1,73)	5,48 a	5,64 b	5,89 d	5,84 c
RC 4 (2,00)	5,61 a	5,66 b	5,78 c	5,91 d

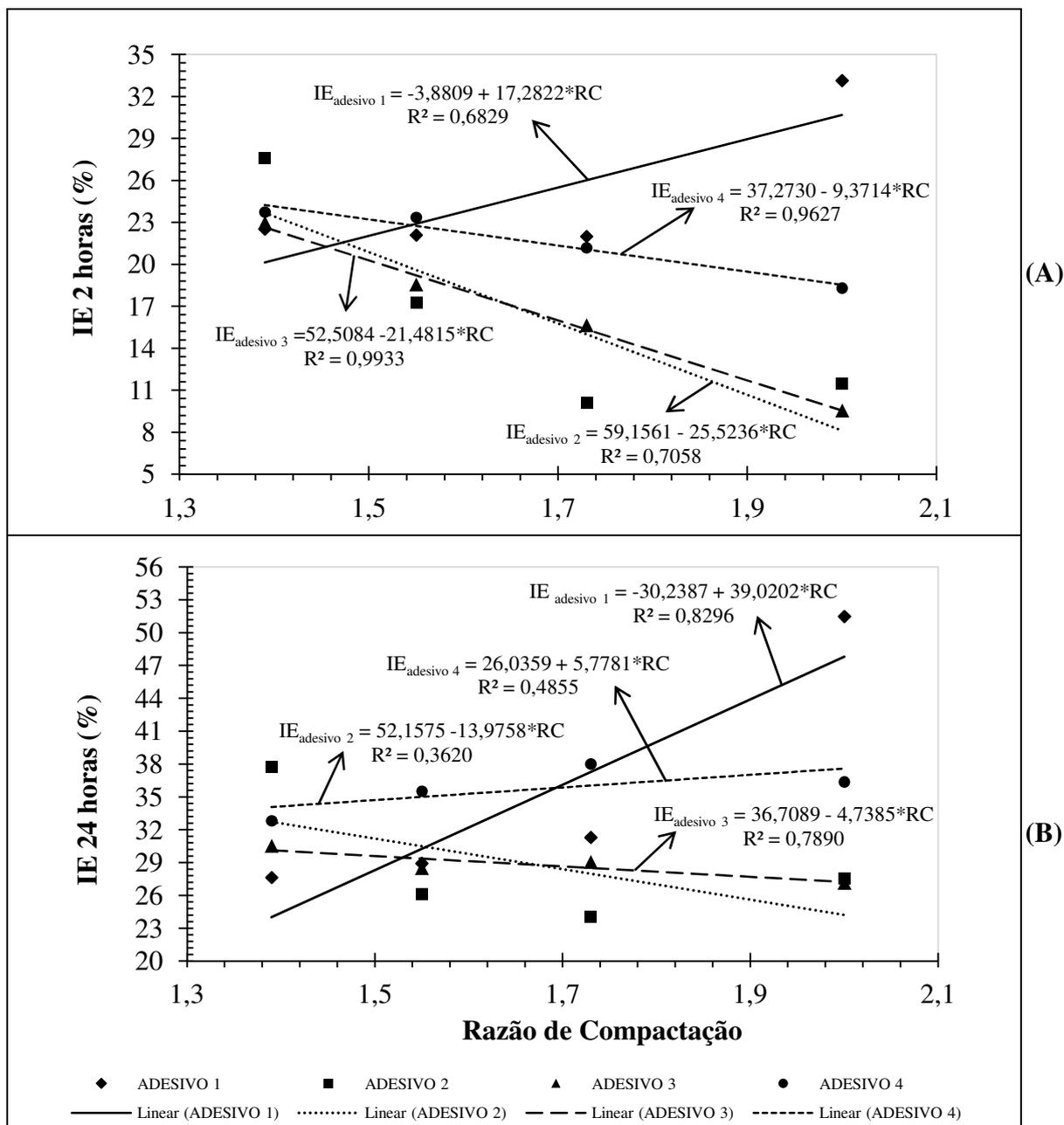
\* A existência de pelo menos uma letra igual na linha não difere estatisticamente ( $p < 0,05$ ).

A adição de tanino em pó proporcionou aumentos significativos nos valores de pH em praticamente todas as quatro razões de compactação. Destaca-se a adição de 30% de tanino na razão de compactação 1,55 e 2,00, com os maiores valores. Como esperado, os baixos valores de pH estão nos adesivos exclusivamente à base de uréia-formaldeído, diferindo-se dos demais, independentemente da razão de compactação, excluindo apenas aquele adesivo com adição de 10% de tanino, na razão de compactação de 1,39.

A Figura 2 ilustra o efeito do comportamento da razão de compactação em função das propriedades do inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água, para os diferentes adesivos estudados.

Observando-se a Figura 2, nota-se uma tendência de redução significativa para o Inchamento em espessura após duas horas de imersão para as três composições de adesivo com tanino à medida que se aumenta a razão de compactação.

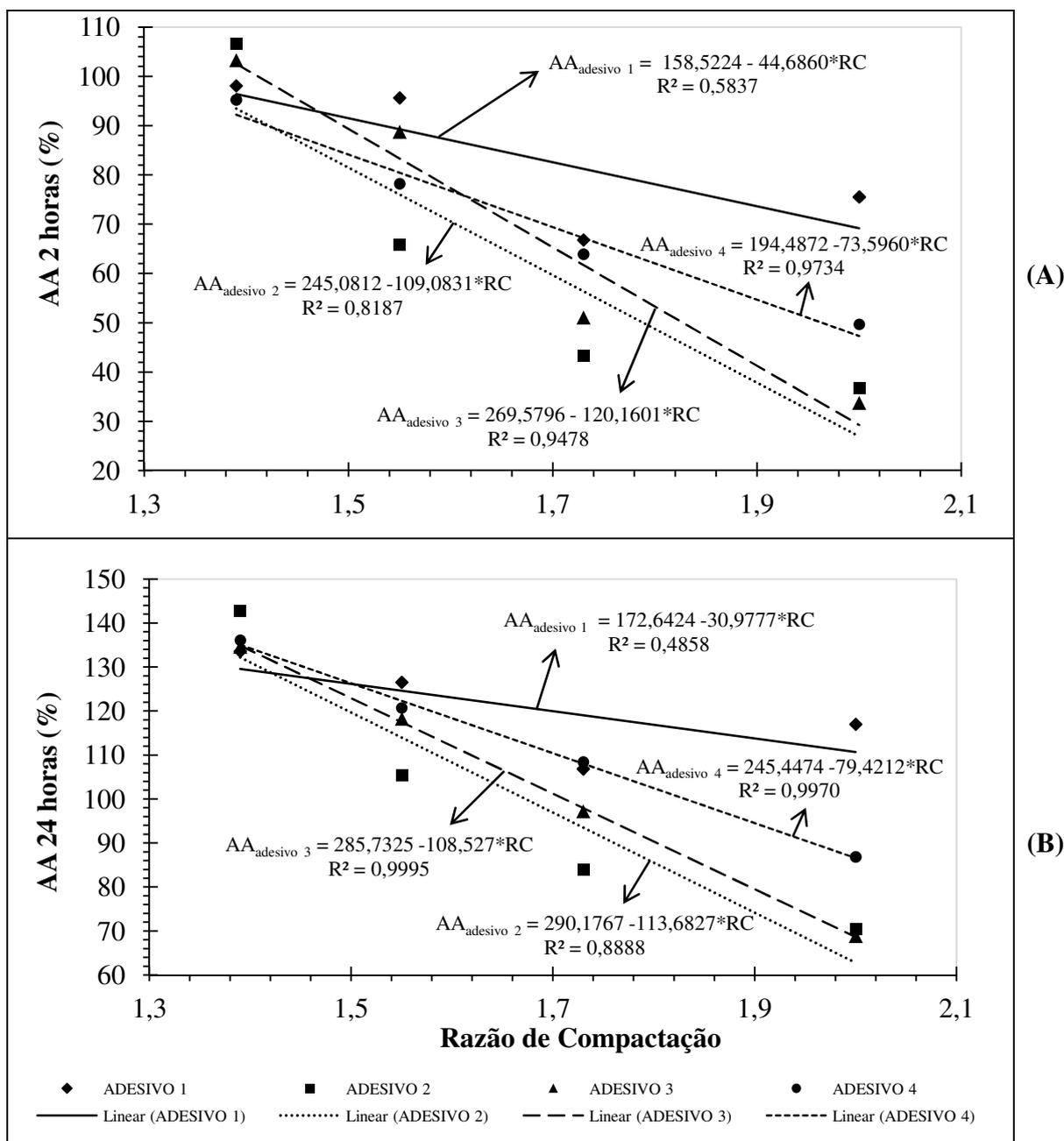
Apenas ocorreu ligeiro aumento para o Inchamento em espessura após 24 de imersão, com adição de 30% de tanino. Este comportamento difere do apresentado por Iwakiri et al. (1996) e DaCosta et al. (2005). Segundo os mesmos, se espera que nas maiores razões de compactação, maior seria a instabilidade dimensional do painel, tendo em vista a maior densidade nominal. Fato decorrido da maior quantidade de massa de partículas por volume. A adição de 10 e 20% de tanino em pó proporcionou redução do inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, ocorrendo o mesmo em todas as demais proporções para imersão após duas horas.



**Figura 2.** Efeito da razão de compactação para o inchamento em espessura após duas (A) e 24 horas (B) de imersão nos adesivos estudados.

Nota-se ainda que aqueles painéis contendo apenas uréia-formaldeído apresentaram tendência de crescimento em ambos os inchamentos, com aumento na razão de compactação. Isso está associado com a liberação da tensão de compressão proporcionado pela afinidade da uréia com as moléculas de água. Melo et al. (2010) avaliaram o inchamento em espessura após duas e 24 horas em painéis encolados com uréia-formaldeído a uma razão de compactação de 1,41 (densidade nominal de  $0,70\text{ g.cm}^{-3}$ ), encontrando valores médios de 7,94 e 29,14%, respectivamente. O presente trabalho, diferentemente dos autores anteriormente citados, uma vez que a estabilidade dimensional após 24 de imersão apresentou-se com valores menores para uma compactação muito próxima.

A Figura 3 ilustra o efeito do comportamento da razão de compactação em função das propriedades de Absorção de água após duas e 24 de imersão, para os diferentes adesivos estudados.



**Figura 3.** Efeito da razão de compactação para a absorção de água após duas (A) e 24 (B) horas de imersão nos adesivos estudados.

A absorção de água após 24 horas apresentou melhores resultados a partir da aplicação de 10% de tanino em pó às partículas de madeira já encoladas com uréia-formaldeído. Para todas as situações, de forma geral, a adição de tanino em pó, não influenciou negativamente ( $p > 0,05$ ) na instabilidade dos painéis. Isto é interessante, pois não há necessidade de promover a diluição do mesmo em água, além de que a pulverização desta solução poderia entupir a pistola de aplicação nas maiores concentrações. Desta forma, poder-se utilizar maiores proporções de tanino.

Melo et al. (2010) encontraram para uma razão de compactação com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* valor igual a 1,41, próxima a menor deste estudo, e valores inferiores de absorção de água após duas e 24 de imersão, sendo respectivamente 10,23 e 39,01%. Este comportamento pode estar relacionado com a temperatura empregada ser mais elevada (180°C). Nota-se na Figura 2 que os valores de absorção de água para ambos períodos de imersão em água foram decrescentes com o aumento da razão de compactação.

Existem técnicas que podem ser aplicadas pra melhorar o desempenho da estabilidade dimensional em painéis a base de partículas, à exemplo do citado por Widyorini et al. (2005), em os autores mencionam a injeção de vapor, por ser um método eficaz e relativamente simples.

Os modelos de regressão lineares ajustados para as propriedades de inchamento em espessura e absorção de água em função da razão de compactação foram significativos a 5% pelo teste F, com  $\beta_0$  significativo pelo teste  $t$  ( $p < 0,05$ ).

### 3.2 Propriedades mecânicas dos painéis

A Tabela 5 ilustra os valores observados para os ensaios do efeito do adesivo nas propriedades mecânicas para as razões de compactação avaliadas.

**Tabela 5.** Valores médios observados do efeito do adesivo nas propriedades mecânicas para as razões de compactação (RC) estudadas (continua)

Razão de compactação	Propriedades	Adesivo			
		1 (100:0)	2 (90:10)	3 (80:20)	4 (70:30)
RC 1 (1,39)	MOR (MPa)	4,66 (1,31) a*	4,45 (1,15) a	5,18 (1,07) a	4,44 (0,71) a
	MOE (MPa)	802,87 (166,68) a	817,72 (157,81) a	911,55 (163,22) a	794,38 (87,16) a
	LI (MPa)	0,30 (0,054) b	0,29 (0,153) b	0,41 (0,078) a	0,35 (0,080) ab
	Parafuso (N)	66,45 (7,47) b	105,69 (15,58) a	73,44 (10,67) b	70,76 (11,69) b
RC 2 (1,55)	MOR (MPa)	4,65 (1,50) b	7,09 (1,74) a	6,31 (2,11) ab	7,30 (1,68) a
	MOE (MPa)	895,09 (213,00) b	1131,87 (197,79) ab	1017,54 (330,53) ab	1228,12 (222,96) a
	LI (MPa)	0,27 (0,068) c	0,49 (0,071) a	0,39 (0,06) b	0,44 (0,067) ab
	Parafuso (N)	65,53 (10,43) b	93,59 (10,76) a	83,29 (13,06) a	79,29 (8,62) ab
RC 3 (1,73)	MOR (MPa)	6,30 (0,91) b	9,30 (2,04) a	9,99 (2,13) a	9,54 (1,40) a
	MOE (MPa)	1152,38 (159,27) b	1439,72 (226,55) ab	1623,34 (272,37) a	1576,79 (146,09) a
	LI (MPa)	0,38 (0,030) c	0,58 (0,062) a	0,55 (0,067) ab	0,50 (0,105) b
	Parafuso (N)	84,76 (6,02) b	117,19 (14,03) a	112,42 (13,05) a	58,72 (12,95) c

**Tabela 3.** Continuação

RC 4 (2,00)	MOR (MPa)	7,31 (2,00) c	14,20 (2,32) ab	14,60 (2,11) a	12,46 (3,51) b
	MOE (MPa)	1402,12 (240,35) c	2345,56 (674,84) a	2099,22 (192,69) ab	1927,78 (380,83) b
	LI (MPa)	0,31 (0,099) c	0,68 (0,084) a	0,71 (0,054) a	0,57 (0,075) b
	Parafuso (N)	111,69 (14,93) b	153,47 (12,82) a	146,81 (16,59) a	144,69 (27,11) a

\* A existência de pelo menos uma letra igual na linha e para cada variável analisada não difere estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; LI = ligação Interna; Parafuso = resistência ao arrancamento de parafuso na face. Valores entre parênteses é o desvio padrão.

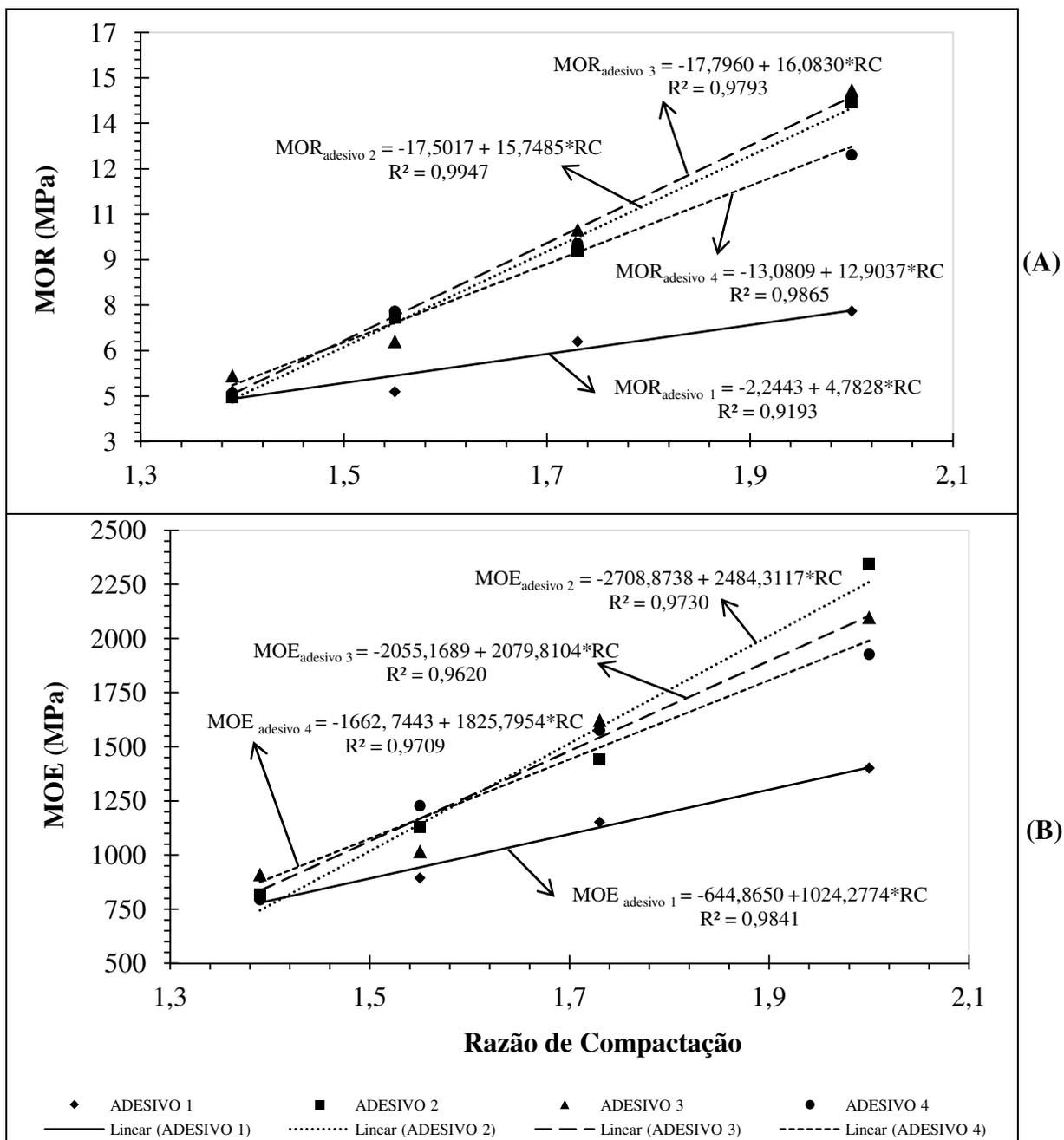
A análise de variância detectou haver diferença estatística na interação adesivo x razão de compactação ( $p < 0,05$ ) para as propriedades mecânicas estudadas (Apêndice II).

De acordo com a Tabela 5, a variação do adesivo não influenciou na razão de compactação de 1,39 ( $p < 0,05$ ) para os módulos de ruptura e de elasticidade, e, independentemente da razão de compactação com exceção da razão de 1,39. O adesivo com 100% de uréia-formaldeído apresentou os piores resultados. Os módulos de ruptura e elasticidade foram influenciados pelas razões de compactação de 1,55, 1,73 e 2,00, sendo que a adição de tanino melhorou boa parte das propriedades mecânicas, estatisticamente. O adesivo com 10% de tanino, na razão de compactação 2,00 apresentou-se com melhor comportamento, porém não diferindo estatisticamente do adesivo com 20% de tanino em todas as propriedades mecânicas estudadas.

Em relação ao módulo de ruptura, os painéis confeccionados com adesivo uréia-formaldeído modificado com tanino em pó nas diferentes proporções, na razão de compactação 2,00 atingiram o mínimo estipulado pela norma CS236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), que é de 9,61 MPa para a classe 2. Os painéis fabricado na razão de compactação de 1,73 com 20% de tanino (80:20) também atingiram o mínimo estipulado.

Para o módulo de elasticidade, o comportamento foi similar para o módulo de ruptura na razão de compactação 2,00, superando o mínimo de 1.716 MPa exigido pela norma CS236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968).

A Figura 4 ilustra o efeito do comportamento da razão de compactação em função dos módulos de ruptura e de elasticidade nos adesivos estudados.



**Figura 4.** Efeito da razão de compactação para os módulos de ruptura (A) e de elasticidade (B) nos adesivos estudados.

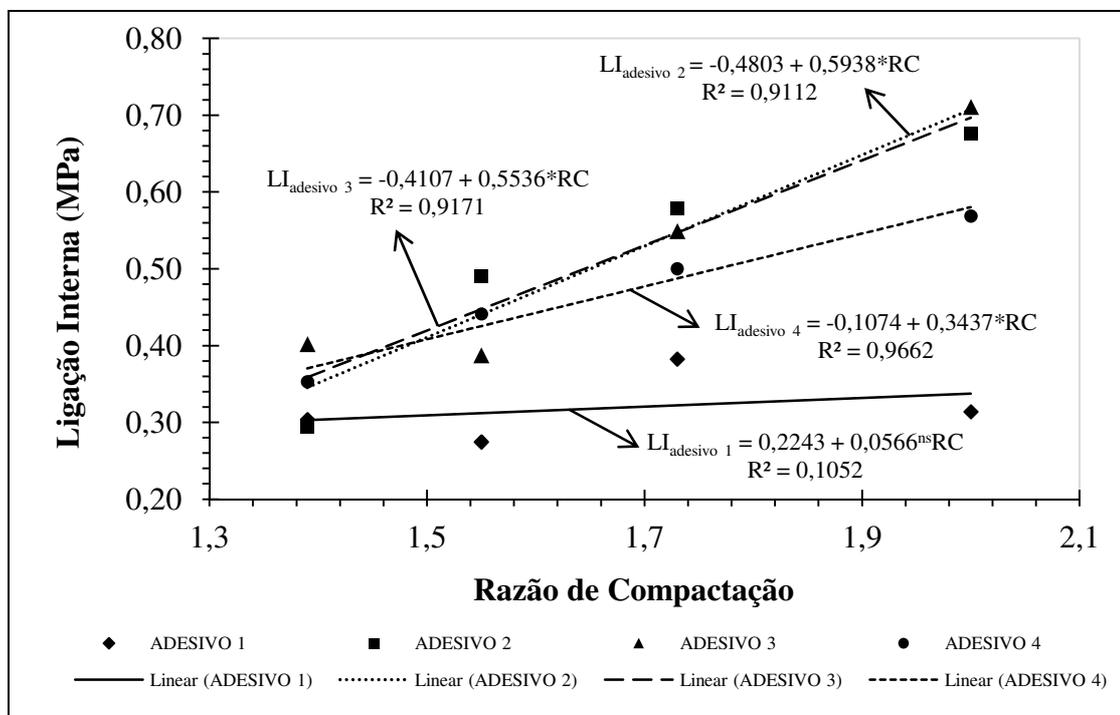
De acordo com o apresentado na Figura 4A, a densificação dos painéis foi linear e crescente para todos os adesivos utilizados, com bom ajuste para o módulo de ruptura (valores elevados de  $R^2$ ), destacando-se os adesivos com 20% e 30% de tanino.

Para o módulo de elasticidade (Figura 4B), a densificação dos painéis foi linear, crescente e significativa para todos os adesivos utilizados, mostrando ainda que a interação da propriedade mecânica ocorreu entre todos adesivos testados, destacando aquelas com 10, 20 e 30% de tanino, nas maiores razões de compactação. Porém, a adição de apenas 10% apresentou maior incremento.

Comportamento similar foi encontrado por Melo et al. (2010), onde foi adicionado tanino de acácia negra à uréia-formaldeído. Os autores obtiveram maiores resultados com o

tanino como aglutinante na estabilidade dimensional e resistência mecânica, sendo esta última, também influenciada positivamente com o aumento da massa específica.

A Figura 5 ilustra o efeito do comportamento da razão de compactação em função da ligação interna.



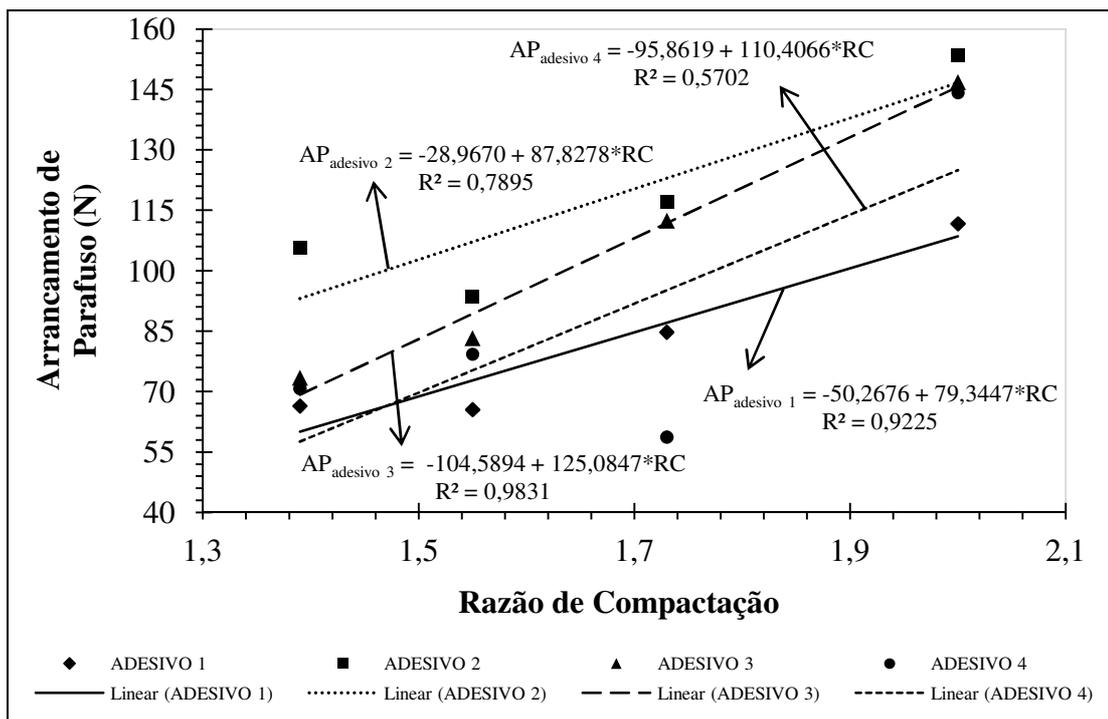
**Figura 5.** Efeito da razão de compactação para a ligação interna nos adesivos estudados.

Para a Ligação interna, pode-se afirmar que a adição do tanino na forma de pó proporcionou melhoria significativa em praticamente todas as razões de compactação, qualquer que seja a concentração ( $p < 0,05$ ). Os painéis atingiram os valores de Ligação interna exigidos pela norma canadense CS 236-66 para aqueles painéis de baixa e média densidade, que é de 0,21 Mpa, independente da razão de compactação e do adesivo utilizado.

Conforme observa-se na Figura 5, o aumento da razão de compactação provocou um maior volume de partículas na composição do painel, o que aliado a adição de tanino em pó às partículas encoladas com uréia, propiciou uma melhora na propriedade de ligação interna. Destacam-se os adesivos com 10% e 20% de tanino. Apesar da adição de 30% de tanino apresentar uma melhor associação entre as variáveis ( $>R^2$ ), o incremento na ligação interna é menor.

A utilização do adesivo somente à base de uréia-formaldeído (Adesivo 1 – Figura 5) apresentou coeficiente angular não significativo ( $p > 0,05$ ); portanto, qualquer que seja o valor da razão de compactação utilizada, o valor da propriedade não se alteraria, sendo igual a média geral para a mesma (0,32MPa).

A Figura 6 ilustra o efeito do comportamento da razão de compactação em função da resistência ao arrancamento de parafuso na face nos adesivos estudados.



**Figura 6.** Efeito da razão de compactação para a resistência ao arrancamento de parafuso nos adesivos estudados.

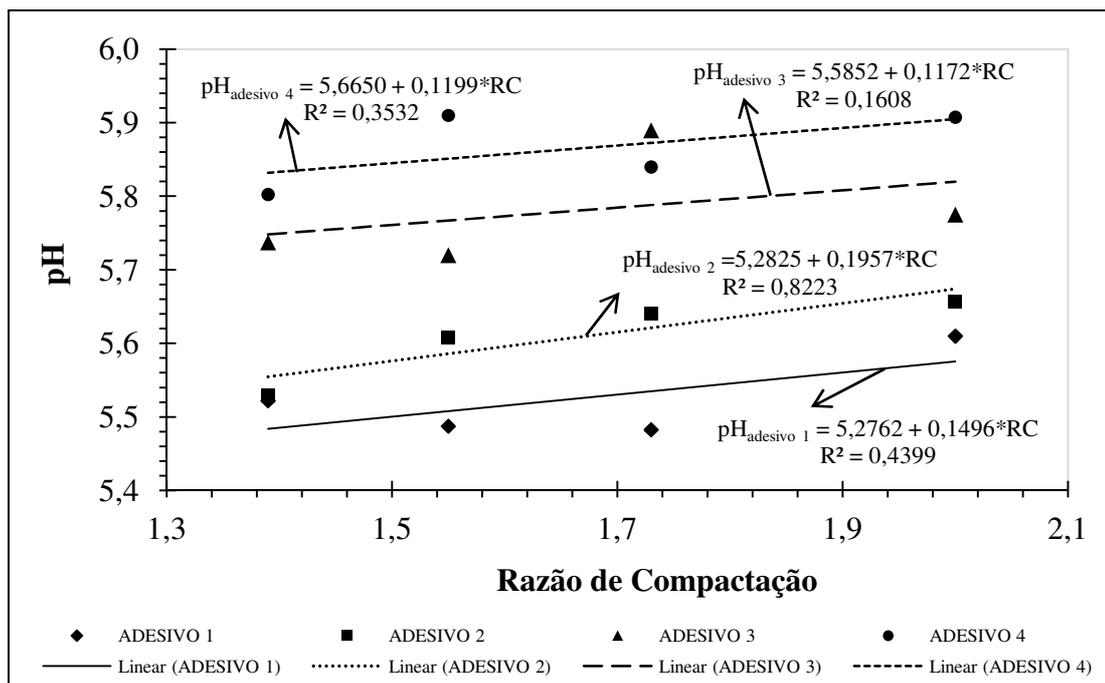
As equações lineares ajustadas para o arrancamento de parafuso (Figura 6) em função das razões de compactação sobre o efeito dos adesivos apresentaram comportamento similar entre si. A adição de 10% de tanino apresentou maior resistência ao arrancamento de parafuso; o adesivo com 20% de tanino apresentou maior coeficiente de determinação e um incremento maior na resistência para intervalos menores na razão de compactação. De forma geral, o aumento da razão de compactação associado à adição de tanino em pó às partículas encoladas com uréia-formaldeído, proporcionou uma boa correlação com os valores de arrancamento de parafuso.

O arrancamento de parafuso em todas as situações de adesivos e razões de compactação não atingiram o mínimo estipulado pela NBR 14810 (ABNT, 2006) e A208.1 (ANSI, 1999), que é de 700 N e 1100 N, respectivamente. No entanto, os baixos valores não impedem o uso dos painéis em situações em que esta propriedade é pouco utilizada. Alguns autores encontraram valores superiores às propriedades mecânicas em relação ao presente estudo, como Melo et al. (2010), Melo & Del Menezzi (2010), principalmente para as menores razões de compactação e apenas em partículas encoladas com uréia-formaldeído.

Os modelos de regressão lineares ajustados para os módulos de ruptura e elasticidade, ligação interna e arrancamento de parafuso em função da razão de compactação foram significativos a 5% pelo teste F, com  $\beta_0$  significativo pelo teste  $t$  ( $p < 0,05$ ). Exceto para a ligação interna, o qual  $\beta_0$  foi significativo pelo teste  $t$  com probabilidade superior a 15%.

### 3.3 Potencial de hidrogênio

A Figura 7 ilustra o comportamento para o pH em função da razão de compactação.



**Figura 7.** Efeito da razão de compactação no potencial de hidrogênio nos adesivos estudados.

Observa-se que os aumentos de pH foram mais expressivos e com menores desvios mediante a utilização do adesivo com apenas 10% de tanino ( $> R^2$ ). A interação entre adesivo e razão de compactação foi significativa pela análise de variância, porém pouco expressiva. No entanto, observa-se um aumento crescente do pH em função da razão de compactação, explicado facilmente pelo aumento de partículas e da quantidade de tanino a elas adicionados, uma vez que o tanino é proporcional a massa seca de sólidos ao adesivo uréia-formaldeído. Tostes et al. (2004), trabalhando com adesivo uréia-formaldeído modificado com taninos da casca de *Eucalyptus pellita* encontraram diminuição do valor pH com adição de extrato tânico ao adesivo uréico.

O potencial de hidrogênio do tanino utilizado estava na média de 6,64, o que contribuiu para uma redução do pH nos painéis após a adição da resina uréia-formaldeído, esta com caráter mais alcalino (8,5) assim como o pH da madeira, que estava entre 5,5 e 5,9 (GONÇALVES & LELIS, 2012). Albuquerque et al. (2005), menciona que o processo de cura da uréia-formaldeído ocorre em meio ácido e que quando se utiliza madeiras de pH mais básico, isto pode comprometer o processo de colagem, mediante a degradação das fibras.

O pH em painéis à base de tanino e sua influência em algumas propriedades tecnológicas ainda são pouco estudados, bem como o próprio estudo do pH em madeira, apesar de ser esta variável extremamente importante. A modificação das características dos taninos quando formado por meio de solução com água é bastante utilizada nas pesquisas, principalmente como forma de reduzir sua viscosidade, como observado por Gonçalves et al. (2008) e Carneiro et al. (2009). Esta forma de aplicação do tanino permite uma alteração na reatividade do mesmo junto a resinas sintéticas (TOSTES, 2003).

#### 4 CONCLUSÕES

- A adição de tanino em pó às partículas proporcionou melhorias nas propriedades de inchamento em espessura e absorção de água, à medida que se densificou o painel.

- As propriedades mecânicas apresentaram melhores resultados com o incremento de tanino em pó às partículas encoladas com uréia-formaldeído, principalmente nas maiores razões de compactação.
- Pode-se afirmar que é possível adicionar tanino na forma de pó às partículas na fabricação de painéis aglomerados, sem prejudicar em demasia suas propriedades, devendo-se, portanto, tomar os devidos cuidados por ocasião da utilização do painel.

## **5. CAPÍTULO III**

### **DENSITOMETRIA DE RAIOS X NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PAINEL AGLOMERADO DE *Acacia mangium***

## RESUMO

Seis corpos de prova (50 x 50mm), provenientes de painéis aglomerados confeccionados com madeira de *Acacia mangium* e colados com adesivo uréia-formaldeído modificado com tanino comercial em pó de *Acacia mearnsii*, foram submetidos à análise não destrutiva da densidade por meio da técnica de raio X. Os painéis foram fabricados com quatro razões de compactação (1,39; 1,55; 1,73; e, 2,00) em quatro proporções de tanino em pó (0, 10, 20 e 30%), perfazendo-se 16 tratamentos. Foram determinados, analisados e comparados os valores de parâmetros do perfil da densidade aparente (densidade média, densidade máxima, densidade mínima) e densidade gravimétrica do aglomerado. Os resultados do perfil da densidade são apresentados em formas de gráficos e analisados por meio de análise de variância e regressão linear múltipla. Os perfis de densidade por densitometria de raio X ao longo da espessura dos painéis mostraram significativas variações da estrutura, nas razões de compactação a diferentes concentrações de tanino em pó. A técnica de raio X para obtenção direta da densidade, por meio não destrutivo foi considerada positiva.

**Palavras-chave:** Qualidade de chapa, análise não destrutiva, propriedades tecnológicas, perfis de densidade

## ABSTRACT

Six specimens (50 x 50mm) from particleboard made of wood from *Acacia mangium* and bonded with urea-formaldehyde modified powder form commercial tannin of the *Acacia mearnsii*, were subjected to test non-destructive density using the technique of X-ray. The panels were made with four compression ratio (1.39; 1.55; 1.73; 2.00) at four levels of powder form tannin (0, 10, 20 and 30%), totaling 16 treatments. Determined, analyzed, and compared of the parameters of the density profile (maximum density, medium density and minimum density) and gravimetric density of the particleboard. The results of density profile are presented as graphs and analyzed by means of ANOVA and multiple linear regression. The density profiles by X-ray densitometry across the thickness of the panels showed significant variations in structure, compaction ratios in different concentrations of powder form tannin. The technique non-destructive for to obtaining density profile by X-ray through was considered positive.

**Key words:** Quality particleboard , nondestructive analysis, technological properties, density profile

## 1 INTRODUÇÃO

Os painéis aglomerados são compósitos fabricados a partir de partículas de madeira seca, pulverizadas com um adesivo, aderidas pela aplicação de pressão e alta temperatura. Podem ser formados exclusivamente com partículas de madeira de uma espécie ou de mistura de diversas espécies e, mesmo com outros componentes lignocelulósicos, resíduos madeireiros, mistura com plásticos, entre outros materiais.

Sabe-se que a densidade aparente de painéis aglomerados constitui-se em uma das propriedades físicas mais importantes sendo determinada em análises de rotina dos laboratórios e na indústria, por afetar outras propriedades físicas, mecânicas, e estar relacionada com os parâmetros de processamento (pressão, temperatura, tempo, etc), adesivo e madeira (espécie, geometria das partículas, etc) (MALONEY, 1977; KELLY, 1977; NEMLI & DEMIREL, 2007).

O perfil e a variação dos valores de densidade aparente ao longo da espessura dos painéis aglomerados de madeira são parâmetros importantes na avaliação das variáveis do processo, e da matéria-prima e determina a sua qualidade e uso final (WANG et al., 2006). A aplicação de metodologia de análise e de obtenção do perfil da densidade aparente dos painéis, por microdensitometria de raio X, tem sido relatada na literatura especializada por inúmeros autores (BUCUR, 2003; WANG et al., 2006; TOMAZELLO FILHO et al., 2010 ). O perfil de densidade aparente dos painéis de partículas de madeira, obtido pela densitometria de raio X, permite inferir sobre as diferentes etapas do processo, como nos parâmetros de fabricação do painel (teor de umidade, densidade da madeira, geometria das partículas), ciclo de prensagem no laboratório e na indústria etc. (WANG et al., 2004; BELINI, et al., 2012). A técnica possibilita, da mesma forma, analisar comparativamente os painéis OSB, compensado, MDF e painel aglomerado de partículas de madeira, evidenciando a distribuição da densidade em várias resoluções espaciais, com variação de 0,60-0,80 g.cm<sup>-3</sup> (CHEN et al., 2010). A densitometria de raio X permite, ainda, a detalhada caracterização tecnológica da madeira, de painéis MDF de madeira de eucalipto, além da detecção de alterações anatômica e física, como a induzida por fungos de podridão branca e do efeito das práticas silviculturais na qualidade da madeira (TOMAZELLO FILHO et al., 2010).

Wang et al. (2007) relataram que a técnica de raio X é capaz de revelar a distribuição de densidade em várias resoluções espaciais, sendo importante porque permite mostrar a relação entre as propriedades do painel e sua densidade aparente, sempre medida em uma área conhecida de uma amostra específica.

Pelo exposto, o presente trabalho teve como objetivo determinar a variação da densidade aparente de painéis aglomerados de partículas da madeira de *Acacia mangium* aplicando a metodologia de raio X.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização dos painéis aglomerados

Foram confeccionados painéis aglomerados com a mistura de partículas da madeira de 10 árvores de *Acacia mangium*, de DAP de 18-20 cm, de plantação de 50 meses de idade, localizada no município de Santa Bárbara, MG, da empresa Cenibra S.A. As árvores de *A. mangium* foram selecionadas de plantação consorciada com *Eucalyptus urophylla* x *grandis*, sendo 50% de cada espécie, com sua madeira apresentando densidade básica de 0,33 g.cm<sup>-3</sup> (ver capítulo 2).

Na confecção dos painéis aglomerados de *A. mangium* utilizou-se o adesivo uréia-formaldeído (MDP1021), com teor de sólidos de 64%, pH de 8,5, viscosidade de 371,86 cP e densidade de 1,23 g.cm<sup>-3</sup>. A proporção de adesivo uréia-formaldeído utilizada na confecção das chapas foi de 10% em relação à massa seca das partículas de madeira. O tanino em pó de *A. mearnsii* utilizado na confecção dos painéis aglomerados (nome comercial Phenothan AP), com 12% de umidade, foi aplicado após o encolamento com uréia-formaldeído. Os painéis foram fabricados com tempo de prensagem de 8 minutos, temperatura de 140°C e pressão de 3,92 MPa. Maiores informações sobre o processo de fabricação dos painéis encontram-se no capítulo 2.

Foram confeccionados painéis aglomerados de partículas de madeira de *A. mangium* compreendendo os seguintes tratamentos: Tratamento 1: Razão de compactação de 1,39 e 100% de uréia-formaldeído e 0% de tanino em pó; Tratamento 2: Razão de compactação de 1,39 e 90% de uréia-formaldeído e 10% de tanino em pó; Tratamento 3: Razão de compactação de 1,39 e 80% de uréia-formaldeído e 20% de tanino em pó; Tratamento 4: Razão de compactação de 1,39 e 70% de uréia-formaldeído e 30% de tanino em pó; Tratamento 5: Razão de compactação de 1,55 e 100% de uréia-formaldeído e 0% de tanino em pó; Tratamento 6: Razão de compactação de 1,55 e 90% de uréia-formaldeído e 10% de tanino em pó; Tratamento 7: Razão de compactação de 1,55 e 80% de uréia-formaldeído e 20% de tanino em pó; Tratamento 8: Razão de compactação de 1,55 e 70% de uréia-formaldeído e 30% de tanino em pó; Tratamento 9: Razão de compactação de 1,73 e 100% de uréia-formaldeído e 0% de tanino em pó; Tratamento 10: Razão de compactação de 1,73 e 90% de uréia-formaldeído e 10% de tanino em pó; Tratamento 11: Razão de compactação de 1,73 e 80% de uréia-formaldeído e 20% de tanino em pó; Tratamento 12: Razão de compactação de 1,73 e 70% de uréia-formaldeído e 30% de tanino em pó; Tratamento 13: Razão de compactação de 2,00 e 100% de uréia-formaldeído e 0% de tanino em pó; Tratamento 14: Razão de compactação de 2,00 e 90% de uréia-formaldeído e 10% de tanino em pó; Tratamento 15: Razão de compactação de 2,00 e 80% de uréia-formaldeído e 20% de tanino em pó; Tratamento 16: Razão de compactação de 2,00 e 70% de uréia-formaldeído e 30% de tanino em pó.

## **2.2 Confecção dos corpos de prova dos painéis aglomerados**

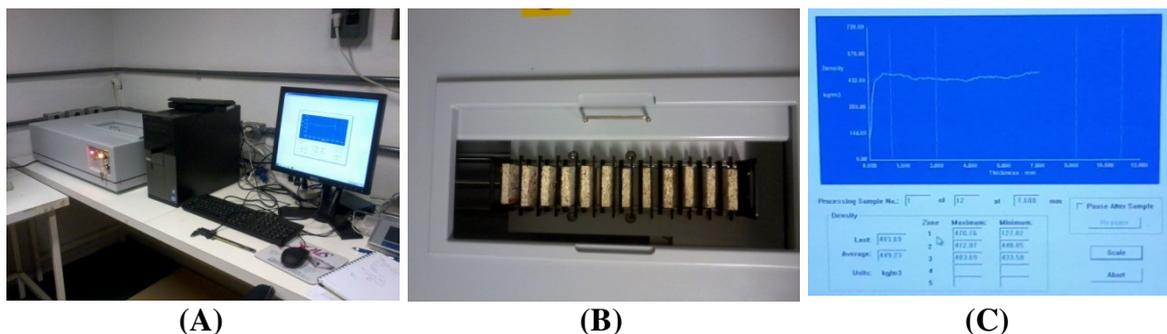
Foram produzidos 64 painéis aglomerados (16 tratamentos e 4 repetições) sendo retirados dois 2 corpos de prova de 50 x 50 mm de cada painel, compreendendo 8 corpos de prova/tratamento. Foram selecionados ao acaso 6 corpos de prova para as análises densitométricas e determinação da densidade aparente.

Os 96 corpos de prova foram acondicionados em sala de climatização (20°C, 60% UR, 72 horas), previamente às análises por microdensitometria de raio X.

## **2.3 Determinação dos parâmetros de densidade dos painéis aglomerados**

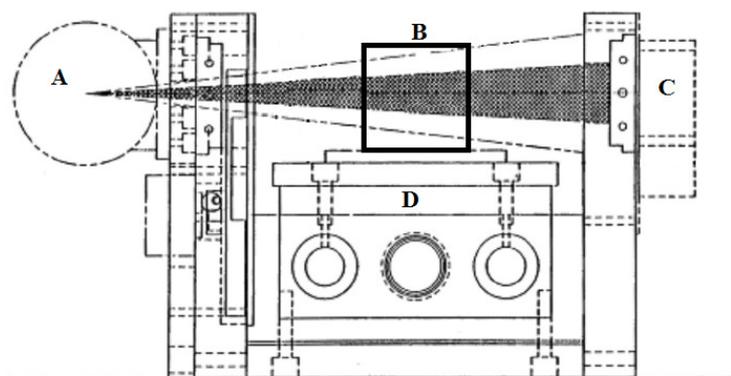
### **2.3.1 Densidade aparente dos painéis aglomerados por microdensitometria de raio X**

Os corpos de prova dos painéis aglomerados foram inseridos no porta-amostra (capacidade para doze corpos de prova) e transferidos para um compartimento interno blindado do equipamento microdensitômetro de raio X marca QMS modelo QDP-01X (Figura 1), com as seguintes características: voltagem de 10-50KV, corrente de 1,5mA, colimação inicial e final dos feixes de 180 e de 90 µm, respectivamente.



**Figura 1.** Obtenção do perfil de densidade de painéis aglomerados de partículas de madeira de *Acacia mangium* por densitometria de raio X. (A) equipamento densitômetro de raio X, (B) porta-amostra com os corpos de prova dos painéis aglomerados (50 x 50 mm) na câmara de irradiação do equipamento, (C) processo de varredura das amostras pelo feixe colimado de raio X e respectivo perfil de densidade sendo gerado. Fonte: O autor.

Inicialmente, o equipamento de raio X é calibrado para operação de escaneamento (varredura) contínua ao longo da espessura dos corpos de prova dos painéis aglomerados, pelos feixes colimados de raio X. Um *software* do equipamento controla o funcionamento da ampola de raio X, possibilitando a geração de um feixe de raio X estável que, em seguida, é colimado através da passagem por uma fenda de um bloco metálico (0,005 cm de largura; 2,5 cm de altura) e, na sequência, a dose de raio X total incide sobre a amostra do painel aglomerado (comprimento de 50 mm), sendo uma parte desta radiação atenuada e a que atravessa o painel é analisada no detector de cristal possibilitando a sua detecção e quantificação pelo programa do equipamento (Figura 2).



**Figura 2.** Corte esquemático do equipamento de raio X para a determinação do perfil de densidade aparente de painéis. Ampola de raio X fixa (A) emitindo o feixe de raio X, que colimado incide na amostra do painel (B), sendo parte atenuado na amostra e parte analisado pelo detector (C); o porta-amostra (D) movimenta linearmente o painel em velocidade contínua, propiciando a leitura do valor da densidade a cada 40  $\mu\text{m}$ . Fonte: Wang et al. (2006) mod..

As seis amostras dos painéis aglomerados inseridas no porta-amostra são, desta forma, analisadas (irradiadas) em operação sequencial pelo feixe colimado de raio X, com velocidade da varredura precisamente controlada, pelo *software*, propiciando a leitura da densidade aparente à intervalo constante (40  $\mu\text{m}$ ) no sentido do comprimento do corpo de prova do painel aglomerado (50 mm) e ao longo da espessura do mesmo (1,54 cm em média). A imagem do perfil da densidade analisada e os respectivos valores pontuais de densidade

aparente – constituindo o perfil de variação de densidade - são simultaneamente observados na tela do monitor (Figura 1C) permitindo o acompanhamento do processo de análise dos painéis (QMS, 2012). Os valores pontuais de densidade aparente do painel aglomerado são tratados pelo *software* QMS, originando o arquivo DAN (relatório da análise com os valores pontuais de densidade aparente do painel a cada 40 µm de distância linear). Em seguida, o arquivo DAN é lido pelo *software* Excel<sup>®</sup>, construindo-se os perfis de densidade aparente do painel aglomerado e possibilitando determinar a sua (i) densidade média, (ii) densidade máxima e (iii) densidade mínima.

A intensidade de raio X que atravessa pontualmente a amostra do painel, incide sobre o detector, sendo transformada em densidade aparente através do *software* QMS baseando-se nos parâmetros da Expressão 1.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu_1 t} = e^{-\mu_m \rho t} \quad (\text{Expressão 1})$$

Em que: I = intensidade de radiação que transpassa o corpo de prova (total de fótons por unidade de área por unidade de tempo); I<sub>0</sub> = intensidade de radiação que ficou retida no corpo de prova; µ<sub>1</sub> = coeficiente de atenuação linear do material (cm<sup>-1</sup>); µ<sub>m</sub> = coeficiente de atenuação da massa do material (cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>); ρ = densidade do material (g.cm<sup>-3</sup>); t = espessura do corpo de prova; e = logaritmo de base natural

### 2.3.2 Densidade aparente dos painéis aglomerados por gravimetria

A densidade gravimétrica dos corpos de prova dos painéis aglomerados foi determinada mediante obtenção de seu volume (comprimento, largura e espessura), obtidos com paquímetro digital de 0,1 mm e de sua massa, obtida com balança digital de precisão de 0,001 g acoplados ao microcomputador e consequentemente ao *software* de análise e inseridos automaticamente no programa ao serem informados.

### 2.4 Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados foi aplicada a análise de variância através do delineamento inteiramente casualizado para os tratamentos, e utilizado o teste de Scott-Knott (5% de significância) para a comparação dos valores de densidade aparente dos painéis aglomerados.

A análise de regressão linear múltipla foi aplicada com o objetivo de relacionar as densidades média máxima e média mínima em relação à densidade média do painel, obtidas por densitometria de raio X.

Foi utilizado o modelo matemático  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + e_i$ , em que Y<sub>i</sub> é a Densidade aparente média dos painéis, em g.cm<sup>-3</sup>; X<sub>1i</sub> é a Densidade aparente máxima média, em g.cm<sup>-3</sup>; e X<sub>2i</sub> é Densidade aparente mínima média, em g.cm<sup>-3</sup>.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Densidade aparente dos painéis de partículas de madeira de *Acacia mangium*

Os valores de densidade aparente dos painéis aglomerados de partículas de madeira de *Acacia mangium* determinados pela metodologia de densitometria de raio X mostram variações significativas entre os tratamentos (Tabela 1).

Destacam-se os tratamentos de confecção dos painéis aglomerados que aplicam as razões de compactação mais elevadas, com os baixos valores dos desvios indicando certa homogeneidade entre os tratamentos. No entanto, há diferenças significativas entre os tratamentos de manufatura dos painéis que aplicam a mesma razão de compactação, demonstrando haver variáveis não controladas no processo produtivo dos painéis.

Os valores de densidade média, máxima e mínima dos painéis aglomerados variaram de 0,42 a 0,62g.cm<sup>-3</sup>, 0,47 a 0,75g.cm<sup>-3</sup> e 0,37 a 0,56g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 1). Como observado, os maiores valores absolutos de densidade aparente estão nos tratamentos de maior razão de compactação (1,73 e 2,00).

**Tabela 1.** Densidade aparente média, máxima e mínima por densitometria de raio X e média por gravimetria, dos painéis de partículas de madeira de *Acacia mangium*

RC	Tanino (%)	Uréia formaldeído (%)	Densidade aparente dos painéis (g.cm <sup>-3</sup> ) por Microdensitometria de raio X			Gravimetria Média (g.cm <sup>-3</sup> )
			Média	Máxima	Mínima	
1,39	0	100	0,45 (0,04) a	0,51 (0,07) a	0,42 (0,04) a	0,46 (0,04) a
	10	90	0,42 (0,04) a	0,47 (0,04) a	0,39 (0,03) a	0,44 (0,03) a
	20	80	0,47 (0,08) a	0,52 (0,10) a	0,43 (0,08) a	0,48 (0,09) a
	30	70	0,44 (0,06) a	0,48 (0,06) a	0,41 (0,05) a	0,45 (0,06) a
1,55	0	100	0,45 (0,04) a	0,51 (0,06) a	0,41 (0,04) a	0,46 (0,04) a
	10	90	0,47 (0,05) a	0,53 (0,05) a	0,43 (0,05) a	0,50 (0,05) a
	20	80	0,45 (0,05) a	0,52 (0,07) a	0,37 (0,12) a	0,47 (0,06) a
	30	70	0,55 (0,05) b	0,64 (0,07) b	0,49 (0,04) b	0,57 (0,05) b
1,73	0	100	0,51 (0,04) b	0,59 (0,05) a	0,47 (0,04) b	0,54 (0,04) b
	10	90	0,54 (0,05) b	0,63 (0,07) b	0,49 (0,05) b	0,56 (0,05) b
	20	80	0,53 (0,05) b	0,63 (0,07) b	0,48 (0,04) b	0,57 (0,05) b
	30	70	0,47 (0,07) a	0,54 (0,08) a	0,42 (0,05) a	0,49 (0,07) a
2,00	0	100	0,57 (0,05) b	0,67 (0,07) b	0,50 (0,05) b	0,60 (0,05) b
	10	90	0,61 (0,06) c	0,72 (0,06) c	0,56 (0,05) b	0,65 (0,06) c
	20	80	0,62 (0,05) c	0,75 (0,05) c	0,55 (0,06) b	0,66 (0,05) c
	30	70	0,59 (0,09) c	0,69 (0,08) c	0,52 (0,08) b	0,61 (0,09) c

\* Valores entre parênteses é o desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p<0,05); RC: Razão de Compactação

A razão de compactação é obtida com base na relação entre a densidade da madeira e a densidade do painel; por este motivo, esperava-se que, conforme afirmado por Naumann et. al (2008), em maiores valores desta razão, houvesse uma chapa mais homogênea no mesmo grupo, o que acabou não ocorrendo neste trabalho.

As condições laboratoriais de confecção, levando-se em conta a presença do tanino em pó na encoladeira e a condição da prensa, apresentou diferenças estatísticas significativas na densidade dos painéis aglomerados. As pesquisas realizadas em laboratórios, normalmente trabalham com valores de densidades próximos a 0,70 g.cm<sup>-3</sup> (TOSTES et al., 2004; BELINI et al., 2009; CARNEIRO et al., 2009), assim como nas indústrias, sendo raramente encontrados painéis com densidade inferiores a 0,50g.cm<sup>-3</sup>.

Nemli & Demirel (2007) encontraram uma densidade média de 0,90g.cm<sup>-3</sup> em painel multicamada, confeccionado com quatro espécies (*Fagus orientalis*; *Populus tremula*; *Pinus sylvestries*; e, *Quercus cerris*) em prensa não contínua. Os autores ainda afirmaram que este tipo de orientação das partículas *slivers* proporciona um decréscimo da densidade do centro

do painel, devido a uma diminuição do número de partículas, e com conseqüente aumento da densidade em ambas as superfícies.

No presente estudo a forma de distribuição das partículas no colchão, o tipo de prensagem e a velocidade não controlada da prensagem podem ter influenciado na formação da densidade do painel.

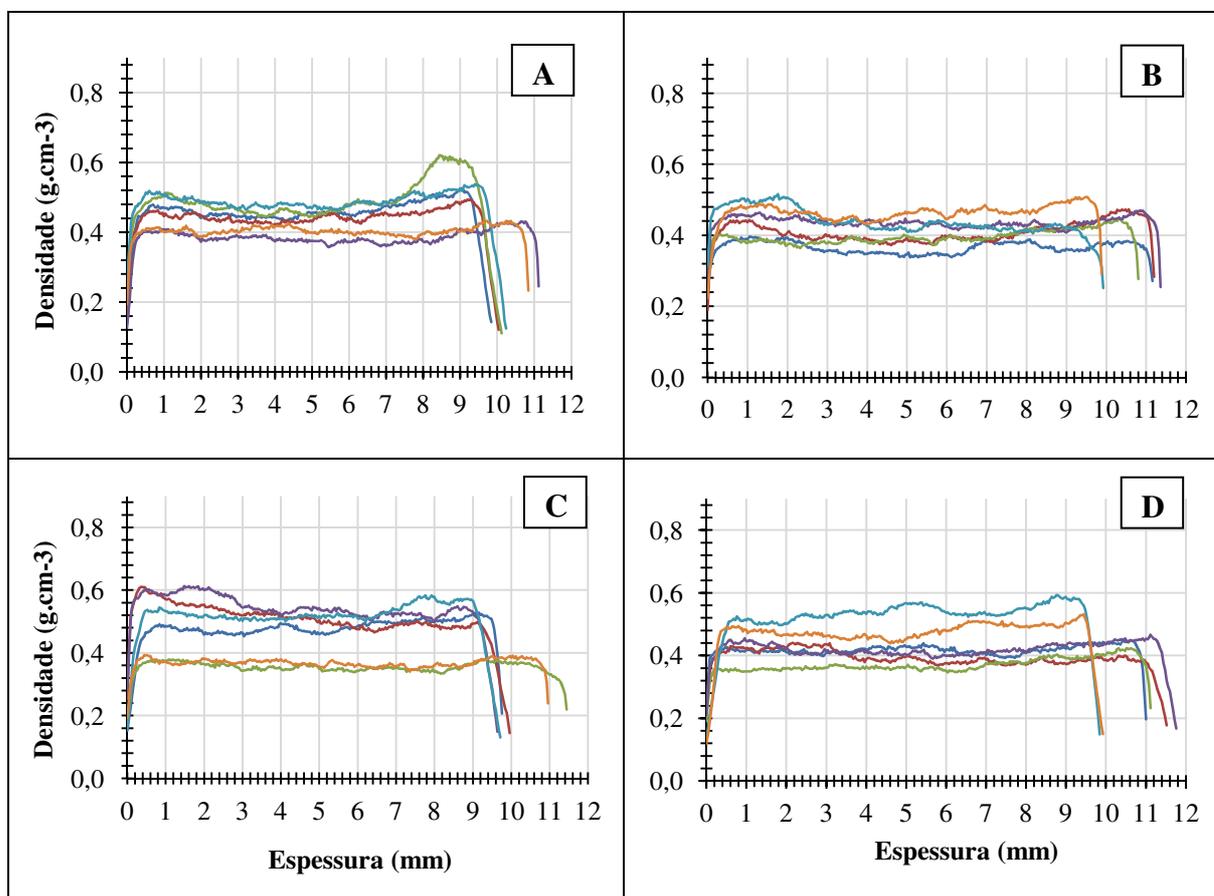
Chem et al. (2010) estudando a variação da densidade por raio X em diferentes tipos de painéis reconstituídos de madeira, encontraram valores médios para painéis aglomerados comerciais, da ordem de  $0,69\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ; e confirmaram também a existência de variações de densidades altas e baixas ao longo do comprimento do painel.

### 3.2 Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados por densitometria de raio X

Cada curva no gráfico (Figuras 3-6) representa um perfil de seis amostras obtidas de cada tratamento.

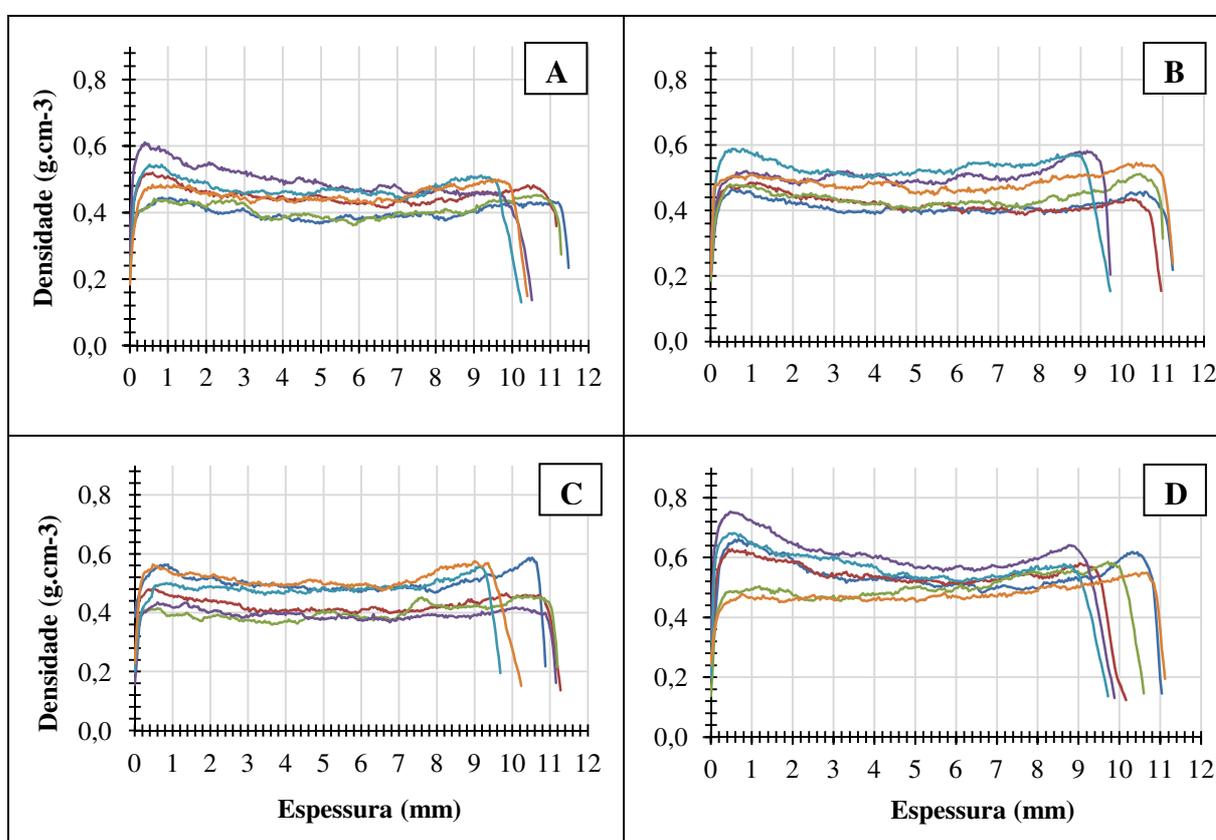
A avaliação dos valores de densidade média, mínima e máxima (Tabela 1) e o perfil de densidade ao longo da espessura dos painéis aglomerados de *Acacia mangium* (Figuras 3-6), por densitometria de raio X, indicam haver alguma similaridade entre os painéis, sobretudo naqueles de menor razão de compactação, sendo mais homogêneos na parte central dos mesmos (Figura 3 A, B, C e D).

Na razão de compactação 1,55 (Figura 4 A, B, C e D) nota-se o perfil próximo ao “M” característico em alguns corpos de prova, os quais são melhores observados na Figura 5 e 6 (A, B, C, e D), estas nas maiores razões de compactação. Pode-se afirmar que a aplicação do tanino em pó proporcionou picos de densidade em alguma ou outra extremidade do painel, o que está associado à sua não perfeita aderência à uréia-formaldeído contida na partícula, tendo o mesmo sido deslocado para a extremidade do painel no momento da confecção do colchão.

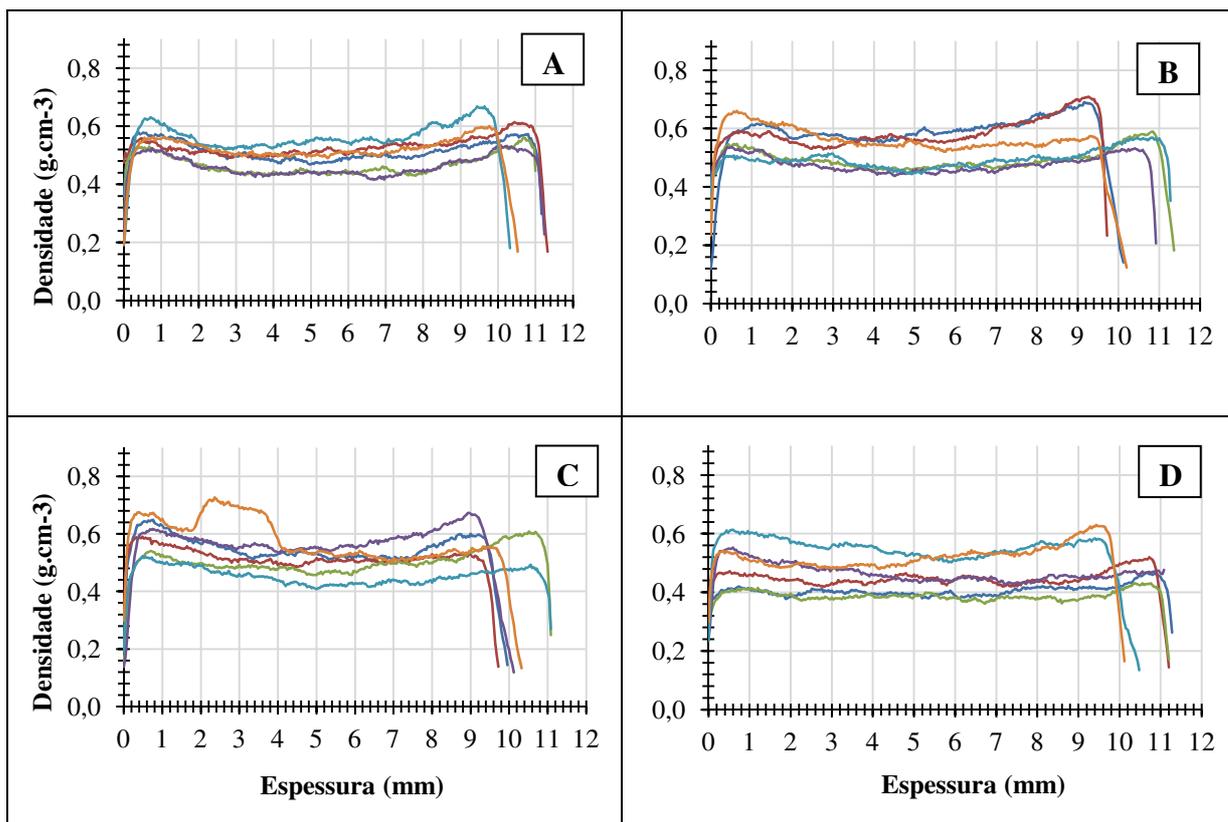


**Figura 3.** Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados confeccionados na razão de compactação de 1,39. (A) 100% Uréia-formaldeído:0% tanino; (B) 90% Uréia-formaldeído:10% tanino; (C) 80% Uréia-formaldeído:20% tanino; (D) 70% Uréia-formaldeído:30% tanino.

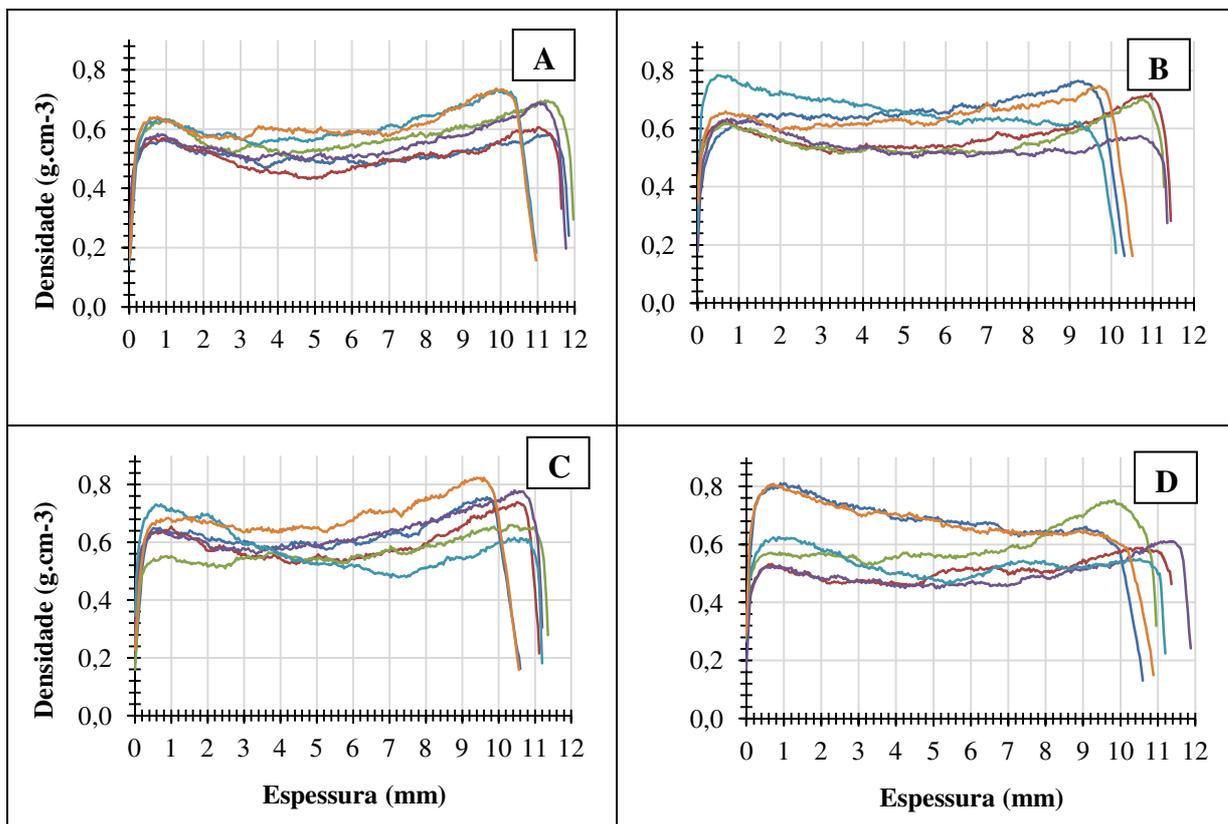
A análise dos perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados indica que suas faces superior e inferior apresentam densidade mais elevada em relação à região interna do painel. No entanto, não se observa o perfil de densidade, em forma de “M”, típico nos painéis MDF confeccionados com a madeira de eucalipto e outras espécies (TOMAZELLO FILHO et al., 2010; ROUTKARI et al., 2010). O modelo de perfis de densidade dos painéis aglomerados parece estar relacionado com a dimensão das partículas de madeira de *A. mangium* e com a maior quantidade aplicada de tanino em pó, após o encolamento dos painéis com uréia-formaldeído, propiciando um perfil de densidade aparente de baixa homogeneidade.



**Figura 4.** Perfis de densidade aparente dos painéis das amostras dos painéis obtidos para a razão de compactação de 1,55. (A) 100% Uréia-formaldeído:0% tanino; (B) 90% Uréia-formaldeído:10% tanino; (C) 80% Uréia-formaldeído:20% tanino; (D) 70% Uréia-formaldeído:30% tanino.



**Figura 5.** Perfis de densidade aparente dos painéis das amostras dos painéis obtidos para a razão de compactação de 1,73. (A) 100% Uréia-formaldeído:0% tanino; (B) 90% Uréia-formaldeído:10% tanino; (C) 80% Uréia-formaldeído:20% tanino; (D) 70% Uréia-formaldeído:30% tanino.



**Figura 6.** Perfis de densidade aparente dos painéis das amostras dos painéis obtidos para a razão de compactação de 2,00. (A) 100% Uréia-formaldeído:0% tanino; (B) 90% Uréia-formaldeído:10% tanino; (C) 80% Uréia-formaldeído:20% tanino; (D) 70% Uréia-formaldeído:30% tanino.

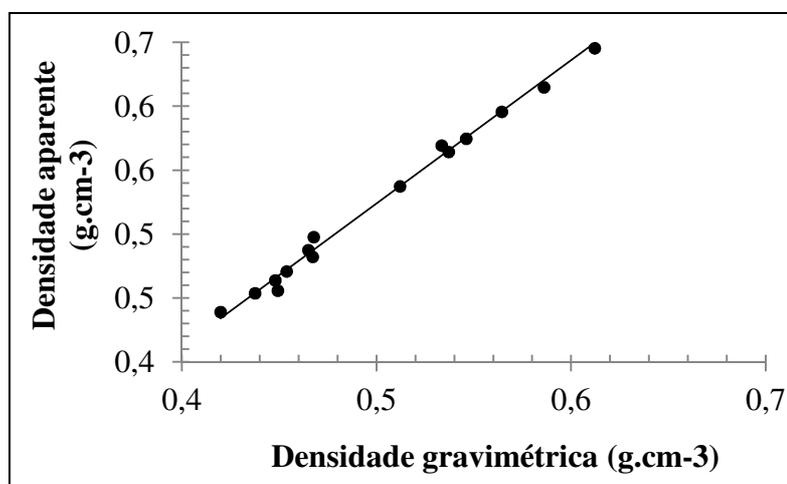
O perfil de densidade descreve a densidade do painel na camada de partículas que o compõe ao longo de sua espessura. O perfil em forma de “M” caracteriza superfícies de alta densidade nas extremidades com o seu centro de menor densidade, o que é normalmente formado em painéis prensados a quente, podendo afetar quase todas as propriedades físicas e mecânicas do produto (XU, 1999; WONG et al., 2000).

Em todas as Figuras 3 a 6 (Figuras A), observa-se uma certa coerência para aquelas situações em que foi utilizada somente a resina uréia-formaldeído, apesar de não haver diferenças estatísticas entre alguns tratamentos; o mesmo não foi observado para as demais situações na presença do tanino. As variações ocorridas nos perfis de densidade podem estar associadas à inconsistência partículas encoladas e ainda a formação do colchão (CHEN et al., 2010).

### 3.3 Correlação entre densidade aparente, obtida por raio X e densidade gravimétrica

O diagrama de dispersão para os valores médios obtidos da densidade aparente média dos painéis aglomerados de partículas de madeira de *Acacia mangium* obtidos por densitometria de raio X e por gravimetria (Figura 7) indica uma forte correlação entre os dois parâmetros de avaliação desta propriedade física dos painéis, expressada pelo forte valor do coeficiente de determinação de 0,99 ( $p < 0,05$ ). Este mesmo comportamento foi observado por Wang et al. (2006). O presente estudo encontrou o mesmo valor absoluto para o coeficiente de determinação do trabalho dos autores anteriormente citados, indicando ser a técnica de raio X bastante confiável e precisa para este tipo de painel.

Linville (2010) encontrou coeficiente de determinação ( $R^2=0,90$ ) entre ambas as densidades máximas e mínimas trabalhando com painel OSB de madeira de *Populus* sp. Apesar de ser mais poroso, e haver uma maior variação de densidade no interior do painel, a dispersão dos dados encontrada pelos autores, representa a distribuição dos erros residuais, com um desvio padrão constante.



**Figura 7.** Correlação da densidade aparente média dos painéis aglomerados de madeira de *Acacia mangium* por densitometria de raio X e por gravimetria.

### 3.4 Valores de densidades média, máxima e mínima

A análise de regressão linear múltipla indicativa da relação da densidade aparente média e a densidade máxima e mínima e sua ordem de importância, considerando o valor médio dos 96 corpos de prova dos painéis aglomerados indica, através da regressão ( $p < 0,01$  pelo teste  $t$ ) que a (i) densidade máxima do modelo de regressão (Expressão 2) explica 97,3% da variação total e as (ii) densidades máximas e mínimas explicam 85,24 e 21,40% da variação total da densidade, respectivamente. Ambas as densidades foram significativas, portanto, mantidos na expressão.

$$\hat{D}_{m\acute{e}dia} = 0,05958 + 0,61468^{**}D_{m\acute{a}ximo} + 0,18908^{**}D_{m\acute{i}nimo} \quad \text{Express\~{a}o (2)}$$

A importância de contribuição de cada uma das variáveis  $D_i$  ( $i = 1, 2$ ) foi medida com base no coeficiente de determinação parcial, conforme Hoffmann & Vieira (1983). A importância da contribuição de  $D_{m\acute{a}ximo}$  ( $X_1$ ) e  $D_{m\acute{i}nimo}$  ( $X_2$ ) é demonstrada respectivamente nas Expressões 3 e 4.

$$R_{YX_1.X_2}^2 = \frac{R^2 - R_{YX_2}^2}{1 - R_{YX_2}^2} = \frac{0,9727 - 0,8150}{1 - 0,8150} = 0,8524^{**} \quad \text{Express\~{a}o (3)}$$

$$R_{YX_2.X_1}^2 = \frac{R^2 - R_{YX_1}^2}{1 - R_{YX_1}^2} = \frac{0,9727 - (0,98247)^2}{1 - (0,98247)^2} = 0,2140^{**} \quad \text{Express\~{a}o (4)}$$

A explicação de quanto uma variável influencia na resposta de outra, é uma forma muito utilizada por alguns autores mediante o programa *Stepwise*, quando há a existência de muitas variáveis (ELEOTÉRIO, 2000; ROQUE & TOMAZELO FILHO, 2007; SETTE JUNIOR, 2010), o qual mediante diferentes etapas se inclui ou retira-se uma variável de resposta. Porém, como neste caso há somente duas variáveis de resposta (densidade máxima e densidade mínima), optou-se por não trabalhar desta forma.

## 4 CONCLUSÕES

- A técnica de raio X com obtenção direta da densidade possui grande capacidade de exploração para avaliação não destrutiva de sua distribuição em painéis aglomerados.
- Os perfis densitométricos ao longo da espessura dos painéis pela densitometria de raio X mostraram significativas variações da estrutura dos mesmos, nas razões de compactação a diferentes concentrações de tanino em pó.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS

- A madeira de *Acacia mangium* apresentou baixa densidade básica (valor médio de 0,34 g.cm<sup>-3</sup>), com baixo valor de acidez. Os valores de pH e capacidade tampão da madeira variaram de 5,45 a 5,90 e de 0,05 a 0,104 mmolNaOH, respectivamente. A madeira apresentou, ainda, baixos teores de extrativos, não havendo variação significativa ao longo da árvore.
- Os elementos anatômicos apresentaram-se sem variações significativas para a espécie, com exceção para os parênquimas axiais, os quais se encontram indistintos.
- Tecnicamente, a madeira apresenta características ideais para ser utilizada na indústria de colagem de madeira, em razão dos baixos teores de extrativos e da acidez não elevada.
- A adição de tanino em pó às partículas proporcionou melhorias nas propriedades de Inchamento em espessura e Absorção de água, à medida que se densificou o painel.
- As propriedades mecânicas apresentaram melhores resultados com o incremento de tanino em pó às partículas encoladas com uréia-formaldeído.
- O aumento da concentração de tanino em pó proporcionou melhorias significativas, sobretudo nas maiores razões de compactação.
- Maiores razões de compactação apresentaram melhores propriedades mecânicas, independente da proporção de adesivo uréia-formaldeído:natural.
- Pode-se afirmar que é possível adicionar tanino na forma de pó às partículas na fabricação de painéis aglomerados, sem, contudo prejudicar em demasia suas propriedades.
- A técnica de raio X com obtenção direta da densidade possui grande capacidade de exploração para avaliação não destrutiva de sua distribuição em painéis aglomerados.
- Os perfis densitométricos ao longo da espessura dos painéis pela densitometria de raio X mostraram significativas variações da estrutura dos mesmos, nas razões de compactação a diferentes concentrações de tanino em pó.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

- No Capítulo I, pode-se constatar que a madeira de *Acacia mangium* apresentou propriedades tecnológicas satisfatórias para situações em que se utilizam adesivos, sobretudo no que se refere aos baixos teores de extrativos e da acidez não elevada.
- No Capítulo II ficou evidenciado que a utilização de tanino comercial, sem prévia modificação de pH, na forma de pó, aplicado diretamente sobre as partículas já encoladas apresentou, de forma geral, bom comportamento, sobretudo nas maiores razões de compactação (2,00). O aumento da proporção de tanino poderá apresentar melhores resultados. Há a necessidade de novos estudos, sobretudo, no que se refere à aplicação de taninos na forma de pó, através de misturas com outras espécies, em maiores razões de compactação, podendo haver significativos incrementos de melhorias nas propriedades físicas. O aumento da proporção de tanino na forma de pó, mantendo-se constante o adesivo uréia-formaldeído é uma boa indicação de resultados positivos.
- Ainda no Capítulo II, a madeira de *Acacia mangium*, na forma de partículas apresentou bom comportamento quando se avaliou as propriedades tecnológicas dos painéis.
- No Capítulo III avaliou-se a técnica não destrutiva de microdensitometria de raio X na determinação da densidade aparente do painel aglomerado com a madeira de *Acacia mangium*, apresentando-se como uma excelente alternativa na sua determinação, por ser rápida, eficiente e muito detalhada. No entanto, mais esforços de pesquisa são necessários para melhorar a técnica de análise estatística, tornando-a ainda mais precisa, mediante a utilização de um *software* em que se permita uma sensibilização da definição dos intervalos máximos e mínimos, bem como a média no intervalo avaliado.
- Há necessidade de se estudar a espécie *Acacia mangium* em plantios homogêneos, visando comparar suas propriedades tecnológicas em função das características aqui obtidas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaios: NBR 14810-3.** São Paulo, 2006.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico: ano base 2009. ABRAF: Brasília; 2010.

ABREU, H. S.; CARVALHO, A. M.; PEREIRA, R. P. W.; MONTEIRO, M. B. O.; SILVA, H. R.; SOUZA, K. C. A.; AMPARADO, K. F.; CHALITA, D. B. Métodos de análise em química da madeira. **Floresta e Ambiente**. 2006, 20 p. (SÉRIE TÉCNICA)

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S. Adesão e adesivos. In: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF; 2005. p. 01-30.

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

ALENCAR, G. S. B. **Qualidade da madeira de espécies do gênero *Acacia* plantadas no Brasil.** 2009, 132f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*.** 2009, 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ANSI. AMERICAN NATIONAL STANDART INSTITUTE. **Particleboard: A208.1.** Gaithersburg, 1999.

ANTUNES, F. S. **Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides*.** 2009, 82f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ASHORI, A.; NOURBAKSH, A. Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. **Industrial crops and products**, n. 28, p. 225-230, 2008.

AYRILMIS, N.; BUYUKSARI, U.; AVCI, E.; KOC, E. Utilization of pine (*Pinus pinea* L.) cone in manufacture of wood based composite. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 65-70, 2009.

BARROSO, G. M. **Sistemática de angiosperma do Brasil.** Viçosa: Imprensa Universitária. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. v. 2, 309p., 1991.

BARRY, K. M.; MIHARA, R.; DAVIES, N. W.; MITSUNAGA, T.; MOHAMMED, C. L. Polyphenols in *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* heartwood with reference to heart rot susceptibility. **Journal Wood Science.**, v. 51, n. 6, p. 615-621, 2005.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P. Densitometria de raios X aplicada na avaliação tecnológica de painéis MDF de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 84, p. 343-350, 2009.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; MENDES, L. M.; LEITE, M. K.; LIMA, P. M. R. Teor de Sílica em compósitos confeccionados com bagaço de cana-de-açúcar e eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 250-255, 2012.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; SOUZA, V. C.; MUNIZ, G.; LASSO, P.; VAZ, C. Microtomografia de raios X (microCT) aplicada na caracterização anatômica da madeira de folhosa e de conífera. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 30-36, 2011.

BISANDA, E. T. N.; OGOLA, W. O.; TESHAI, J. V. Characterization of tannin resin blends for particle board applications. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, p. 593-598, 2003.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil.** 1995, 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BRITO, E. O.; PEIXOTO, G. L. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 60-67, 2000.

BRITO, E. O.; SAMPAIO, L. C.; OLIVEIRA, J. N.; BATISTA, D. C. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Scientia Forestalis**, v. 1, n. 72, p. 17-21, 2006.

BUCUR, V. Techniques for high resolution imaging of wood structure: a review. **Measurement Science and Technology**, n. 14, p. 91-98, 2003.

CAI, Z. A new method of determining moisture gradient in wood. **Forest Products Journal**, v. 58, n. 7/8, 2008.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; HILLIG, E.; SANTINI, E. J. Qualidade dos painéis aglomerados colados com tanino-fenol-formaldeído. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 8. 2000, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, RS. 2000. p. 633-638.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; MORI, F.A. Reatividade dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* para produção de adesivos. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2001.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U.; CARVALHO, A. M. M. L.; VIDAURRE, G. B. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formaldeído. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 521-531, 2009.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de uréia-formaldeído e de taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

CHANG, R. **Análise dos compostos fenólicos da madeira do *E. grandis* e do *E. urophylla* do Triângulo Mineiro**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia. 2000. RESUMO. Disponível em <<http://www.cpgquimica.iqufu.ufu.br/Dissertacoes/chang.pdf>> Acesso: 18 jul. 2010.

CHEN, S.; LIU, X.; FANG, L.; WELLWOOD, R. Digital X-ray analysis of density distribution characteristics of wood-based panels. **Wood Science and Technology**, v. 44, p. 85-93, 2010.

COLLI, A. **Caracterização da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)** 2007, 50f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

COMMERCIAL STANDARD - CS. **Mat formed wood particleboard**: CS 236-66, 1968.

CONNER, A. H. Urea-formaldehyde adhesive resins. In: SALAMONE, J. C. (Org.). **Polymeric Materials Encyclopedia**. v. 11, CRC Press: Florida, p. 8496-8501, 1996.

COPANT. **Comission Panamericana de Normas Técnicas**: Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. COPANT, v. 30, p. 1-19, 1974.

COPPENS, H. A.; SANTANA, M. A. E.; PASTORE, F. J. Tannin formaldehyde adhesive for exterior-grade plywood and particleboard manufacture. **Forest Product Journal**, v. 30, n. 4, p. 38-42, 1980.

COSTA, W. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. 2006, 99f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2006.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005.

DUNK, M. Adhesives in the Wood Industry. In: PIZZI, A. & MITTAL, K. L. (Ed). **Handbook of Adhesive Technology**. 2<sup>th</sup>, Revised and Expanded, Chapter 47. New York: Marcel Dekker, 2003.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000, 121f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

EVANS, P. D.; MORRISON, O.; SENDEN, T. J.; VOLLMER, S.; ROBERTS, R. J.; LIMAYE, A.; ARNS, C. H.; AVERDUNK, H.; LOWE, A.; KNACKSTEDT, M. A. Visualization and numerical analysis of adhesive distribution in particleboard using X-ray micro-computed tomography. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, v. 30, n.8, p. 754-762, 2010.

FALESI, I. C. O Impacto da *Acacia mangium* no desenvolvimento sustentável do Estado do Pará. **Pará Rural Jornal** - Informativo do Sistema FAEPA/SENAR e FUNDEPEC, Belém-Pará, v. 1, p. 07-07, 10 jan. 2006. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/24820905>> Acesso: 08 dez. 2010.

FERREIRA, A. T. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 83, p. 287-298, 2009.

FERREIRA, E. S. **Utilização dos polifenóis da casca de pinus para produção de adesivos**. 2004, 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2004.

FERREIRA, E. S.; LELIS, R. C. C. L.; BRITO, E. O.; IWAKIRI, S. Use of tannin from *Pinus oocarpa* bark for manufacture of plywood. In: INTERNATIONAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 51., 2008, Concepción: Chile. **Anais...** Concepción. Paper WS-22, p. 01-11. 2008.

FRIHART, C. R. Wood adhesion and adhesives. In: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. CRC Press: Florida, Chapter 9, p. 215-278, 2005.

FURTADO, M. Especialização também atinge o curtimento. Disponível em: <[www.quimicaederivados.com.br/revista/qd423/couro5.htm](http://www.quimicaederivados.com.br/revista/qd423/couro5.htm)>. Acesso: 10 out. 2010.

GARRO-GALVEZ, J. M.; FECHTAL, M.; RIEDL, B.; Gallic acid as a model of tannins in condensation with formaldehyde. **Thermochimica Acta**, v. 274, n. 25p., p. 149-163, 1996.

GONÇALVES, C. A. **Utilização do tanino da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham (Sabiá) como matéria-prima alternativa para a produção de adesivos**. 2000, 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C. Teores de taninos da casca e da madeira de cinco leguminosas arbóreas. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 167-73, 2001.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C.; ABREU, H. S. Caracterização físico-química da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 54-62, 2010.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C.; BRITO, E. O.; NASCIMENTO, A. M. Produção de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído modificado com tanino de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham (sabiá). **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 1, p. 18-26, 2003.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium* Willd em plantio consorciado com eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 1-10, 2012.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Propriedades de duas resinas sintéticas após adição de tanino modificado. **Floresta e Ambiente**, v. 16, n. 2, p. 01-07, 2009.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da composição da resina tanino-uréia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 715-722, 2008.

GRIGSBY, W.; MCDONALD, A. G.; THUMM, A.; LOXTON, C. X-ray photoelectron spectroscopy determination of urea formaldehyde resin coverage on MDF fibre **Holz als Roh- und Werkstoff**. v. 62, n. 5, p. 358-364, 2004.

GUANGCHENG, Z.; YUNLU, L; YAZAKI, Y. Extractive yields, Stiasny values and polyflavonoid contents in barks from six acacia species in Australia. **Australian Forestry**, v. 54, p. 154-156. 1991.

HALFELD-VIEIRA, B. A.; JÚNIOR, M. M.; TONINI, H.; NECHET, K. L. Podridão-do-lenho em plantios homogêneos de *Acacia mangium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 709-711, 2006.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

HASLAM, E. **Plant polyphenols**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 230 p.

HEMINGWAY, R. W. **Chemistry and significance of condensed tannins**. New York: Plenum Press, 1989. 553 p.

HERGERT, H. L. Condensed tannins in adhesives: introduction and historical perspectives. In: HEMINGWAY, R.W. et al. (Eds). **Adhesives from renewable resources**. Washington: American Chemical Society, 1989. p. 155-171.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000, 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HILLIS, W. E. Natural polyphenols (tannins) as a basis for adhesives. Second Weyerhaeuser Science Symposium: Phenolic Resins. **Chemistry and Application**, p. 171-187, 1981.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. **Análise de regressão**: Uma introdução à econometria. 2ª Ed., São Paulo: HUCITEC, 1983. 379p.

HOINACKI, E.; MOREIRA, M. V.; KIEFER, C. G. **Manual básico de processamento de couro**. p. 356-364, 1994.

HOONG, Y. B.; PARIDAH, M. T.; LUQMAN, C. A.; KOH, M. P.; LOH, Y. F. Fortification of sulfited tannin from the bark of *Acacia mangium* with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive. **Industrial Crops and Products**, v. 30, p. 416-421, 2009.

HOONG, Y. B.; PARIDAH, M. T.; LOH, Y. F.; JALALUDDIN, H.; CHUAH, L. A. A new source of natural adhesive: *Acacia mangium* bark extracts co-polymerized with phenol-formaldehyde (PF) for bonding Mempisang (*Annonaceae* spp.) veneers. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 31, n. 3, p. 164-167, 2011.

IAWA. International Association of Wood Anatomists Committee. **List of microscopic feature for hardwood identification**. IAWA Bulletin; v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L.M.; LATORRACA, J. V. F. Painéis de Madeira Aglomerada. In: IWAKIRI, S. (Org.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, p.123-166, 2005.

IWAKIRI, S.; LATORRACA, J. V. F.; SILVA, D. A.; GABARDO, J. L.; KLITZKE, R. J.; FOFANO JUNIOR, A.; FABROWSKI, F.; INTERAMENSE, M. T. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*. **Agrárias**, v. 15, p. 33-41, 1996.

JOKER, D. *Acacia mangium* Willd. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, 2000. 2 p. (Seed leaflet, 3).

JOLY, A. B. **Botânica**: Introdução à Taxonomia Vegetal. 12ª ed. São Paulo: Nacional, 1998. 777 p.

KAMKE, F. A.; LEE, J. N. Adhesive penetration in wood - a review. **Wood and Fiber Science**, v. 39, n. 2, p. 205-220, 2007.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Gen. Tech. Rep. FPL-10, Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. 70 p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W. STAMM, A. J. **Principles of wood Science and Technology**: wood based materials. Berlin: Springer-Verlog, 1975. v. 2, p. 312-550.

KRAFT, R. **Zur Chemisch - technologischen Verwertung von gebrauchten Holzwerkstoffen und Holzrinden**. Curillier Verlag, Göttingen, 2007, 118p.

KUNAVER, M.; MEDVED, S.; CUK, N.; JASIUKAITYTE, E.; POLJANSEK, I.; STRNAD, T. Application of liquefied wood as a new particle board adhesive system. **Bioresour Technol**, v. 101, n. 4, p. 1361-1368, 2010.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: Ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - Possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado.** [Trad. Guilherme de Almeida e Gilberto Calcagnotto], Dt. Ges. Für Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, 1990, 332 p.

LEE, S. S.; TENG, S. Y.; LIM, M. T.; RAZALI, A. K. Discoloration and heart rot of *Acacia mangium* Willd.: some preliminary results. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 1, p. 170-177, 1988.

LIMA, S. R.; OLIVEIRA, G. S.; MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; CHANG, R. Estudo dos constituintes macromoleculares, extrativos voláteis e compostos fenólicos da madeira de candeia - *Moquinia polymorpha* (LESS.) DC. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 2, p.145-155, 2007.

LINVILLE, J. D. **The influence of a horizontal density distribution on moisture-related mechanical degradation of oriented strand composites.** 2000, 122f. Thesis (Master of Science in Civil Engineering) - Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, Washington, 2000.

LOPES, M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente.** 2008, 130f. Tese (Doutorado em engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LU, Y., SHI, Q. Larch tannin adhesive for particleboard. *Holz als Roh-und Werkstoff*, v. 53, n. 1, p. 17-19, 1995.

MACIEL, A. S.; VITAL, B. R., DELLA LÚCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 53-66, 2004.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing.** San Francisco: M. Freeman, 1977. 689 p.

MARTO, G. B. T.; BARRICHELO, L. E. G.; MÜLLER, P. H *Acacia mangium*. Versão 2007. Disponível em <<http://www.ipef.br/identificacao/acacia.mangium.asp>> Acesso: 07 out. 2011.

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de Painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M.; MULLER, M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com uréia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 497-506, 2010.

MORI, F. A.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M.; VALENTE, O. F.; PIMENTA, A. S. Utilização de resinas à base de taninos das cascas de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden na produção de painéis compensados. **Revista Árvore**, v. 23, p. 455-461, 1999.

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; PIMENTA, A. S.; MELO, V. M. Influência da temperatura, tipos e concentrações de sais inorgânicos no rendimento em taninos das cascas de *Eucalyptus*.

In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 7.. Forest 2000, p. 408, 2000.

MORI, F. A.; MORI, C. L. S. O.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; MELO, V. M. Influência do sulfito e hidróxido de sódio na quantificação em taninos da casca de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*). **Floresta e Ambiente**, v. 10, n.1, p.86-92, 2003

MOSIEWICKI, M. A.; ARANGUREN, NM. I.; CURVELO, A. A. S.; BORRAJO, J. Effect of natural rubber on wood-reinforced tannin composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 105, p. 1825-1832, 2007.

MOUBARIK, A.; PIZZI, A.; ALLAL, A.; CHARRIER, F.; CHARRIER, B. Cornstarch and tannin in phenol-formaldehyde resins for plywood production. **Industrial Crops and Products**, v. 30, p. 188-193, 2009.

MOUBARIK, A.; PIZZI, A.; ALLAL, A.; CHARRIER, F.; KHOUKH, A.; CHARRIE, B. Cornstarch-mimosa tannin-urea formaldehyde resins as adhesives in the particleboard production. **Starch/Stärke**, n. 62, p. 131-138, 2010.

NAUMANN, R. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; DELLA LUCIA, R. M.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.

NEMLI, G.; DEMIREL, S. Relationship Between the Density Profile and the Technological Properties of the Particleboard Composite. **Journal of Composite Materials**, v. 41, n. 15, p. 1793-1802, 2007.

OLIVEIRA, J. G. L. **Propriedades anatômicas da madeira de dois clones de eucalipto implantados em diferentes localidades**. 2009, 84f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2009.

OUYPORNPRASERT, W.; BOONYACHUT, S.; BOONYACHUT, S. *Acacia mangium* Willd as structural components and shear walls. **International Journal of Materials & Structural Reliability**. v. 3, n. 2, p. 67-86, 2005.

PAES, J. B.; MARINHO, I. V.; LIMA, R. A.; LIMA, C. R. AZEVEDO, T. K. B. Viabilidade técnica dos taninos de quatro espécies florestais de ocorrência no semi-árido brasileiro no curtimento de peles. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 453-462, 2006.

PAES, J. B.; SANTANA, G. M.; AZEVEDO, T. K. B.; MORAIS, R. M.; JÚNIOR, J. T. C. Substâncias tânicas presentes em várias partes da árvore angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. var. cebil (Gris.) Alts.). **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 441-447, 2010.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; ABREU, H. S. Métodos e Técnicas de Diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 09, p. 165-175, 2002.

PAN, Z.; ZHENG, Y.; ZHANG, R.; JENKINS, B. M. Physical properties of thin particleboard made from *Eucalyptus saligna*. **Industrial Crops and Products**, v. 26, p. 185-194, 2007.

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

PEDRAZZI, C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 201-212, 2006.

PEÑA, C.; LARRAÑAGA, M. GABILONDO, N.; TEJADO, A.; ECHEVERRIA, J. M.; MONDRAGON, I. Synthesis and characterization of phenolic novolacs modified by chestnut and mimosa tannin extracts. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 100, p. 4412-4419, 2006.

PEREIRA, L. R. **Adesivos**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 25p. 2007.

PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; SILVA, E. H. Produção de chapas de flocos com adesivos fenólicos à base de alcatrão e creosoto de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 20, n. 3, p. 343-366, 1996.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994-a. 297 p.

PIZZI, A. Natural Phenolic Adhesives I: Tannin. In: PIZZI, A. & MITTAL, K. L. (Ed.). **Handbook of Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 347-358.

PIZZI, A. Tannin based adhesives. **Journal of Macromolecular Science: Pure and Applied Chemistry**, v. 18, n. 2, p. 247-315, 1980.

PIZZI, A. Urea-formaldehyde adhesives. In: PIZZI, A. & MITTAL, K. L. (Ed.). **Handbook of Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994-b. p. 381-392.

PIZZI, A.; SCHARFETTER, H.; KES, E. W. Adhesives and techniques open new possibilities for the wood processing industry. 1. Experience with tannin based adhesives. **Holz als Roh-Werkstoff**, v. 39, n. 6, p. 85-89, 1981.

PIZZI, A.; STEPHANOU, A. Fast vs. Slow-reacting non modified tannin extracts for exterior particleboard adhesives. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.52, p. 218-222, 1994.

QMS. QMS Density profiler Model QDP-01X. **User's Guide**. Quintek Measurement Systems, Knoxville, TN. 73p., 2012.

QUEIROZ, C. R. A. A.; MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*). **Revista Árvore**, v.26, n.4, p.485-492, 2002.

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

RAMIRES, E. C. **Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glicoxal reforçadas com fibras naturais**. 2010, 262f. Tese (Doutorado em Ciências Físico-Química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

RAUTKARI, L.; KAMKE, F. A.; HUGHES, M. Potential error in density profile measurements for wood composites. **European Journal Wood Products**, v. 69, p. 167-169, 2011.

REMADE. REVISTA DA MADEIRA. **Por que usar eucalipto?** Versão eletrônica: ago, 2003, Ed. n.75. Disponível em < [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=394&subject=Caracteristicas&title=Porqueusareucalipto?](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=394&subject=Caracteristicas&title=Porqueusareucalipto?)>. Acesso: 24 set. 2009.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, 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**, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

ROFFAEL, E.; DIX B. Zur Verwertung von Rindenextraktstoffen unter besonderer Berücksichtigung der Rindenpolyphenole. **Holz-Zentralblatt**, v. 115, n. 133, p. 2084-2085, 1989.

ROQUE, R. M. **Variação da anatomia e da densidade básica da madeira de *Gmelina arborea* (Roxb.), em diferentes condições de clima e manejo na Costa Rica**. 2005, 202f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

ROQUE, R. M.; TOMAZELO FILHO, M. Relationships between anatomical features and intra-ring wood density profiles in *Gmelina arborea* applying X-ray densitometry. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 384-392, 2007.

ROSAMAH, E. **Einige Aspekte der Tanninrerleimung**. Curillier Verlag Gothingen, 2004, 161p.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell Wall Chemistry. In: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. CRC Press: Florida, Chapter 3, p. 35-76, 2005.

SANTANA, M. A. E.; BAUMANN, M. G. D. Phenol-formaldehyde plywood adhesive resins prepared with liquefied bark of black wattle (*Acacia mearnsii*). **Journal of wood chemistry and technology**, v. 16, n.1, p. 01-19, 1996.

SANTANA, M. A. E.; PASTORE JUNIOR, F. **Adesivos de tanino-formaldeído para aglomerados**. DE – Série técnica n°2 – IBDF, Brasília. 1981. 12p.

SCHOFIELD, P., MBUGUA, D.M., PELL, A.N. Analysis of condensed tannins: a review. **Animal Feed Science and Tecnology**, v. 91, p. 21-40, 2001.

SCHROEDER, H. A.; THOMPSON, G. E. Substituting phenol in adhesive with demethylated kraft lignin. In: INTERNACIONAL PARTICLEBOARD/COMPOSITE MATERIAL PROCEEDINGS, 1990, Washington, p. 27-42, 1990.

SELBO, M. L. **Adhesive bonding of wood**. Forest Products Laboratory - Forest Service, U.S. Department of Agriculture: Tech. Bull. n. 1512, 1975. 124 p.

SETTE JUNIOR, C. R. **Aplicação de potássio e sódio no crescimento e na qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010, 152f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

SHMULSKY, R.; JONES, P. D. **Forest products and wood science: an introduction**. 6ª Ed., Blackwell: Oxford. 2011. 490p.

SILVA, F. P. **Reflorestamento de acácia: nova fonte de renda para o produtor florestal**. REMADE. Ed. nº 117, Nov. de 2008. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1337&subject=Reflorestamento&title=Reflorestamentodeacacia](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1337&subject=Reflorestamento&title=Reflorestamentodeacacia)>. Acesso: 09 maio 2011.

SILVA, J. C.; LELLES, J. G.; SILVA, F. P. Caracterização do carvão vegetal de *Acacia mangium*. **Revista Árvore**, v. 20, n. 1, p. 87-92, 1996.

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. 1999, 88f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, São Paulo, 1999.

SILVA, B. C.; VIEIRA, M. C.; OLIVEIRA, G. L.; GONÇALVES, F. G.; RODRIGUES, N.D.; LELIS, R. C. C.; IWAKIRI, S. Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n.4. p. 511-519, 2012.

SINA, E. **Adhesives technology handbook**. 2<sup>nd</sup> ed. Norwich: New York. William Andrew. 2008. 365 p.

SOUZA, J. S. **Utilização de adesivos à base de taninos de Acácia negra e *Eucalyptus pellita* para fabricação de painéis OSB**. 2006, 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

STARR, F.; STARR, K.; LOOPE, L. *Acacia mangium*. United States Geological Survey, Biological Resources Division Haleakala Field Station, Maui, Hawai'i. April, 2003.

TABARSA, T.; JAHANSHAH, S.; ASHORI, A. Mechanical and physical properties of wheat straw boards bonded with a tannin modified phenol-formaldehyde adhesive. **Composites: Part B**, v. 42, n. 2, p. 176-180, 2011.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 2008, 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do de Janeiro, Seropédica, 2008.

TEODORO, A. S.; LELIS, R. C. C. Colagem de madeira sólida com adesivo natural à base de tanino. **Revista Universidade Rural, Série Ciência da Vida**. Seropédica: EDUR, v. 25, n. 1, p.55-59, 2005.

THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. **Wood-based panels an introduction for specialists**. Brunel University Press: London. 2010. 152p.

TOMAZELLO FILHO, M.; BELINI, U. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; GONÇALVES, F. G. Avaliação tecnológica da madeira e de painéis MDF de eucalipto por densitometria de raios X. **Madeira: Arquitetura & Engenharia**, v. 11, p. 45-58, 2010.

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**, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.

TONDI, G.; PIZZI, A.; OLIVES, R. Natural tannin-based rigid foams as insulation for doors and wall panels. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, v. 10, n. 3, p. 219-227, 2008.

TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B. A. Descrição morfológica, habitat e ecologia. In: TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B. A.; SILVA, S. J. R. (Eds.). **Acacia mangium: características e seu cultivo em Roraima**. Boa Vista: Embrapa, Roraima, Cap. 1, p. 17-21, 2010.

TOSTES, A. S. **Tanino da casca de *Eucalyptus pellita* (Muel) como fonte de adesivos para produção de chapas de madeira aglomerada**. 2003, 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

TOSTES, A. S.; LELIS, R. C. C.; PEREIRA, K. R. M.; BRITO, E. O. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 14-19, 2004.

TRUGILHO, P. F.; CAIXETA, P. R.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Avaliação do conteúdo em taninos condensados de algumas espécies típicas do cerrado mineiro. **Cerne**, v. 3, n. 1, p. 01-13, 1997.

TRUGILHO, P. F.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; CARDOSO, D. P. Determinação do teor de taninos na casca de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 9, n. 2. p. 246-254, 2003.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex- maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

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

VALENZUELA, J.; LEYSER, E.; PIZZI, A.; WESTERMEYER, C.; GORRINI, B. Industrial production of pine tannin-bonded particleboard and MDF. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 5, p. 735-740, 2012.

VEIGA, R. A. A.; CARVALHO, C. M.; BRASIL, M. A. M. Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium*. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 103-107, 2000.

VICK, C. B. **Adhesive Bonding of Wood Materials**. In: WOOD HANDBOOK - WOOD AS AN ENGINEERING MATERIAL. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113, Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Chapter 9, p. 1-24, 1999.

VIEIRA, M. C. **Colagem de painéis OSB com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl.** 2010, 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Sociedade de Investigações Florestais - SIF**, Viçosa, MG. Boletim técnico n. 1, 1984, 21 p.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 571-582, 2004.

WANG, X.; SALENIKOVICH, A.; MOHAMMAD, M. Localized density effects on fastener holding capacities in wood based panels. **Forest Products Journal**, v. 57, n. 1/2, p. 103-109, 2007.

WANG, S.; WINISTORFER, P. M.; YOUNG, T. M. Fundamental of vertical density profile formation in wood composites: part 3- MDF density formation during hot pressing. **Wood and Fiber Science**, v. 36, n. 1, p. 17-25, 2004.

WANG, X.; SALENIKOVICH, A.; MOHAMMAD, M.; HU, L.J.; Evaluation of density distribution in wood-based panels using X-ray scanning. **The e-Journal of Nondestructive Testing**, v. 11, n. 4, 2006.

WATAI, L. T. **Painéis derivados de madeira**. São Paulo: ABPM. Boletim nº 52, 1987. 16p.

WEISSMANN, G. Analysis of acid and neutral sugars in bark extracts from *Pinus radiata* and *Larix deciduas* by capillary gas liquid chromatography. **Holzforchung**, v. 39, p. 245-247, 1985.

WIDYORINI, R.; XU, J.; WATANABE, T.; KAWAI, S. Chemical changes in steam-pressed kenaf core binderless particleboard. **Journal Wood Science**, v. 51, p. 26-32, 2005.

WILKINS A.P.; HORNE, R. Wood-density variation of young plantation-grown *Eucalyptus grandis* in response to silvicultural treatments. **Forest Ecology Management**, v. 40, p. 39-50, 1991.

WISSING, A. The utilization of Bark II. Investigation of the Stiasny-reaction for the precipitation of polyphenols in Pine bark extratives. **Svensk Papperstidning**, v. 58, n. 20, p. 45-750. 1955.

WONG, E. D.; ZHANG, M.; WANG, Q.; HAN G.; KAWAI, S. Formation of the density profile and its effects on the properties of fiberboard. **Journal Wood Science**, v. 46, p. 202-209, 2000.

WONG, W. C.; HO, K. S.; WONG, C. N. *Acacia mangium* from Sabah for plywood and decorative panel manufacture: initial trials. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 1, n. 1, p.42-50, 1988.

XING, C.; ZHANG, S. Y.; RIELD, J. D. B.; CLOUTIER, A. Medium-density fiberboard performance as affected by wood fiber acidity, bulk density, and size distribution. **Wood Science and Technology**, v. 40, n. 8, p. 637-646, 2006.

XU, W. Influence of vertical density distribution on bending modulus of elasticity of wood composite panels: a theoretical consideration. **Wood Fiber Science**, v. 31, n. 3, p. 277-282, 1999.

YUSOFF, M. N. B. M.; CHEW, L. T.; ALI, A. R. B. M. ; KADIR, A. B. A. Mangrove tannin as an adhesive for wood-based panels. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 1, n. 2, p.97-102, 1988.

## APÊNDICE I

**Tabela 1.** Análise de variância para Inchamento em espessura após duas horas (IE2) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	4642.519629	1547.506543	82.639	0.0000
COLA	3	7942.594987	2647.531662	141.382	0.0000
RC*COLA	9	11090.948367	1232.327596	65.808	0.0000
erro	624	11685.044183	18.726032		
Total corrigido	639	35361.107166			
CV (%) =	21.67		Número de observações:		640

**Tabela 2.** Análise de variância para Inchamento em espessura após 24 horas (IE24) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	3233.953909	1077.984636	29.247	0.0000
COLA	3	6649.918358	2216.639453	60.140	0.0000
RC*COLA	9	17063.869434	1895.985493	51.440	0.0000
erro	624	22999.380498	36.857982		
Total corrigido	639	49947.122199			
CV (%) =	18.95		Número de observações:		640

**Tabela 3.** Análise de variância para Absorção de água após duas horas (IE2) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	273790.618730	91263.539577	578.460	0.0000
COLA	3	36755.499329	12251.833110	77.656	0.0000
RC*COLA	9	44405.346637	4933.927404	31.273	0.0000
erro	624	98448.413980	157.769894		
Total corrigido	639	453399.878677			
CV (%) =	17.43		Número de observações:		640

**Tabela 4.** Análise de variância para Absorção de água após 24 horas (IE24) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	236952.667877	78984.222626	538.654	0.0000
COLA	3	39313.263222	13104.421074	89.369	0.0000
RC*COLA	9	47410.390768	5267.821196	35.925	0.0000
erro	624	91498.722448	146.632568		
Total corrigido	639	415175.044315			
CV (%) =	11.03		Número de observações:		640

**Tabela 5.** Análise de variância para Módulo de Ruptura (MOR) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	1512.854043	504.284681	146.821	0.0000
COLA	3	334.046801	111.348934	32.419	0.0000
RC*COLA	9	229.008096	25.445344	7.408	0.0000
erro	176	604.506140	3.434694		
Total corrigido	191	2680.415078			
CV (%) =	23.20		Número de observações:		192

**Tabela 6.** Análise de variância para Módulo de elasticidade (MOE) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	33948335.754663	11316111.918221	151.086	0.0000
COLA	3	4384097.755463	1461365.918488	19.511	0.0000
RC*COLA	9	3835711.297207	426190.144134	5.690	0.0000
erro	176	13182104.351196	74898.320177		
Total corrigido	191	55350249.158530			
CV (%) =	20.69		Número de observações:		192

**Tabela 7.** Análise de variância para Ligação interna (LI) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	2.536795	0.845598	132.513	0.0000
COLA	3	1.997000	0.665667	104.316	0.0000
RC*COLA	9	1.051097	0.116789	18.302	0.0000
erro	304	1.939895	0.006381		
Total corrigido	319	7.524788			
CV (%) =	17.68		Número de observações:		320

**Tabela 8.** Análise de variância para Arrancamento de parafuso (AP) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	113937.782364	37979.260788	203.455	0.0000
COLA	3	36643.410718	12214.470239	65.433	0.0000
RC*COLA	9	18820.721121	2091.191236	11.203	0.0000
erro	176	32854.192308	186.671547		
Total corrigido	191	202256.106512			
CV (%) =	13.95		Número de observações:		192

**Tabela 9.** Análise de variância para Potencial de Hidrogênio (pH) – Efeito Adesivo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
RC	3	0.072337	0.024112	50.104	0.0000
COLA	3	1.157738	0.385913	801.896	0.0000
RC*COLA	9	0.111225	0.012358	25.680	0.0000
erro	48	0.023100	0.000481		
Total corrigido	63	1.364400			
CV (%) =	0.39		Número de observações:		64

**Tabela 10.** Análise de variância para Densidade Média por Raios X

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	15	0.375407	0.025027	8.018	0.0000
erro	80	0.249717	0.003121		
Total corrigido	95	0.625124			
CV (%) =	11.00				
Média geral:	0.5080208		Número de observações:	96	

**Tabela 11.** Análise de variância para Densidade Máxima por Raios X

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	15	0.731562	0.048771	9.864	0.0000
erro	80	0.395533	0.004944		
Total corrigido	95	1.127096			
CV (%) =	11.97				
Média geral:	0.5872917		Número de observações:	96	

**Tabela 12.** Análise de variância para Densidade Mínima por Raios X

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	15	0.293441	0.019563	5.868	0.0000
erro	80	0.266683	0.003334		
Total corrigido	95	0.560124			
CV (%) =	12.59				
Média geral:	0.4586458	Número de observações:		96	

**Tabela 13.** Análise de variância para densidade pelo Método Gravimétrico

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	15	0.476796	0.031786	9.607	0.0000
erro	80	0.264700	0.003309		
Total corrigido	95	0.741496			
CV (%) =	10.81				
Média geral:	0.5322917	Número de observações:		96	

**Tabela 14.** Análise de variância para Regressão Linear Múltipla – Duas Variáveis –  $X_1$  ( $D_{\text{máxima}}$ ) e  $X_2$  ( $D_{\text{mínima}}$ )

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Modelo	02	0.60975	0.30487	1655,89	<0.0001
erro	93	0.01712	0.00018412		
Total corrigido	95	0.62687			

$R^2 = 0,9727$

**Tabela 15.** Análise de variância para Regressão Linear Múltipla – Uma Variável –  $X_1$  ( $D_{\text{máxima}}$ )

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Modelo	01	0.60509	0.60509	2610,96	<0.0001
erro	94	0.02178	0.00023175		
Total corrigido	95	0.62687			

$R^2 = 0,9652$

**Tabela 16.** Análise de variância para Regressão Linear Múltipla – Uma Variável –  $X_2$  ( $D_{\text{mínima}}$ )

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Modelo	01	0.51088	0.51088	414,03	<0.0001
erro	94	0.11599	0.00123		
Total corrigido	95	0.62687			

$R^2 = 0,8150$

**Tabela 17.** Correlação entre as variáveis  $X_1$  ( $D_{\text{máxima}}$ ),  $X_2$  ( $D_{\text{mínima}}$ ) e Y (Densidade aparente média por raios x)Pearson Correlation Coefficients, N=96 → Prob > |r| under H0:  $R_{\rho}=0$ 

	Y	x1	x2
Y	1.00000	<b>0.98247</b> <.0001	<b>0.90276</b> <.0001
x1	0.98247 <.0001	1.00000	0.87663 <.0001
x2	0.90276 <.0001	0.87663 <.0001	1.00000

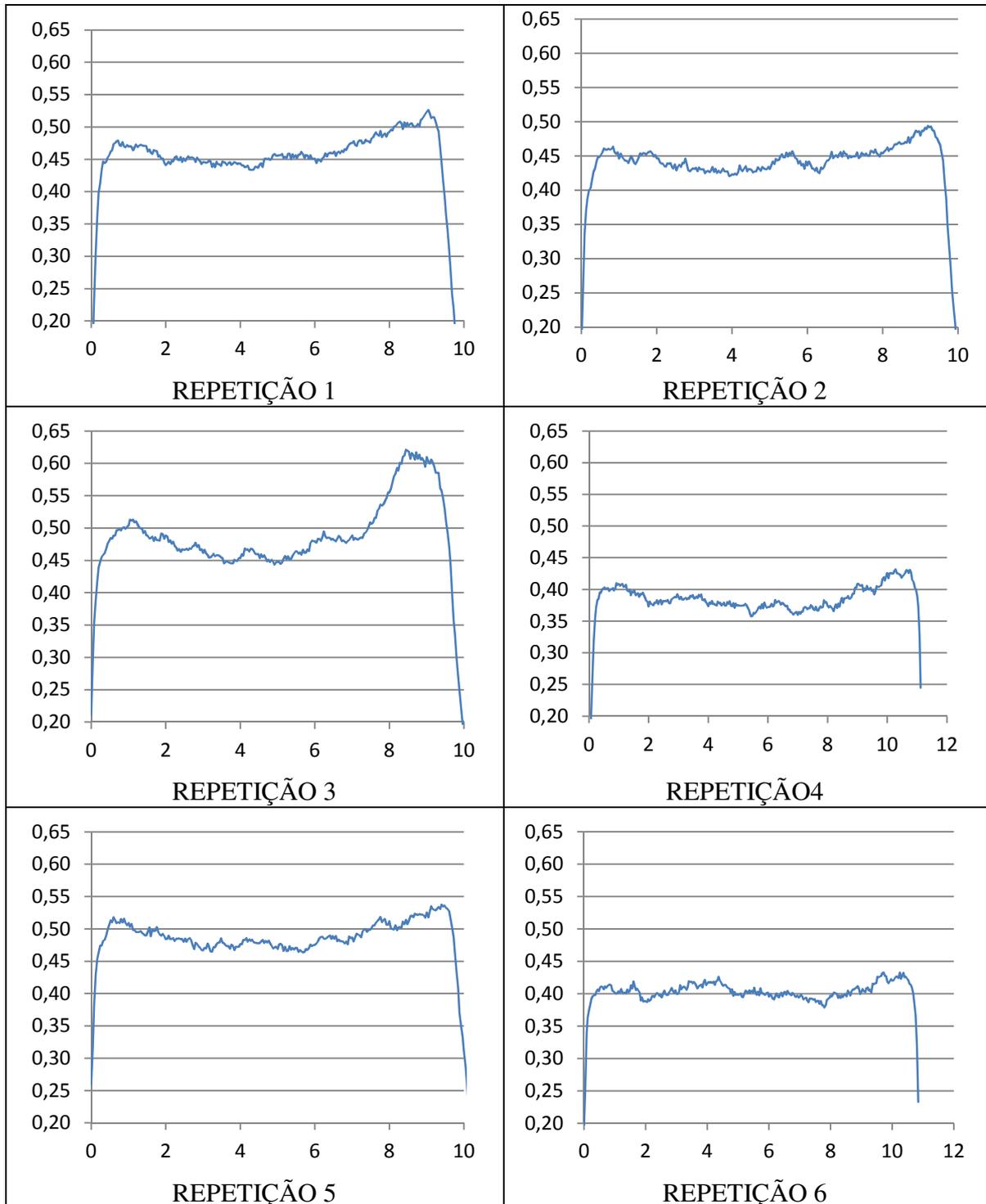
**Tabela 18.** Correlação parcial entre as variáveis  $X_1$  e Y (Densidade aparente média por raios x)Pearson Partial Correlation Coefficients, N=96 → Prob > |r| under  $H_0$ : Partial  $R_{\rho}=0$ 

	Y	x1
Y	1.00000	<b>0.92324</b> <.0001
x1	0.92324 <.0001	1.00000

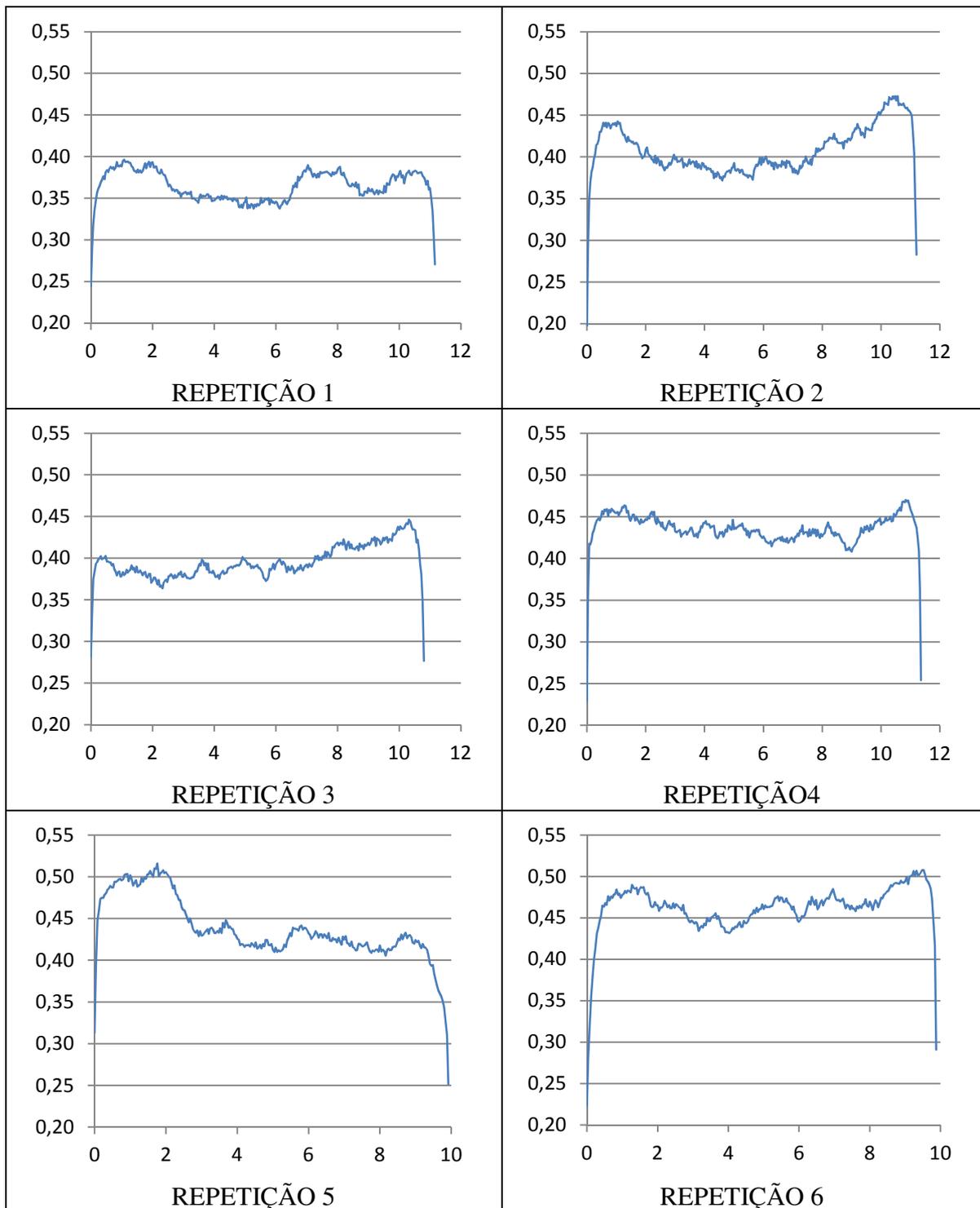
**Tabela 19.** Correlação parcial entre as variáveis  $X_2$  ( $D_{\text{mínima}}$ ) e Y (Densidade aparente média por raios x)Pearson Partial Correlation Coefficients, N=96 → Prob > |r| under  $H_0$ : Partial  $R_{\rho}=0$ 

	Y	x2
Y	1.00000	0,46259 <.0001
x2	0.46259 <.0001	1.00000

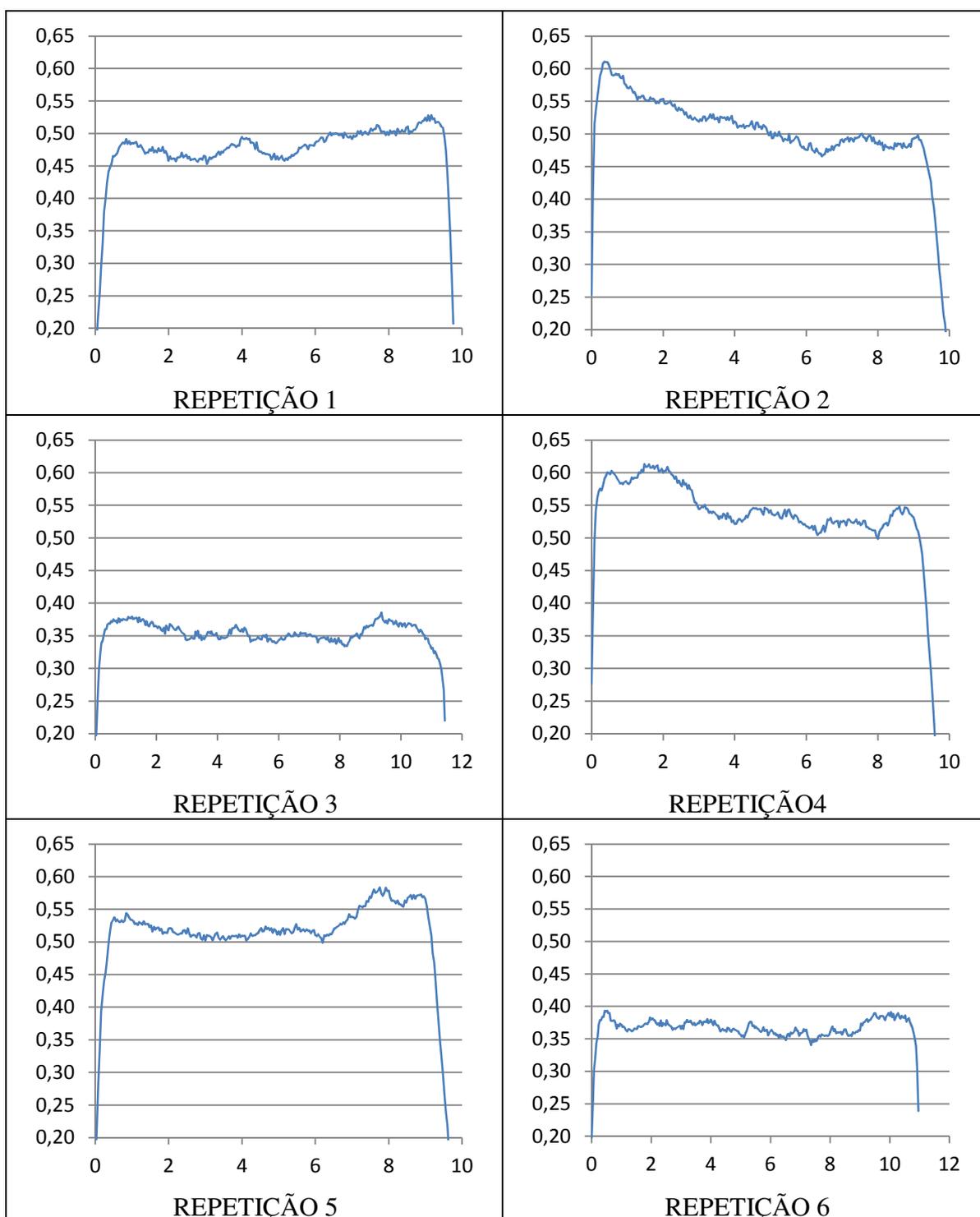
## APÊNDICE II



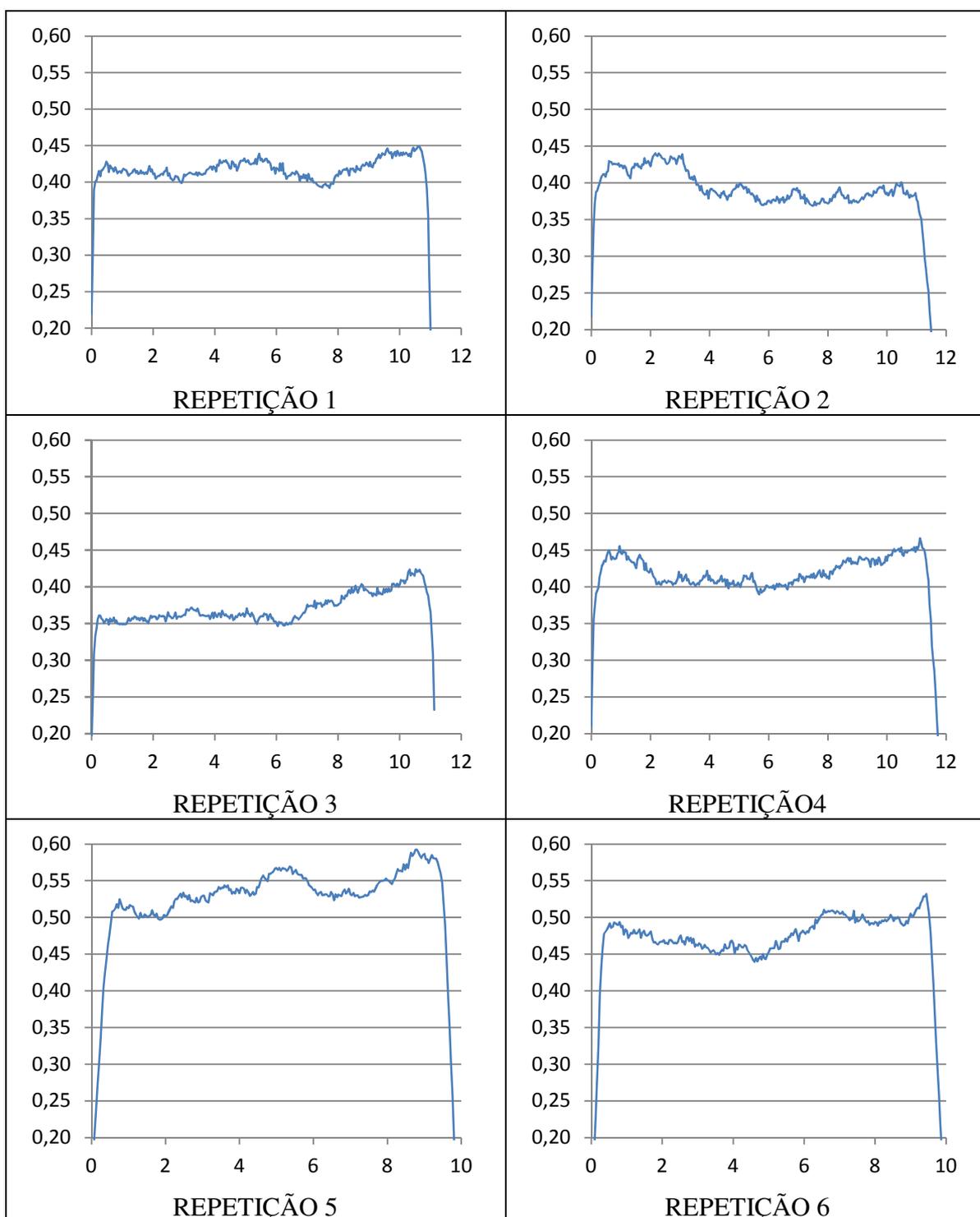
**Figura 1** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,39 e 100% de uréia-formaldeído e 0% de tanino em pó (Tratamento 1)



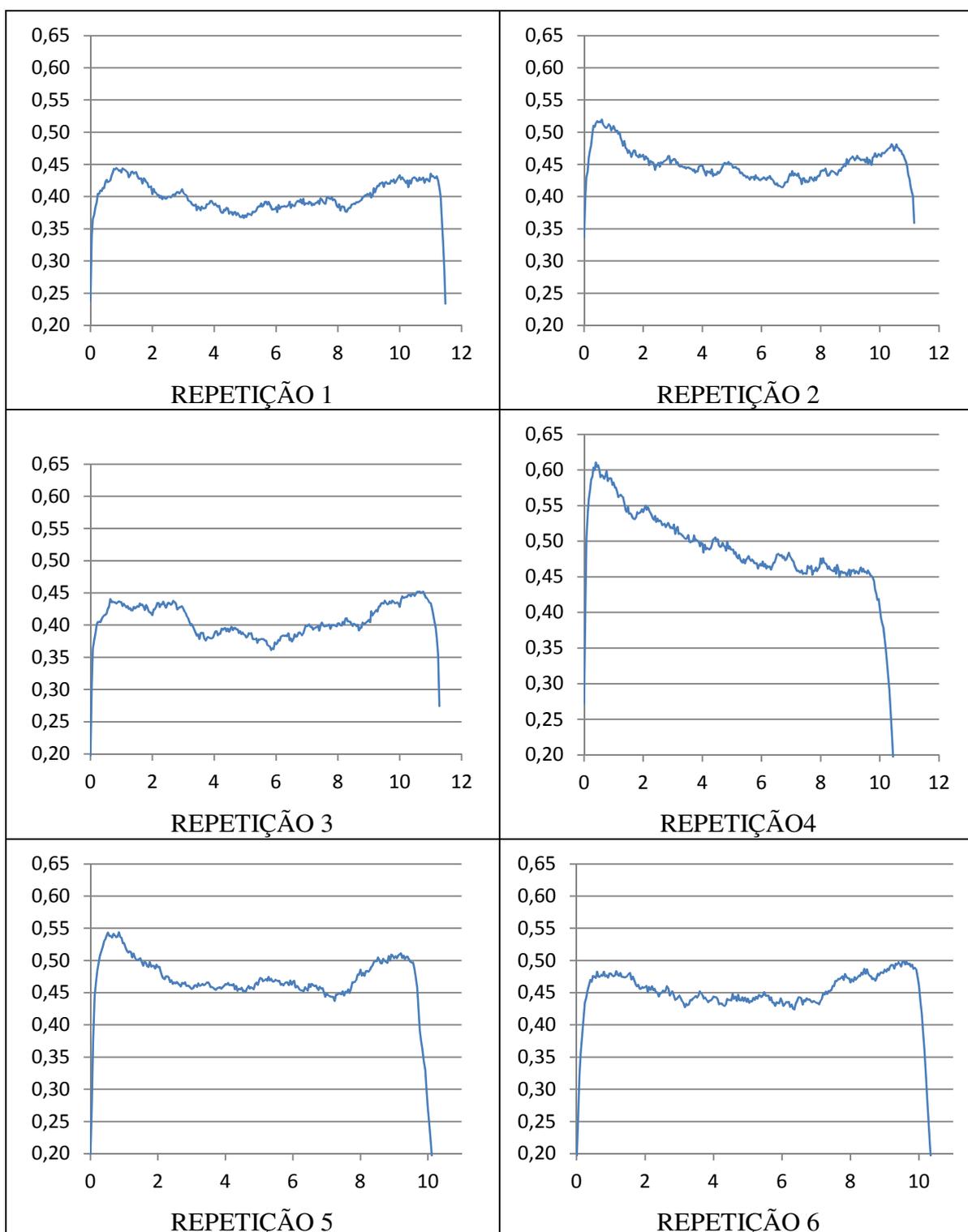
**Figura 2** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,39 e 90% de uréia-formaldeído e 10% de tanino em pó (Tratamento 2)



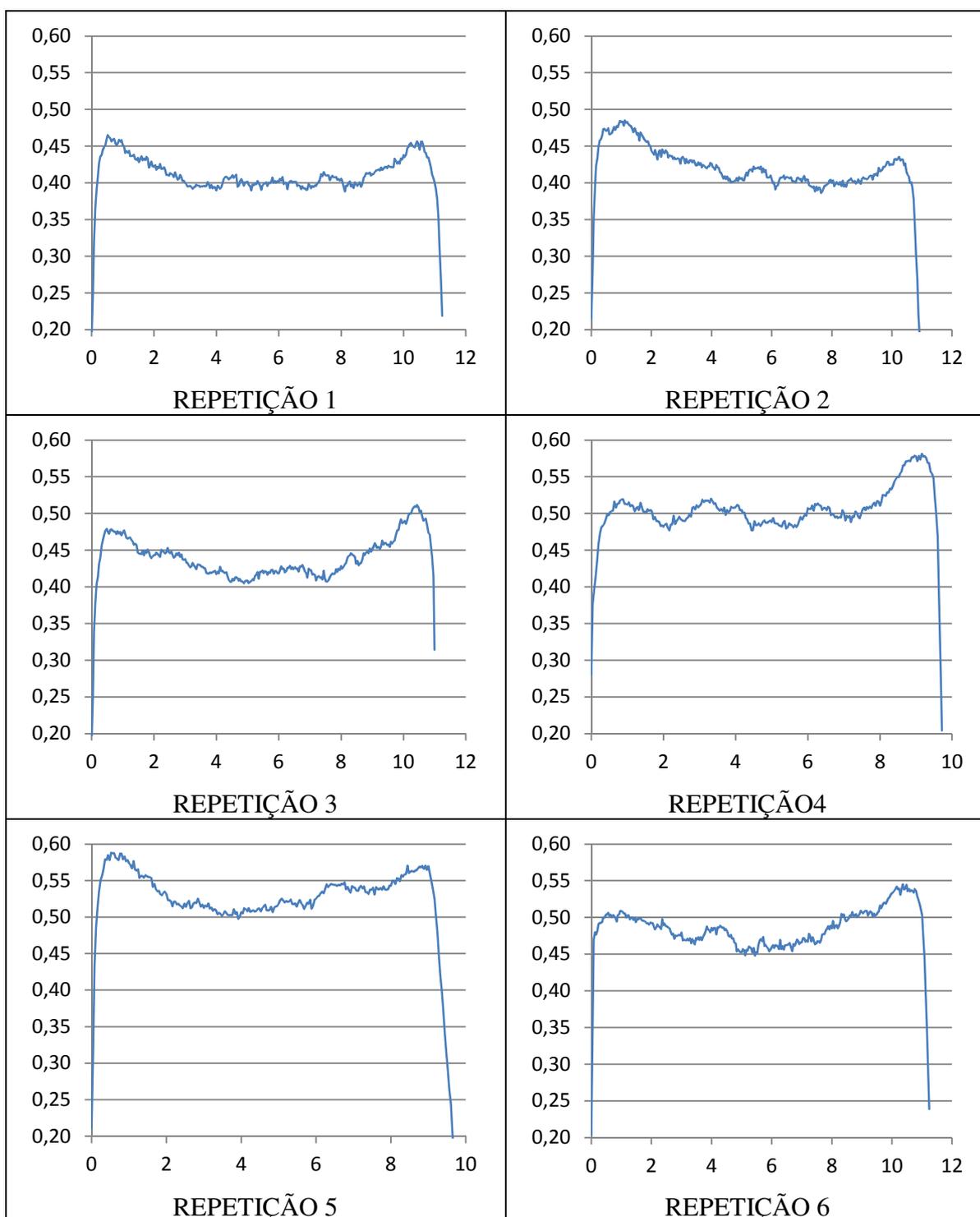
**Figura 3** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,39 e 80% de uréia-formaldeído e 20% de tanino em pó (Tratamento 3)



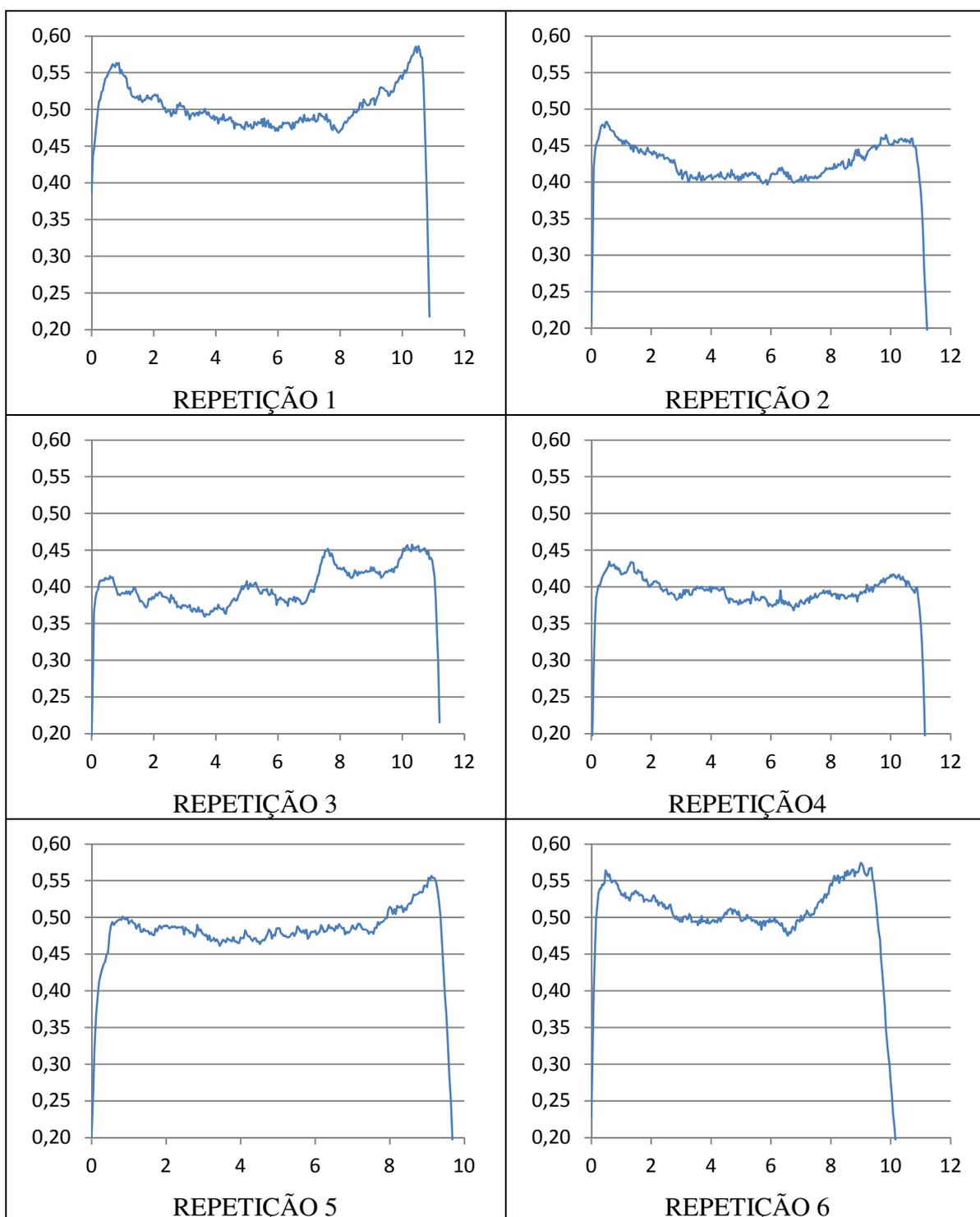
**Figura 4** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,39 e 70% de uréia-formaldeído e 30% de tanino em pó (Tratamento 4)



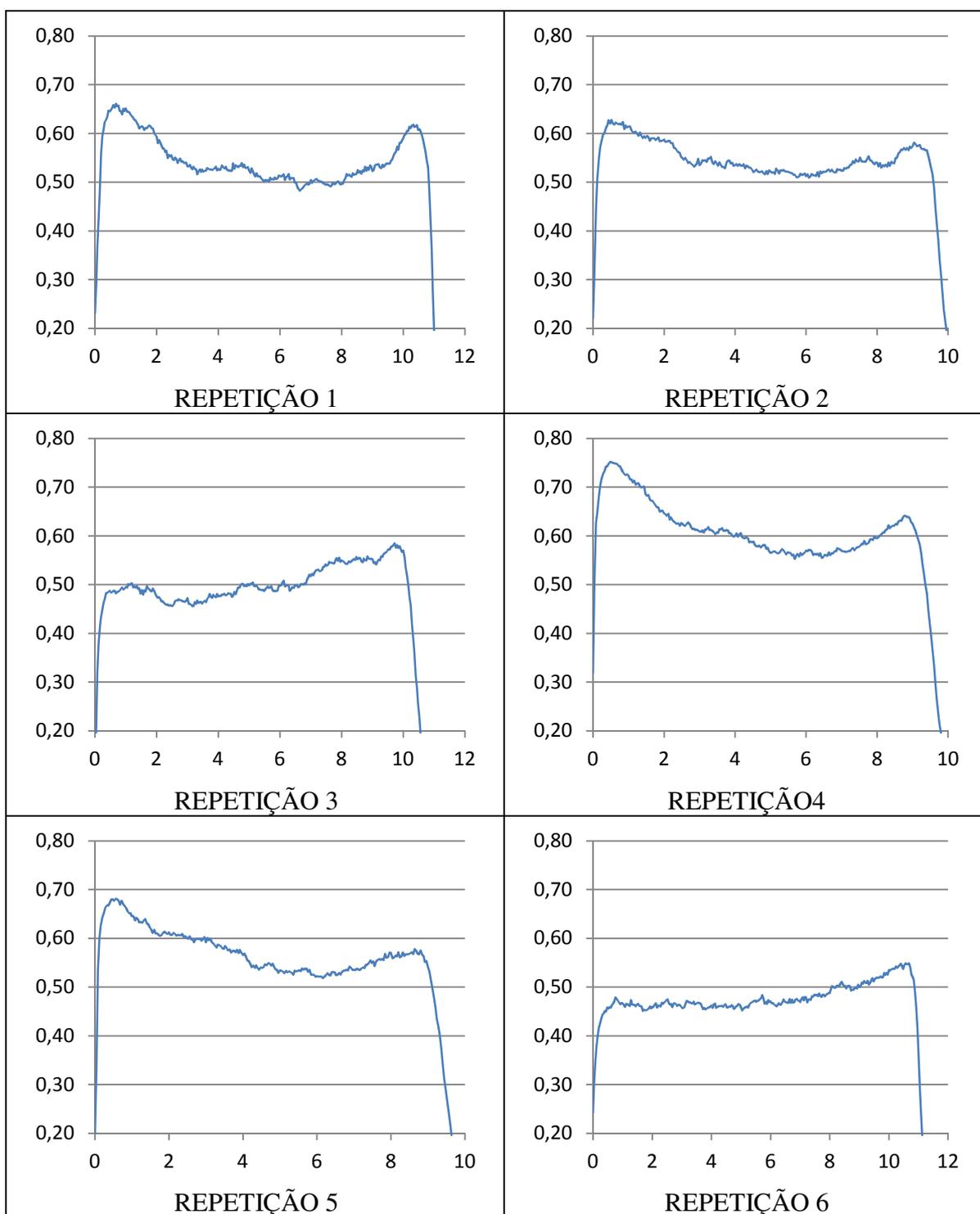
**Figura 5** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,55 e 100% de uréia-formaldeído e 0% de tanino em pó (Tratamento 5)



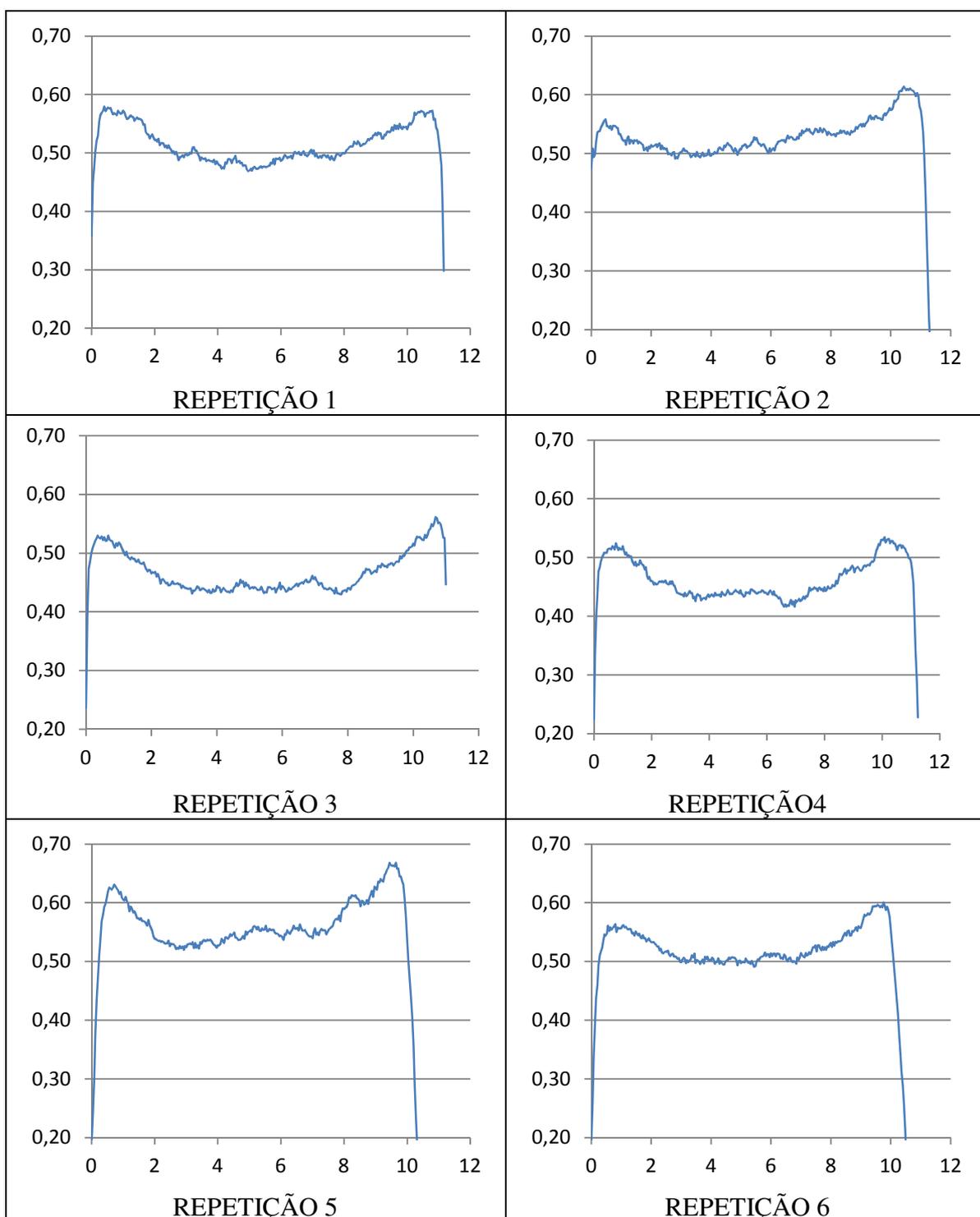
**Figura 6** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,55 e 90% de uréia-formaldeído e 10% de tanino em pó (Tratamento 6)



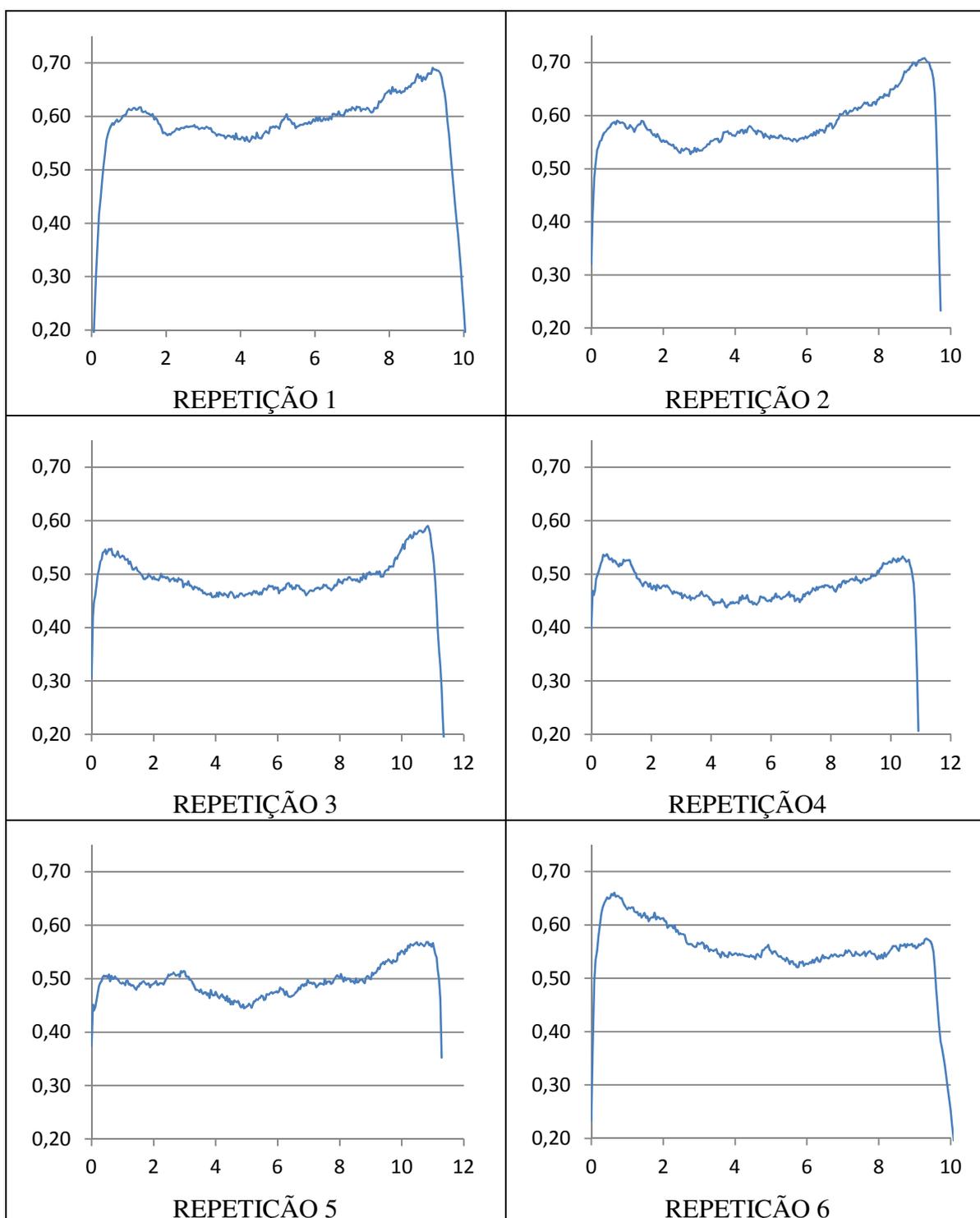
**Figura 7** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,55 e 80% de uréia-formaldeído e 20% de tanino em pó (Tratamento 7)



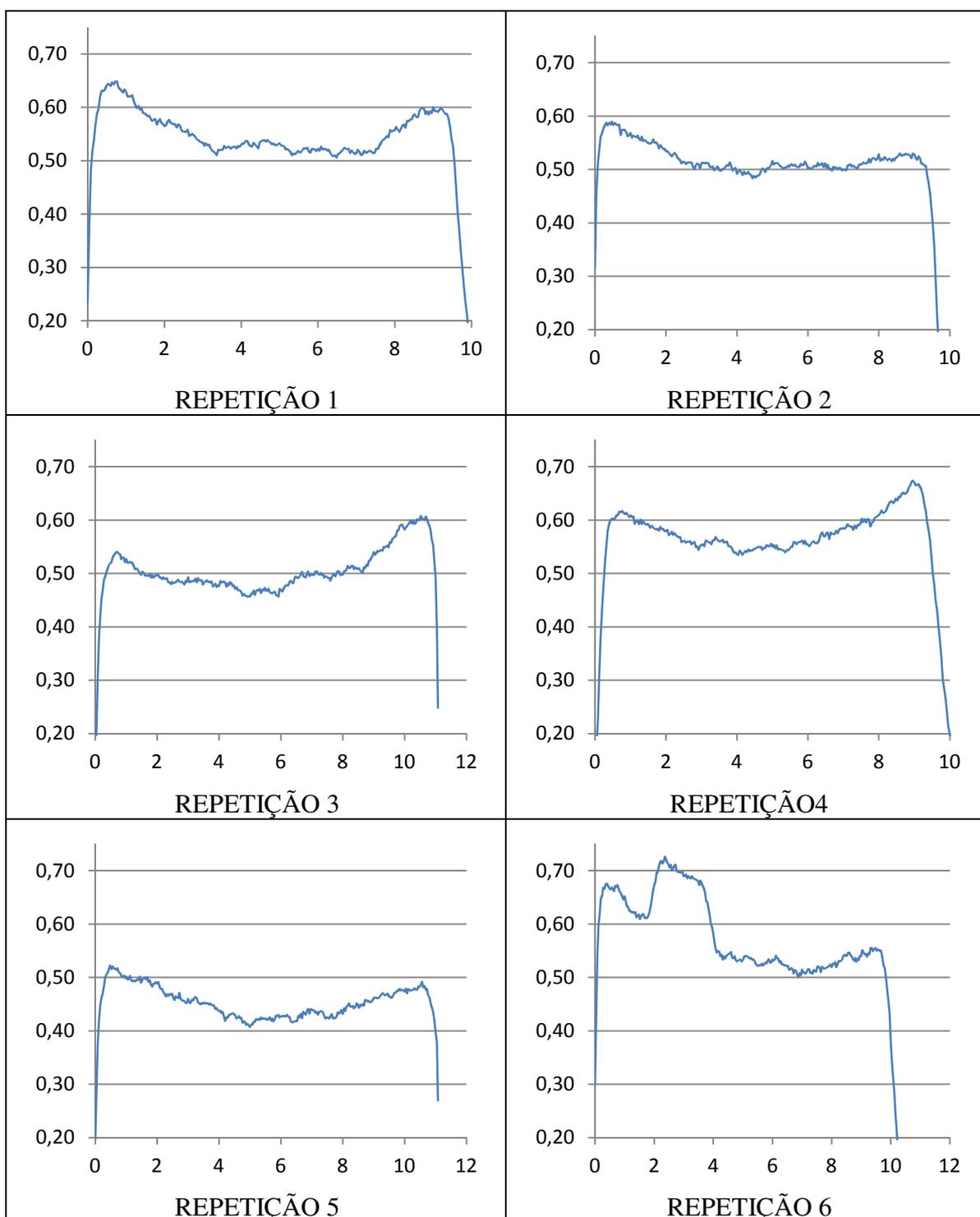
**Figura 8** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,55 e 70% de uréia-formaldeído e 30% de tanino em pó (Tratamento 8)



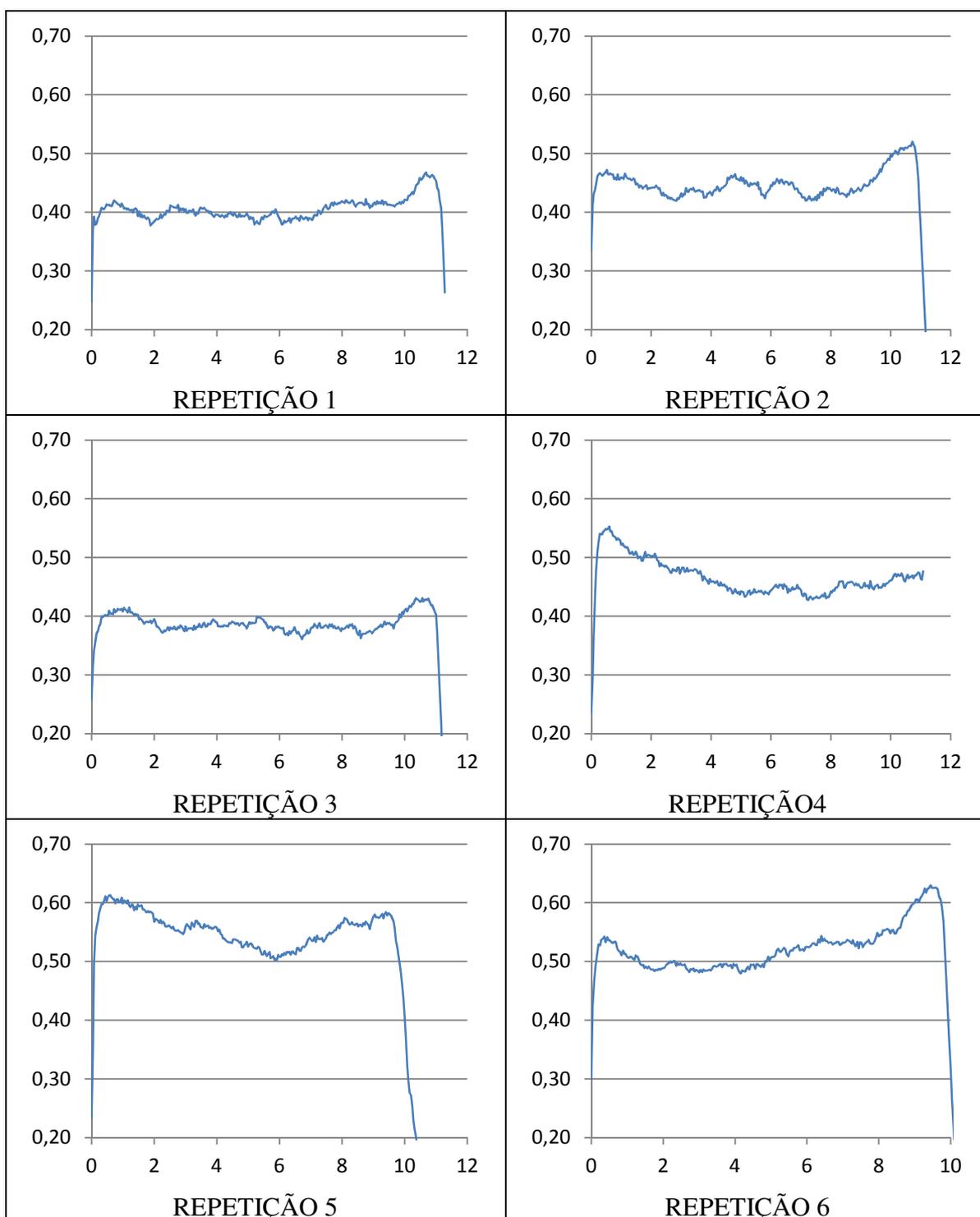
**Figura 9** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,73 e 100% de uréia-formaldeído e 0% de tanino em pó (Tratamento 9)



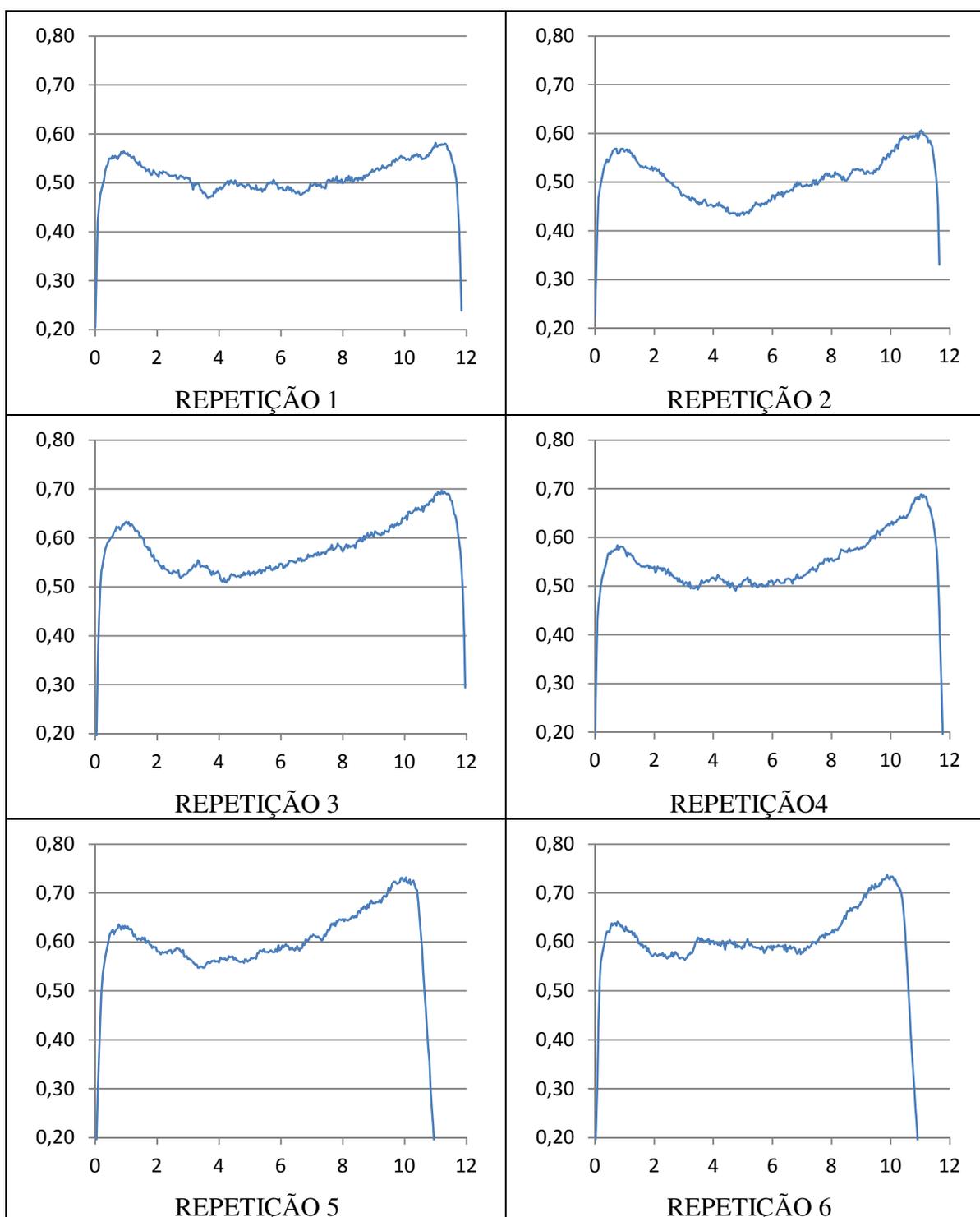
**Figura 10** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,73 e 90% de uréia-formaldeído e 10% de tanino em pó (Tratamento 10)



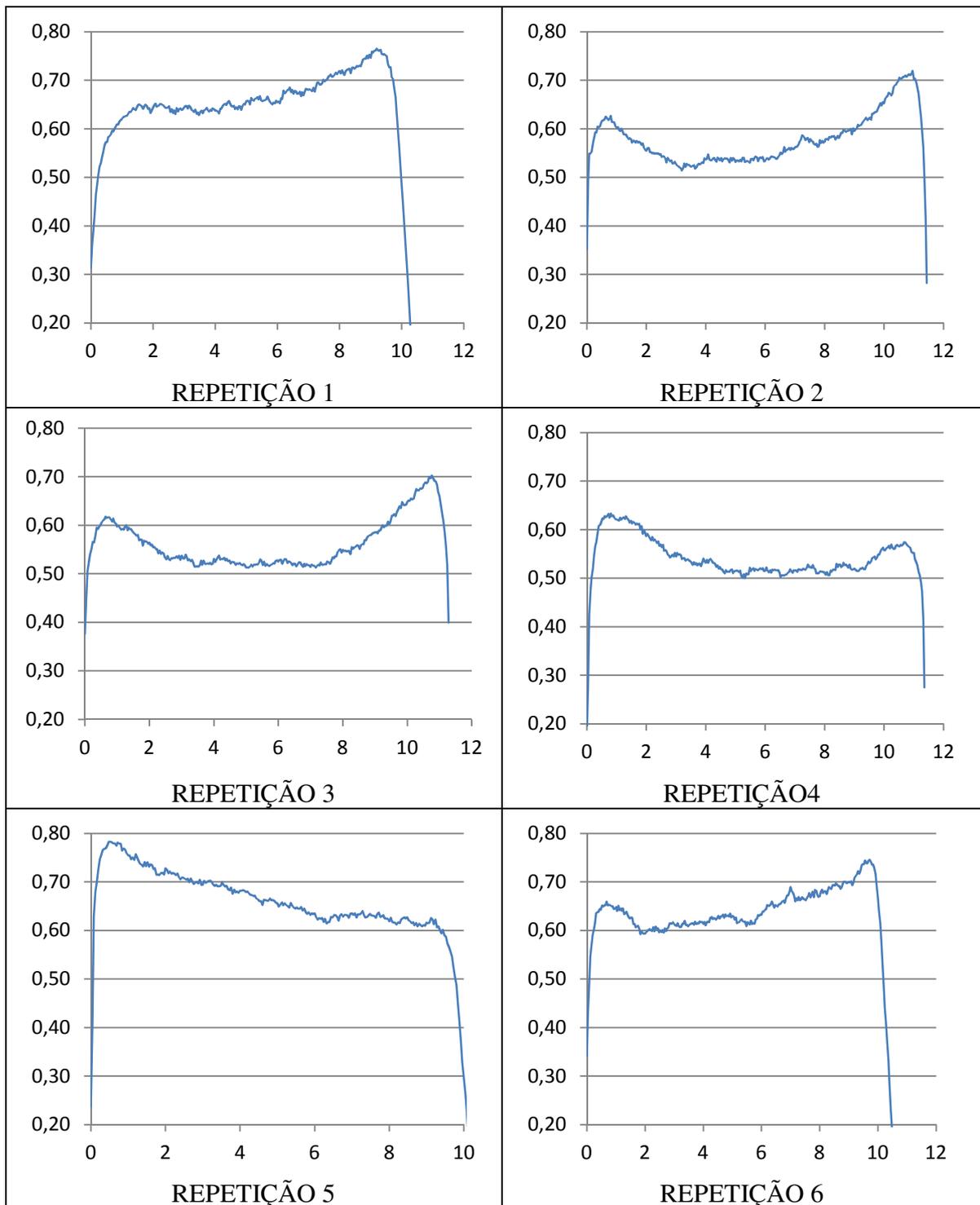
**Figura 11** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,73 e 80% de uréia-formaldeído e 20% de tanino em pó (Tratamento 11)



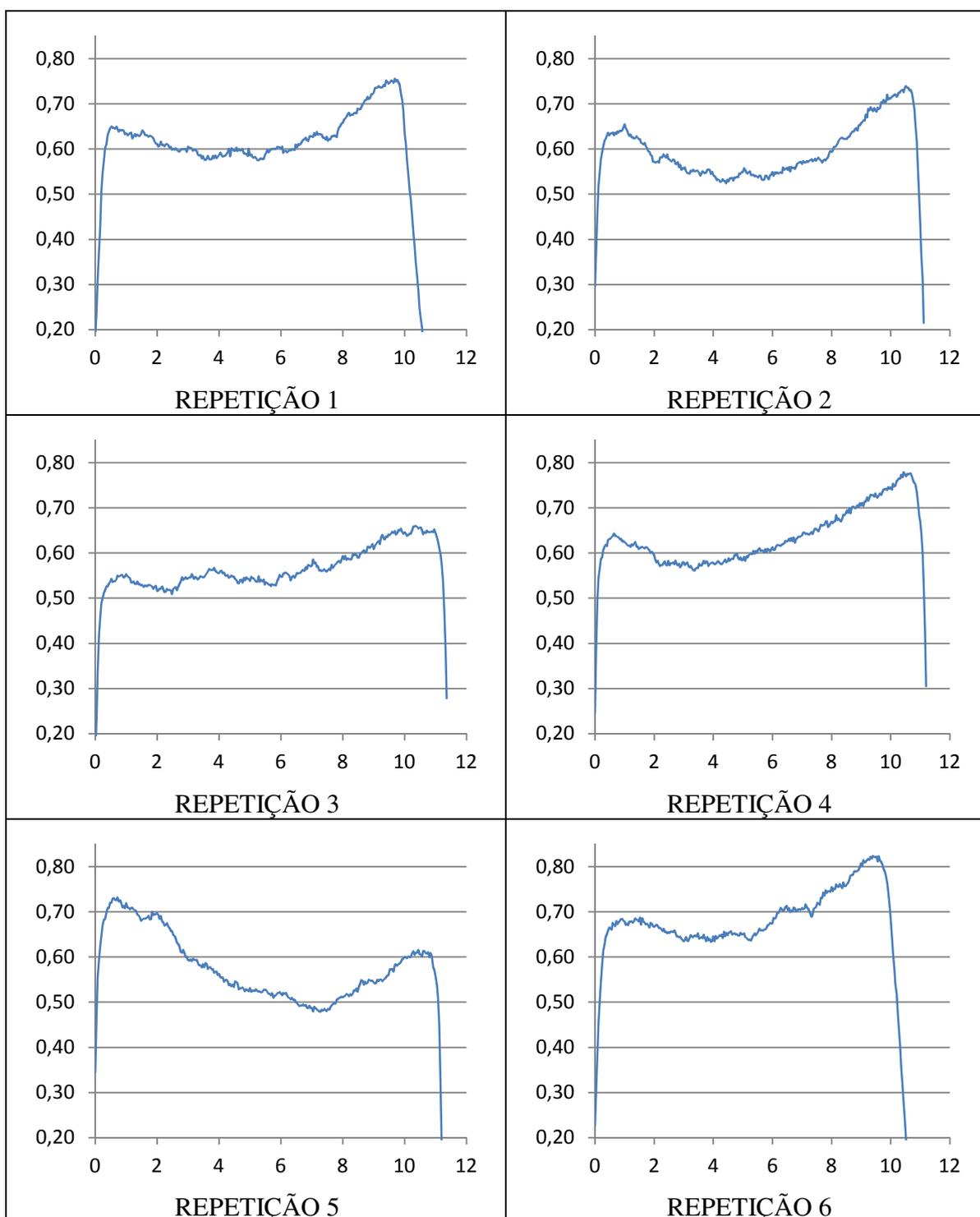
**Figura 12** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 1,73 e 70% de uréia-formaldeído e 30% de tanino em pó (Tratamento 12)



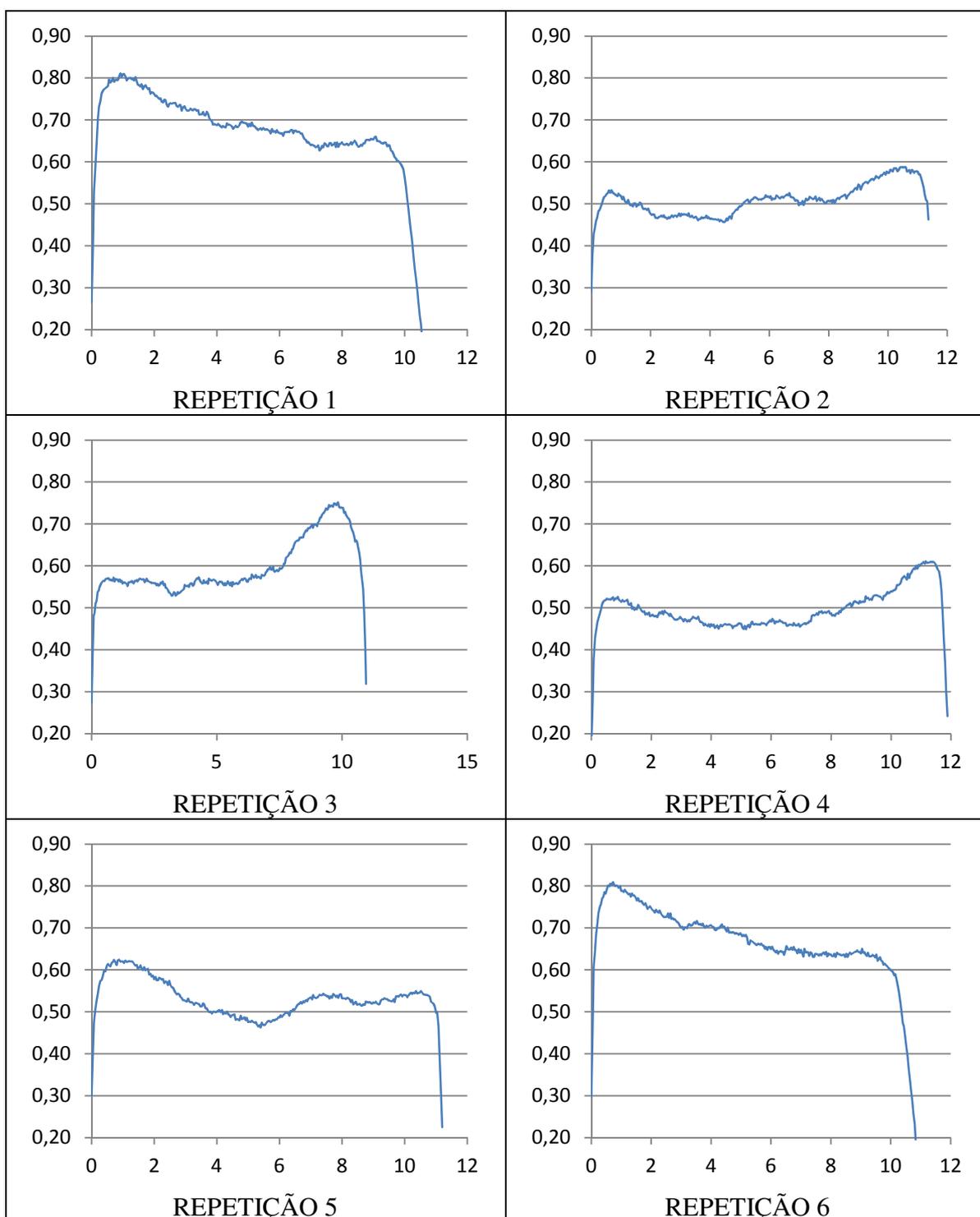
**Figura 13** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 2,00 e 100% de uréia-formaldeído e 0% de tanino em pó (Tratamento 13)



**Figura 14** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 2,00 e 90% de uréia-formaldeído e 10% de tanino em pó (Tratamento 14)



**Figura 15** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 2,00 e 80% de uréia-formaldeído e 20% de tanino em pó (Tratamento 15)



**Figura 16** – Perfis de densidade obtidos nas amostras do painel aglomerado confeccionado com madeira de *Acacia mangium* para a razão de compactação de 2,00 e 70% de uréia-formaldeído e 30% de tanino em pó (Tratamento 16)

# ANEXO I

**Figura 1.** Extrato da Norma Nacional Americana ANSI A208-1-1999: Particleboard

**Table A**  
**Requirements for Grades of Particleboard<sup>1,2</sup>**

Grade <sup>3</sup>	Dimensional Tolerances			Physical and Mechanical Properties <sup>4</sup>							
	Length & Width mm (inch)	Thickness Tolerance <sup>5</sup>		Modulus of Rupture N/mm <sup>2</sup> (psi)	Modulus of Elasticity N/mm <sup>2</sup> (psi)	Internal Bond N/mm <sup>2</sup> (psi)	Hardness N (pounds)	Screw-holding		Linear Expansion max. avg. percent	Formaldehyde Maximum Emissions ppm
		Panel Average from Specified mm (inch)	Variance from Panel Average mm (inch)					Face N (pounds)	Edge N (pounds)		
H-1	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	16.5 (2393)	2400 (348100)	0.90 (130)	2225 (500)	1800 (405)	1325 (298)	NS <sup>6</sup>	0.30
H-2	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	20.5 (2973)	2400 (348100)	0.90 (130)	4450 (1000)	1900 (427)	1550 (348)	NS	0.30
H-3	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	23.5 (3408)	2750 (398900)	1.00 (145)	6675 (1500)	2000 (450)	1550 (348)	NS	0.30
M-1	±2.0 (0.080)	±0.250 (0.010)	±0.125 (0.005)	11.0 (1595)	1725 (250200)	0.40 (58)	2225 (500)	NS	NS	0.35	0.30
M-S	±2.0 (0.080)	±0.250 (0.010)	±0.125 (0.005)	12.5 (1813)	1900 (275600)	0.40 (58)	2225 (500)	900 (202)	800 (180)	0.35	0.30
M-2	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	14.5 (2103)	2250 (326300)	0.45 (65)	2225 (500)	1000 (225)	900 (202)	0.35	0.30
M-3	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	16.5 (2393)	2750 (398900)	0.55 (80)	2225 (500)	1100 (247)	1000 (225)	0.35	0.30
LD-1	±2.0 (0.080)	+0.125 (0.005) -0.375 (0.015)	±0.125 (0.005)	3.0 (435)	550 (79800)	0.10 (15)	NS	400 (90)	NS	0.35	0.30
LD-2	±2.0 (0.080)	+0.125 (0.005) -0.375 (0.015)	±0.125 (0.005)	5.0 (725)	1025 (148700)	0.15 (22)	NS	550 (124)	NS	0.35	0.30

- 1) Particleboard bonded with a resin system containing formaldehyde, other than an exclusively phenol formaldehyde resin system, is subject to the formaldehyde emission conformance requirements.
- 2) Grades listed in this table shall also comply with the appropriate requirements listed in Section 3 of this Standard. Panels designated as "Exterior Glue" must maintain 50% MOR after ASTM D 1037 accelerated aging (Subsection 3.3.5).
- 3) Refer to Annex B for general use and grade information.
- 4) Physical and mechanical property values represent a five panel average.
- 5) Thickness tolerance values are only for sanded panels. Unsanded panels shall be in accordance with any thickness tolerances specified by agreement between the manufacturer and the purchaser.