

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ANA CAROLINA BOA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS MADEIREIROS DE EUCALIPTO  
ADERIDOS COM RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO COLADOS A FRIO

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO  
2011

ANA CAROLINA BOA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS MADEIREIROS DE EUCALIPTO  
ADERIDOS COM RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO COLADOS A FRIO

Monografia apresentada ao  
Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade Federal do  
Espírito Santo, como requisito parcial  
para obtenção do título de  
Engenheiro Industrial Madeireiro.

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2011

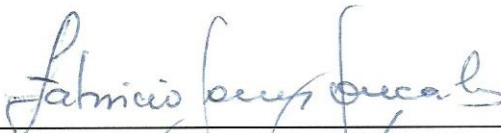
ANA CAROLINA BOA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS MADEIREIROS DE  
EUCALIPTO ADERIDOS COM RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO  
COLADOS A FRIO

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da  
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção  
de título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

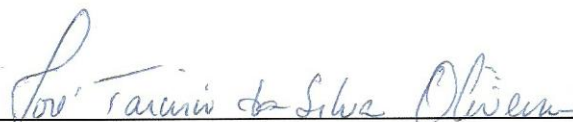
Aprovado em 18 de Novembro de 2011.

COMISSÃO EXAMINADORA



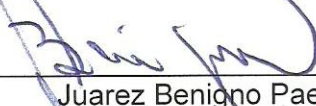
---

Fabricio Gomes Gonçalves  
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES  
Orientador



---

José Tarcísio da Silva Oliveira  
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES



---

Juarez Benigno Paes  
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES



---

Marina Donária Chaves Arantes  
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES

Dedico este trabalho a meus pais e a meu irmão, por serem fonte de inspiração, dedicação e amor, e por sempre estarem ao meu lado.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, pela minha família, pelos amigos e por todas as conquistas.

A minha mãe, Maria, ao meu pai, Gilson, e ao meu irmão, Pedro, pelo apoio, amor e dedicação, por tudo que representam para mim.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de realização do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Ao Professor orientador Fabricio Gomes Gonçalves, pela orientação e ensinamentos.

Aos Professores José Tarcísio da Silva Oliveira e Juarez Benigno Paes pelas oportunidades e pelos conselhos.

Aos Professores Adriano Ribeiro de Mendonça e Djeison Cesar Batista pela orientação no desenvolvimento de algumas etapas deste trabalho.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao marceneiro Elecy Palácio Constantino e ao funcionário do Laboratório de Ciência da Madeira, José Geraldo Lima de Oliveira, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Sr. José Alberto Sanson Moulin pela doação do material utilizado no estudo.

A meu namorado Luciano, pelo carinho, paciência e companheirismo e por todos os momentos felizes vividos até aqui.

Aos colegas de graduação, pelos bons momentos de convivência e pela amizade.

Muito Obrigada!

## RESUMO

A geração de resíduos madeireiros vem acompanhando o crescimento do setor. O descarte dos resíduos, em sua maioria, é realizado pela queima ou disposição em locais inadequados. Existem várias alternativas para a reutilização dos resíduos e a produção de painéis colados à base de madeira é uma delas. Além de permitir a utilização dos resíduos, a produção de painéis agrega valor ao produto, permitindo a produção de peças com dimensões maiores que às da madeira serrada. A quantidade adequada de adesivo a ser usado na formação da linha de cola é essencial, em razão do custo final que esta exerce sobre o produto, o que está diretamente associado às suas propriedades mecânicas. Neste estudo avaliou-se a colagem de resíduos madeireiros do gênero *Eucalyptus* de uma pequena serraria localizada no Sul do Estado do Espírito Santo, mediante a sua qualidade na linha de cola. Foram avaliadas duas classes de densidade da madeira e seis gramaturas do adesivo uréia-formaldeído, sendo realizado o ensaio de resistência ao cisalhamento da linha de cola e a avaliação da falha na madeira para determinação da qualidade da junta colada. Ambas as classes de densidade da madeira não se encontraram em conformidade com Sociedade Americana para Testes e Materiais/ASTM para a falha na madeira, porém a resistência na linha de cola das juntas formadas por madeiras que apresentavam densidade igual ou inferior a  $0,650 \text{ g.cm}^{-3}$  (classe I) atendeu aos valores mínimos preconizados pela ASTM. Na gramatura de  $350 \text{ g.m}^{-2}$  foram obtidos os melhores resultados de resistência ao cisalhamento e falha na madeira para juntas formadas por peças que apresentavam densidade superior a  $0,650 \text{ g.cm}^{-3}$  (classe II), para a classe de densidade I, nesta gramatura, obtiveram-se os melhores resultados de cisalhamento. A melhor qualidade da junta colada, com maiores valores de resistência ao cisalhamento e falha na madeira, foi apresentada pelas juntas formadas por peças da classe de densidade I.

**Palavras-chave:** Colagem. *Eucalyptus*. Junta colada. Resíduo madeireiro. Madeira reconstituída.

## SUMÁRIO

|  |             |
|--|-------------|
| <b>LISTA DE TABELAS .....</b>                          | <b>viii</b> |
| <b>LISTA DE QUADROS.....</b>                           | <b>ix</b>   |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                          | <b>x</b>    |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                             | <b>1</b>    |
| 1.1. O problema e sua importância .....                | 2           |
| 1.2. Objetivos .....                                   | 3           |
| 1.2.1. Objetivo geral.....                             | 3           |
| 1.2.2. Objetivos específicos.....                      | 3           |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                   | <b>4</b>    |
| 2.1. Resíduos madeireiros .....                        | 4           |
| 2.2. Madeira de eucalipto .....                        | 6           |
| 2.2.1. Propriedades da madeira.....                    | 6           |
| 2.2.1.1. Densidade.....                                | 7           |
| 2.2.1.2. pH e capacidade tampão .....                  | 8           |
| 2.2.1.3. Extrativos .....                              | 8           |
| 2.3. Adesivos para madeira .....                       | 8           |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                     | <b>11</b>   |
| 3.1. Descrição da serraria .....                       | 11          |
| 3.2. Descrição do material e preparo do resíduo .....  | 11          |
| 3.3. Densidade básica e umidade .....                  | 12          |
| 3.4. Adesivo empregado na colagem da madeira .....     | 13          |
| 3.5. Ensaio de adesão das juntas coladas.....          | 14          |
| 3.6. Ensaio de cisalhamento da madeira .....           | 16          |
| 3.7. Tratamentos e análise estatística dos dados ..... | 16          |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                   | <b>18</b> |
| 4.1. Análise da densidade em função da gramatura .....                   | 18        |
| 4.1.1. Resistência ao cisalhamento na linha de cola .....                | 18        |
| 4.1.2. Falha na madeira .....  | 20        |
| 4.1.3. Desdobramento da densidade em cada classe de gramatura .....      | 22        |
| 4.2. Análise da gramatura em função da densidade .....                   | 23        |
| <b>5. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>APÊNDICE – Análises Estatísticas Das Propriedades Avaliadas .....</b> | <b>33</b> |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Tratamentos efetuados no estudo.....  | 17 |
| Tabela 2 - Valores de cisalhamento da madeira a 15% de umidade .....   | 18 |
| Tabela 3 - Valores médios de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola para cada classe de densidade a 15% de umidade.....                                     | 19 |
| Tabela 4 - Valores médios de falha na madeira para cada classe de densidade.....   | 20 |
| Tabela 5 - Resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola (MPa) ....  | 22 |
| Tabela 6 - Falha na madeira de resíduos de <i>Eucalyptus</i> (%).....  | 23 |
| Tabela A.1 - Análise de variância da interação entre densidade da madeira e gramatura do adesivo nos valores de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola..... | 33 |
| Tabela A.2 - Análise de variância da interação entre densidade da madeira e gramatura do adesivo nos valores de falha na madeira. ....   | 33 |
| Tabela A.3 - Análise de variância do desdobramento da densidade dentro de cada nível de gramatura para a resistência ao cisalhamento na linha de cola. ....                      | 33 |
| Tabela A.4 - Análise de variância do desdobramento da densidade dentro de cada nível de gramatura para a falha na madeira. ....  | 34 |
| Tabela A.5 - Análise de variância do desdobramento da gramatura dentro de cada nível de densidade para a resistência ao cisalhamento na linha de cola. ....                      | 34 |
| Tabela A.6 - Análise de variância do desdobramento da gramatura dentro de cada nível de densidade para a falha na madeira.....   | 34 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 - Discriminação dos resíduos florestais e madeireiros .....     | 5  |
| Quadro 2 - Vantagens e desvantagens da resina de uréia-formaldeído ..... | 10 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Etapas da industrialização e obtenção dos resíduos de madeira .....   | 4  |
| Figura 2 - Resíduos da serraria.....   | 11 |
| Figura 3 - Etapas de determinação da densidade e teor de umidade .....   | 13 |
| Figura 4 - Preparo de adesivo para colagem .....   | 14 |
| Figura 5 - Formação da junta colada.....   | 15 |
| Figura 6 - Corpo de prova para realização do ensaio de cisalhamento da linha de cola (dimensões em mm) .....                 | 15 |
| Figura 7 - Corpo de prova para realização do ensaio de cisalhamento da madeira (dimensões em cm) .....                       | 16 |
| Figura 8 Comparação dos valores médios de resistência ao cisalhamento para cada classe de densidade e a ASTM D- 5751 .....   | 19 |
| Figura 9 - Comparação dos valores médios de falha na madeira para cada classe de densidade e a ASTM D- 5751 .....            | 21 |
| Figura 10 - Comportamento da resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola para a classe de densidade I .....  | 24 |
| Figura 11 - Comportamento da resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola para a classe de densidade II ..... | 24 |
| Figura 12 - Comportamento da falha na madeira em função do desdobramento para a classe de densidade II.....                  | 25 |

## 1. INTRODUÇÃO

Desde épocas remotas a madeira teve papel importante no bem estar dos seres humanos e no desenvolvimento da civilização, sendo um dos recursos mais versáteis disponíveis na natureza. Inicialmente a madeira foi usada como fonte de energia e para a fabricação de armas de caça, posteriormente, passou a ser utilizada na construção de abrigos. Já na idade média, a madeira tornou-se a principal fonte de matéria prima na construção dos mais variados meios de transporte, desde pequenos carrinhos puxados a mão e carroças com tração animal, até as caravelas. Atualmente é a matéria prima para muitos produtos, como celulose e papel, móveis, laminados, compensados, chapas de composição e pisos (ROCHA, 2007; VITAL, 2008).

O Brasil apresenta crescente utilização de madeiras originadas de florestas plantadas, sendo o eucalipto a espécie de maior utilização. Segundo o Serviço Florestal Brasileiro/SFB (2010) o país possui 516 milhões de hectares de florestas, o que equivale a 60,7% do território nacional, sendo elas naturais e plantadas, com predominância das florestas naturais (98,79%), enquanto as florestas plantadas abrangem cerca de 6,2 milhões de hectares.

A implantação do *Eucalyptus* no Brasil apresentou fácil adaptação ao solo e às condições climáticas. A área plantada de eucalipto com base no ano de 2010 no Brasil corresponde a 4.754.334 ha, sendo os Estados de Minas Gerais, São Paulo e Bahia, respectivamente, os maiores produtores (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas/ABRAF, 2011).

As características físicas, mecânicas, fácil trabalhabilidade, baixo consumo energético para sua obtenção e aspecto decorativo, fazem da madeira uma das matérias-primas mais utilizadas e apreciadas no mundo. Porém, entre as características florestais, a possibilidade de produção sustentável e a absorção e fixação de CO<sub>2</sub> no processo produtivo da madeira vem tornando esse material cada vez mais atraente do ponto de vista ambiental (ZENID, 2007).

O processamento da madeira está relacionado a geração de resíduos sólidos. Esses resíduos são originados desde o corte da madeira até seus processamentos primário e secundário. Nas serrarias são observados grandes volumes de resíduos madeireiros, que muitas vezes são inutilizados sendo dispostos para a queima ou

em locais inadequados. Os resíduos gerados no processamento das serrarias podem ser reaproveitados de forma a reduzir os riscos ao ambiente e gerar lucros para as empresas que os produzem.

A colagem da madeira é uma alternativa para um melhor aproveitamento da matéria prima, pois reduz a exigência da qualidade inicial da madeira, como a presença de nós e bolsa de resina, entretanto torna-se necessário o uso de adesivos. Em função do desenvolvimento de novas tecnologias, estimulada pelo avanço da química, é possível identificar os adesivos que melhor se adaptem e interajam com os diferentes tipos de madeira (LIMA et al., 2008).

A madeira possui como uma das principais propriedades tecnológicas a capacidade de adesão, em que, mediante utilização de adesivos pode-se obter um grande número de produtos derivados, como exemplo peças de dimensões limitadas podem ser utilizadas na confecção de grandes elementos estruturais na forma de madeira laminada colada (ABRAHÃO et al, 2003).

### **1.1. O problema e sua importância**

O crescimento do setor florestal desencadeou o uso de grandes volumes de matéria prima e, assim, a geração de resíduos vem aumentando gradativamente. A utilização dos resíduos madeireiros permite uma solução de um possível problema ao ambiente, além de poder gerar dividendos para o ramo empresarial, tornando-se matérias primas para novos produtos. A capacidade de adesão da madeira permite a obtenção de variados produtos derivados da madeira por meio da utilização de adesivos. No entanto, Carneiro et al. (2004) e Passos et al. (2006) afirmaram que o custo dos adesivos pode ser equivalente a 50% do investimento de um novo produto.

A confecção de juntas coladas é realizada de forma a se obter peças com as dimensões necessárias ao mercado, sendo a determinação da gramatura do adesivo um parâmetro ideal para a redução dos custos deste produto, além do melhor aproveitamento da matéria prima.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo geral**

Avaliar o comportamento de juntas coladas com uréia-formaldeído a partir de resíduos madeireiros classificados como lenha.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar os resíduos da madeira de eucalipto em duas classes de densidade básica; e
- Avaliar o comportamento de colagem das juntas em seis condições de gramatura de adesivo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Resíduos madeireiros

Os resíduos madeireiros se originam do processamento de desdobro mecânico da tora em peça sólida, desengrosso, serragem e acabamento (TEIXEIRA, 2005). Gonçalves e Rufino (1989) estabeleceram as etapas produtivas com seus respectivos resíduos gerados (Figura 1):



Figura 1 - Etapas da industrialização e obtenção dos resíduos de madeira.

Fonte: Modificado de GONÇALVES; RUFINO (1989).

A discriminação dos resíduos de cada etapa, estabelecidos por Gonçalves e Rufino (1989) foi efetuada de forma mais abrangente por Teixeira (2005), conforme observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Discriminação dos resíduos florestais e madeireiros

| <b>Resíduo</b>  | <b>Fonte geradora e descrição</b>   |
|-----------------|---|
| Galhos e ápices | Gerado no processo de desrama, onde a árvore é livre de partes finas e perpendiculares à parte principal do tronco.   |
| Cascas          | Descarte do processo de descascamento, quando se retira toda a parte da proteção natural do tronco.   |
| Costaneiras     | Proveniente da redução da tora em peças de seção retangular ou quadrada. Apresenta um formato de meia-lua contendo uma parte de madeira e casca não removida.                             |
| Destopo         | Proveniente do corte das pontas estragadas das toras, tábuas ou pranchas.   |
| Serragem        | Proveniente da ação mecânica de serras.<br>Podem ser serragem grossa, com formas de lascas, flocos, maravalha e cavacos, e serragem fina, formada por pó de serra de diferentes tamanhos. |
| Pó de lixamento | Proveniente do processo de lixamento, na fase de acabamento.<br>Varia conforme o número de aspereza da lixa.  |
| Sobra           | Peças processadas e acabadas, com boa qualidade técnica e comercial, mas que não foram utilizadas nos produtos finais.  |
| Rejeito         | Abaixo dos padrões técnicos ou comerciais, geralmente por estarem danificados, empenados, rachados ou trincados.  |

Fonte: Modificado de TEIXEIRA (2005).

Existe uma classificação para os resíduos que os divide em lenha, serragem, cepilho. A lenha é o resíduo de maior representatividade, podendo chegar a 71% da totalidade e é formada por costaneiras, refilos e aparas. A serragem corresponde a 22% e o cepilho com 7% da totalidade do setor (BRITO, 1995). Grande parte destes resíduos é disposta em locais inadequados ou simplesmente queimada a céu



aberto, o que é uma forma de redução destes resíduos, porém, gerando impactos no ambiente pela liberação de gases.

Dentre as alternativas para a utilização dos resíduos gerados pelo setor madeireiro está a geração de energia, painéis reconstituídos, briquetes, fabricação de pequenos objetos de madeira e polpa celulósica.

## **2.2. Madeira de eucalipto**

Foi introduzida no Brasil em 1904 com a função de matéria prima para suprir a necessidade de lenha, postes e dormentes. Posteriormente, passou a ser usada na indústria de celulose e papel e na produção de carvão vegetal. É uma espécie que apresenta rápido crescimento e se adaptada as condições edafoclimáticas do Brasil (DOSSA, 2010).

Segundo Ponce (1995) o cultivo de eucalipto no Brasil é um dos mais produtivos e avançados do mundo, sendo estas vantagens mais aproveitadas pelas indústrias de celulose, de painéis e pelas siderúrgicas por uso do carvão vegetal. O *Eucalyptus* é o gênero mais utilizado no setor florestal e de maior abundância em termos de florestas plantadas no Brasil (ABRAF, 2010).

A utilização do gênero *Eucalyptus* para suprir a demanda do consumo de madeira, está relacionada às vantagens que este oferece como o rápido crescimento e grande diversidade de espécies, o que possibilita a adaptação desta cultura a diferentes tipos de clima e solo, além de possibilitar sua utilização para diversos fins (AMPARADO et al., 2008).

### **2.2.1. Propriedades da madeira**

O conhecimento das características da madeira permite seu uso de maneira eficiente e efetiva. A qualidade da madeira esta relacionada à suas características favoráveis para a fabricação de um produto, ou seja, a combinação das características físicas, químicas e anatômicas de uma árvore ou de suas partes que permitam a melhor utilização da madeira para um determinado uso, assim, usar a madeira corretamente significa que se encontrará nela as características que certo produto requer (REMADE, 2003).

As características da madeira que apresentam significativa influência na colagem estão relacionadas às propriedades físicas, químicas e anatômicas, a exemplo da estabilidade dimensional, direção de grã, variabilidade da densidade e porosidade que ocorre em função dos lenhos inicial e tardio, cerne e alburno e lenho juvenil e adulto (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000, CARNEIRO; VITAL; PEREIRA, 2007).

Outras propriedades da madeira que interferem na relação entre a madeira e o adesivo são a capacidade tampão, pH, conteúdo de umidade, textura, extrativos e a variabilidade entre espécies e no lenho (CARNEIRO; VITAL; PEREIRA, 2007).

Dunky (2002) afirmou que as características como a rugosidade da superfície, a química de superfície e, especialmente, a idade da madeira também podem causar problemas nas juntas coladas.

#### **2.2.1.1. Densidade**

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980) a densidade resulta da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira, variando em função de diferenças nas dimensões celulares, interações entre estes fatores e pelo teor de extrativos por unidade de volume no lenho. Existem ainda fatores externos à árvore que também são influentes na densidade, sendo eles o aspecto do local de crescimento, clima, solo, altitude, umidade do solo, declividade, vento, espaçamento e associação de espécies, e intervenções silviculturais do tipo adubação, poda, desbaste e densidade do povoamento (KLITZKE, 2007).

A densidade é uma das mais importantes propriedades da madeira, e está relacionada com a maioria das demais propriedades apresentadas pela madeira (OLIVEIRA, 2007). Ao longo do tronco existem variações nos valores da densidade, encontram-se valores máximos na base do mesmo e decréscimo com a aproximação da copa (KLITZKE, 2007).

Segundo Carneiro, Vital e Pereira (2007) a colagem realizada em madeiras que apresentam altos valores de densidade degrada-se mais rapidamente que em madeiras de baixo valor de densidade. Isto ocorre porque a densidade está diretamente ligada a porosidade e a permeabilidade da madeira, fatores influentes na formação da ligação adesivo-madeira.

### **2.2.1.2. pH e capacidade tampão**

O pH e a capacidade tampão são características que afetam a cura e a solidificação do adesivo. O pH das madeiras varia de acordo com espécie e se encontra em torno de 3 a 6. A capacidade tampão é característica do adesivo e se refere à capacidade deste em tolerar o contato com materiais mais ácidos ou mais básicos, sem alterar seu pH (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JUNIOR, 2005, CARNEIRO; VITAL; PEREIRA, 2007).

Algumas madeiras podem apresentar extrativos que possuem pH que inibem o endurecimento do adesivo, prejudicando o desenvolvimento da resistência e coesão adequada na linha de cola (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JUNIOR, 2005).

### **2.2.1.3. Extrativos**

Os extrativos são os elementos que estão no lume ou na parede das células da madeira e são compostos de materiais orgânicos como as graxas, óleos, gorduras, taninos, carboidratos, ácidos, gomas e resinas. Em algumas espécies madeireiras podem se apresentar como obstáculo para a obtenção de uma boa colagem. Sua presença pode causar decréscimo do umedecimento, proporcionando colagem de inferior qualidade. Interfere nas reações de polimerização do adesivo em razão da sua variabilidade na quantidade e distribuição no lenho podem causar áreas de delaminação dentro da linha de cola (ALBUQUERQUE; IWAKIRI; KEINERT JUNIOR, 2005, CARNEIRO; VITAL; PEREIRA, 2007).

## **2.3. Adesivos para madeira**

Os adesivos são responsáveis pela adesão entre dois substratos por meio da ação de forças atrativas intermoleculares eletrostáticas, covalentes, metálicas ou secundárias de Van der Waals (PIZZI; MITTAL, 1994). São componentes importantes na agregação de valor à madeira, pois representam até 50% do custo de produtos derivados de madeira (CARNEIRO et. al., 2004).

Segundo Iwakiri et al. (2000) o adesivo é um componente fundamental para produtos manufaturados de madeira, por ser responsável pela ligação entre peças de madeira e transferência de tensões geradas na linha de cola durante a sua utilização. Dos produtos derivados de madeira existentes, cerca de 70% consomem

algum tipo de adesivo e há predominância dos adesivos sintéticos (CARNEIRO et. al., 2001).

As resinas utilizadas na produção de painéis em sua maioria são obtidas pela condensação de formaldeído com fenol ou uréia, sendo as de origem uréica com baixa resistência a ambientes com teores de umidade elevados. Os adesivos fenólicos e uréicos são derivadas do petróleo e possuem alto custo, que por sua vez são transmitidos ao custo total dos produtos a serem produzidos (PIZZI; MITTAL, 1994).

Segundo Pizzi e Mittal (1994) as resinas a base de uréia-formaldeído são formadas pela combinação desses dois compostos químicos que gera polímeros lineares e ramificados, ligados tridimensionalmente, quando a resina se encontra solidificada.

A uréia-formaldeído é um polímero termorrígido, que não se funde com o reaquecimento por causa das ligações cruzadas formadas durante o aquecimento, tornando-se infusível e insolúvel (LEITE et. al., 2008). Sob a ação da umidade perde sua resistência, e dessa forma, exposições a altos teores de umidade e temperaturas iguais ou superiores a 65 °C as afetam negativamente (PIZZI; MITTAL, 1994). A baixa resistência à umidade está relacionada à redução da relação molar uréia-formaldeído que deixa grupos livres disponíveis para fazer ligações com as moléculas de água, sendo essa redução molar necessária para redução da emissão de formaldeído (SELLERS, 1994).

As resinas a base de uréia-formaldeído são encontradas para a aplicação solúveis ou dispersas em água ou “spray” em pó seco que, contudo, na maioria dos casos são redissolvidos em água para a aplicação (DUNKY, 2002).

A cura destes adesivos pode ser a temperatura ambiente (20°C), mediante utilização de catalizadores específicos ou com aquecimento por meio de prensas aquecidas com temperaturas de até 160°C em compensados (PIZZI; MITTAL, 1994). No Quadro 2 são apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização dos adesivos de uréia-formaldeído.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens da resina de uréia-formaldeído

| VANTAGENS  | DESVANTAGENS   |
|--|--|
| Efeito moderado de desgaste sobre as ferramentas de corte                | Possibilidade de ataque de microrganismos na linha de cola que contenha farinha de cereais como extensor |
| Custos reduzidos e plasticidade à linha de cola por causa dos extensores | Tempo de cura da cola maior em virtude de excesso de água e farinha                                      |
| Evita tensões interiores que poderiam ocasionar empenamentos             |  |
| Proporciona linha de cola incolor  | Baixa resistência à umidade  |
| Não inflamável   |  |

Fonte: Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente/ABIMCI (2003).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da serraria

O material foi coletado de uma pequena serraria localizada no Sul do Estado do Espírito Santo, que apresenta o uso para matéria prima das espécies de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus saligna*, *Corymbea citriodora* e do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

A serraria apresenta como principais produtos a madeira para uso estrutural, janelas, portas e a produção de móveis. Os resíduos originados do processo destes produtos são vendidos ao comércio local para a utilização, principalmente em padarias, em fornos como lenha. Outra destinação dada aos resíduos é a produção de carvão, que atualmente não esta sendo realizada nesta serraria.

#### 3.2. Descrição do material e preparo do resíduo

A madeira utilizada neste estudo pertence ao gênero *Eucalyptus*. Foram obtidos resíduos dos desdobros principal e secundário, que incluem costaneiras, refilos e aparas (Figura 2). A coleta foi realizada no pátio da empresa, na pilha de material rejeitado, sendo apenas considerada a classificação visual no primeiro momento.



Figura 2 - Resíduos da serraria: A – Costaneiras, B – Refilos e aparas.

Após a coleta do material, este foi beneficiado em peças menores, com dimensões de 3,0 cm de espessura, 7,0 cm de largura e 33,0 cm de comprimento. Para cada peça foram retiradas quatro amostras para a determinação da densidade e do teor de umidade (corpos de prova de 2,0 x 2,0 x 2,0 cm). O material foi exposto à secagem natural em ambiente protegido por 30 dias, e acondicionado em câmara de climatização, com temperatura de 25°C e umidade relativa de 60%, durante 30 dias, até que fosse atingido teor de umidade de 15%. Durante o período de climatização foi realizado monitoramento do material, com pesagem semanal das amostras para o controle do teor de umidade. Depois de acondicionadas, as peças foram redimensionadas a 2,0 cm de espessura, 6,0 cm de largura e 30,0 cm de comprimento e formadas as juntas coladas.

### **3.3. Densidade básica e umidade**

O material utilizado para a determinação da densidade foi amostrado de cada peça inicialmente retirada da serraria, sendo este também utilizado para a determinação do teor de umidade, que foi realizado pelo método gravimétrico.

A massa inicial do material foi determinada e este foi posto para saturação sob vácuo por 30 dias. Depois de saturados, determinou-se o volume dos corpos de prova pelo método de deslocamento de massa em água.

Para a obtenção da massa anidra, as amostras colocadas dispostas em estufa a temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , sendo monitorada a perda de massa até que esta permanecesse constante (variação inferior a 1%) e a pesagem foi realizada em balança de precisão 0,01g.

As etapas da determinação da densidade básica e umidade do material são ilustradas na Figura 3.

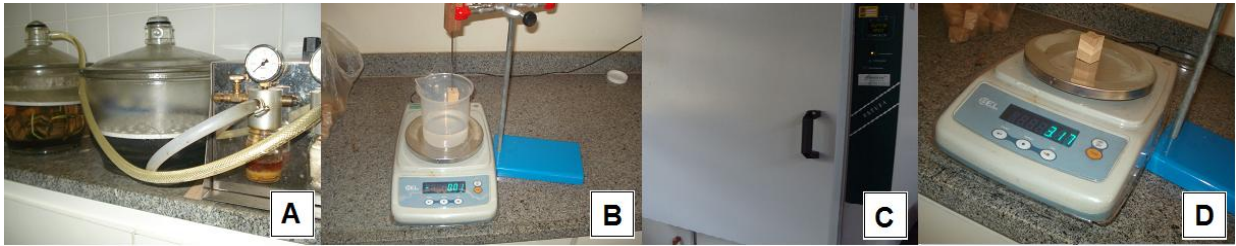


Figura 3 - Etapas de determinação da densidade e teor de umidade. A – Saturação, B – Determinação do volume pelo método da balança hidrostática, C – Secagem em estufa de circulação forçada de ar, D – Obtenção da massa anidra.

### 3.4. Adesivo empregado na colagem da madeira

Para a realização da colagem foi utilizado o adesivo termofixo a base de uréia-formaldeído, Cascamite PL – 2030 com baixo teor de formol livre, menos de 1%, fornecido pela empresa Hexion™. Esta é uma resina sintética, líquida aquosa, de cor branca leitosa, à base de uréia formaldeído, com indicação para colagem de madeiras em geral. De acordo com o fabricante, apresenta viscosidade entre 600 a 1000 Cp, pH entre 7,4 a 8,0 e teor de sólidos entre 64 a 66%.

O teor de sólidos do adesivo utilizado no estudo foi determinado sendo empregadas cinco amostras. Foram montados suportes de papel alumínio para cada amostra, onde foram dispostos 3,00 g de adesivo para cada suporte. Inicialmente foi medida a massa inicial das amostras e estas foram colocadas em estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2$  por um período de 24 horas. Depois de retiradas da estufa a massa final das amostras foi medida e o teor de sólidos foi determinado.

De acordo com as recomendações do fabricante, para a prensagem a frio foi adicionado Catalisador HLE-30 juntamente com um extensor. A preparação do adesivo seguiu a proporção: 100 partes de adesivo, 20 partes de farinha de trigo, utilizado como extensor, 20 partes de água e 7 partes do catalisador. Foi adicionado o corante anilina na cor verde à mistura, para melhorar a visualização da falha da madeira (Figura 4).





Figura 4 – Preparo de adesivo para colagem.

### 3.5. Ensaio de adesão das juntas coladas

A densidade básica foi o critério adotado para dividir o material em duas classes, e por este material ser originado de resíduos e não ser originado da mesma espécie, para a formação das juntas coladas foram utilizadas peças com mesma densidade ou, quando não existiam peças com o mesmo valor, com valores de densidade próximos respeitando as classes pré-definidas.

Para cada classe de densidade foram utilizadas seis condições de gramatura do adesivo de acordo com o tratamento estabelecido, sendo o adesivo distribuído nas peças com auxílio de uma espátula. Após receberem o adesivo as peças foram unidas para a formação da junta e prensadas na máquina de universal de ensaios com capacidade de 10 toneladas por um período de 6 horas a uma pressão de 12  $\text{kgf.cm}^{-2}$  e temperatura ambiente de 25°C. Na Figura 5 se encontram ilustradas as etapas da formação das juntas coladas.

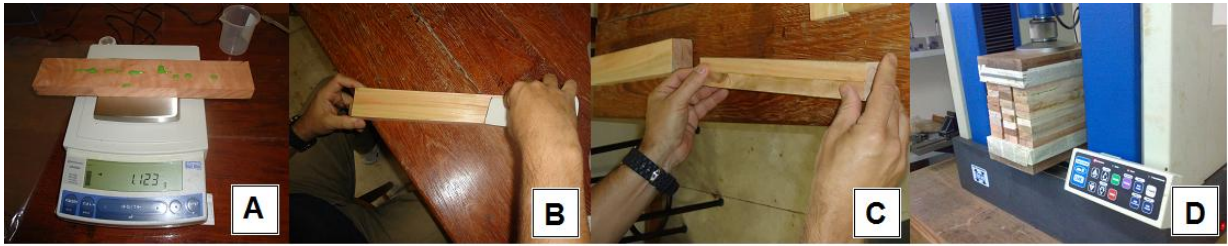


Figura 5 – Formação da junta colada. A – Aplicação do adesivo nas peças, B – Distribuição do adesivo com espátula, C – Peças unidas com adesivo e D – Prensagem das juntas coladas.

Depois de prensadas as juntas permaneceram sete dias a temperatura e umidade ambiente e posteriormente foram dispostas na câmara de climatização por um período de 15 dias para a uniformização da umidade dos corpos de prova. Em seguida foram confeccionados os corpos de prova de acordo com a norma D-905 (ASTM, 2008), como ilustrado na Figura 6.

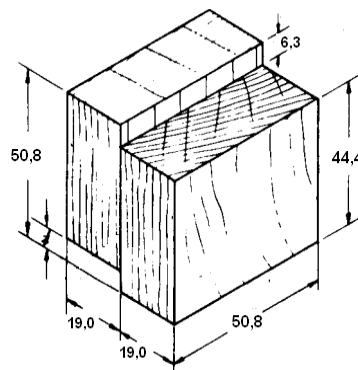


Figura 6 - Corpo de prova para realização do ensaio de cisalhamento da linha de cola (dimensões em mm).

Fonte: Modificado de ASTM D-905 (ASTM,2008).

Os corpos de prova foram ensaiados em uma máquina universal de ensaios da marca EMIC com capacidade de 10 toneladas e se obtiveram os resultados de resistência na linha de cola. A falha na madeira foi determinada de acordo como descrito por Buligon (2011), com auxílio de uma película transparente quadriculada foi confeccionada para cobrir a área colada submetida ao cisalhamento, dividindo visualmente a área colada em 10 linhas x 10 colunas, em que cada quadricula cobria 1% de sua superfície durante a avaliação.

### 3.6. Ensaio de cisalhamento da madeira

O ensaio de cisalhamento da madeira foi realizado de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora/NBR 7190 (ABNT, 1997), com pequenas modificações nos corpos de prova, necessárias para a adequação das dimensões nas quais se apresentava o material obtido na serraria (Figura 7). O ensaio de cisalhamento da madeira foi realizado para comparações entre os valores obtidos neste ensaio e no ensaio de resistência na linha de cola.

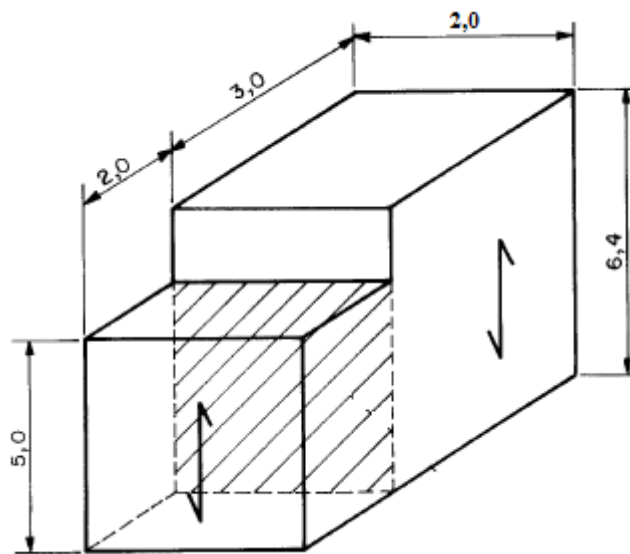


Figura 7 - Corpo de prova para realização do ensaio de cisalhamento da madeira (dimensões em cm).

Fonte: NBR-7190 (ABNT,1997).

### 3.7. Tratamentos e análise estatística dos dados

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* SISVAR (Departamento de Ciências Exatas/Ufla). O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado, no esquema fatorial (2x6), sendo a densidade da madeira em dois níveis e a gramatura do adesivo em seis níveis, totalizando 12 tratamentos com 16 repetições cada. Sempre que a Análise de Variância/ANOVA detectou haver diferenças entre os tratamentos a 95% de probabilidade foi utilizado o teste de Tukey a 95% de probabilidade para o desdobramento da densidade e regressão

para o desdobramento das gramaturas. Na Tabela 1 é observada a formação dos tratamentos:

Tabela 1 - Tratamentos efetuados no estudo

| <b>Classes de densidade</b>                 | <b>Gramaturas do adesivo (g.m<sup>-2</sup>)</b> |
|---|---|
| Classe I<br>( $\leq 0,65\text{g.cm}^{-3}$ ) | 150   |
|   | 200   |
|   | 250   |
|   | 300   |
|   | 350   |
|   | 400   |
| Classe II<br>( $> 0,65\text{ g.cm}^{-3}$ )  | 150   |
|   | 200   |
|   | 250   |
|   | 300   |
|   | 350   |
|   | 400   |

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O adesivo utilizado neste estudo apresentou teor de sólidos igual a 61,36%. Os resíduos madeireiros inicialmente apresentaram de umidade média igual a 86,57% e para cada classe de densidade apresentaram no ensaio de cisalhamento da madeira os valores dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de cisalhamento da madeira a 15% de umidade

| Classe de densidade | Cisalhamento (MPa) |
|---------------------|--------------------|
| I                   | 10,67 b<br>(20,38) |
| II                  | 13,79 a<br>(14,38) |

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância para o teste de Tukey.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%).

Valores de maior densidade para a madeira de eucalipto tendem a maiores valores de resistência ao cisalhamento (Tabela 2). Os valores estão próximos àqueles encontrados por Vital, Maciel e Della Lucia (2006) para *Eucalyptus grandis* (14,46 MPa) e *Eucalyptus saligna* (14,27 MPa) e por Pláster et al. (2008) que para madeiras de *Eucalyptus sp.* com densidade entre 0,80 e 0,89 g.cm<sup>-3</sup> encontraram resistência ao cisalhamento de 12,94 MPa.

Por meio de análise de variância foi possível observar significância na interação entre densidade da madeira e gramatura do adesivo nos valores de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola (Tabela A.1, Apêndice A) e na falha da madeira (Tabela A.2, Apêndice A). A interação da densidade da madeira e a gramatura do adesivo foi ponderada pelas análises da densidade em função da gramatura e da gramatura em função da densidade.

### 4.1. Análise da densidade em função da gramatura

#### 4.1.1. Resistência ao cisalhamento na linha de cola

Aplicou-se o teste de Tukey a 95% de probabilidade para a observação do comportamento das densidades da madeira em função das gramaturas do adesivo.

Foram observadas que as médias apresentadas para a resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola diferiram entre as classes de densidade, com valores superiores apresentados pela classe I (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola para cada classe de densidade a 15% de umidade

| <b>Tratamento</b> | <b>Média (MPa)</b> |
|-------------------|--------------------|
| Densidade I       | 9,59 a<br>(44,68)  |
| Densidade II      | 6,96 b<br>(63,30)  |

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%).

Segundo a ASTM D-5751 (2005) o valor médio apresentado de resistência ao cisalhamento pela junta colada deve ser 60% do valor apresentado pela madeira sólida. Em conformidade com o determinado pela norma apenas se encontram nestas condições as juntas coladas formadas por resíduos madeireiros com a densidade inferior ou igual a  $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$  (classe I) como ilustrado na Figura 8.

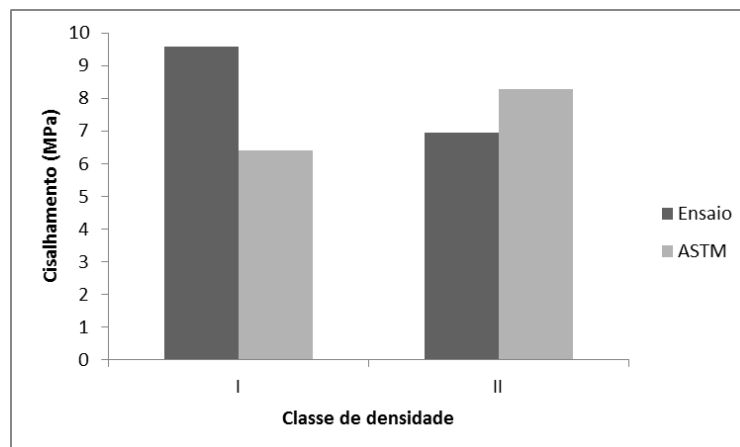


Figura 8 – Comparação dos valores médios de resistência ao cisalhamento para cada classe de densidade e a ASTM D- 5751 (2005).

Pela comparação dos resultados encontrados com os de Vital, Maciel e Della Lucia (2006) a classe de densidade I ultrapassou a resistência alcançada pelo *Eucalyptus saligna* (9,44 MPa) e pelo *Eucalyptus grandis* (7,90 MPa) pela da

colagem com o adesivo resorcinol formaldeído. Já a classe de densidade II apresentou valores inferiores quando comparada com o obtido pelos autores.

Na comparação com os valores encontrados por Lima et al. (2008) para juntas coladas com uréia-formaldeído de madeira de *Eucalyptus urophylla* (7,92 MPa) e *Eucalyptus camaldulensis* (9,98 MPa), o valor de resistência ao cisalhamento na linha de cola da classe I apresentou valores superiores ao *Eucalyptus urophylla* e inferiores ao apresentado pelo *Eucalyptus camaldulensis*. A classe II apresentou valor de resistência inferior para as duas espécies estudadas pelos autores.

Os autores Pláster et. al. (2008), Motta (2010) e Martins (2011) obtiveram valores superiores aos apresentados pelas duas classes deste estudo. O ensaio de cisalhamento da junta colada realizado por Pláster et al. (2008) em *Eucalyptus sp.* com adesivo resorcinol resultou em 13,78 MPa. Motta (2010) utilizou *Tectona grandis* com adesivo uréia-formaldeído e obteve como resultado do ensaio valor de resistência igual a 10,69 MPa. Martins (2011) com o uso de madeira de *Eucalyptus benthamii* obteve para os adesivos Acetato de Polivinila/PVAc e poliuretano, respectivamente, os valores de resistência ao cisalhamento de 11,4 MPa e 10,72 MPa.

A variação encontrada nos resultados pode ser explicada por vários fatores relacionados às características das madeiras utilizadas em cada estudo, como a variabilidade anatômica da madeira, associada à densidade e à porosidade na madeira, que influenciaram a formação da ligação adesiva (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

#### 4.1.2. Falha na madeira

As médias apresentadas para a falha na madeira diferiram entre as classes de densidade como apresentado na Tabela 4:

Tabela 4 - Valores médios de falha na madeira para cada classe de densidade

| Tratamento   | Média (%)         |
|--------------|-------------------|
| Densidade I  | 39,70 a<br>(0,71) |
| Densidade II | 11,37 b<br>(9,99) |

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%).

As classes de densidade I e II apresentaram valores diferentes quanto aos valores médios de falha na madeira, a classe I apresentou valores superiores quando comparada com a classe II.

A diferença nos valores de falha na madeira encontrados entre as classes de densidade possui como umas das justificativas a diferença entre a porosidade apresentada pelas peças que formaram as juntas coladas de cada classe, sendo a densidade diretamente ligada à permeabilidade e a porosidade destas peças (CARNEIRO; VITAL; PEREIRA, 2007). Maiores porosidades facilitam o ancoramento do adesivo na madeira, ou seja, a penetração deste dentro das cavidades e poros da madeira, que permite aumento da adesão pela ligação mecânica e consequente aumento na falha da madeira. A constituição química das peças também pode afetar a qualidade da colagem. A presença e o tipo de extrativos, assim como o pH pode ser responsável pelas variações de falha na madeira.

Segundo a ASTM D-5751 (2005) o valor médio apresentado de falha na madeira pela junta colada deve ser no mínimo de 60% e, portanto, as juntas coladas formadas por resíduos madeireiros de ambas as classes de densidade deste estudo não estão em conformidade com o determinado pela norma, como ilustrado na Figura 9.

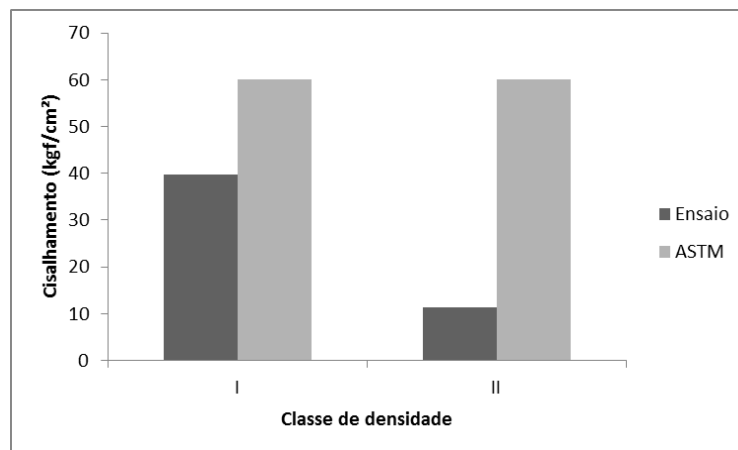


Figura 9 – Comparação dos valores médios de falha na madeira para cada classe de densidade e a ASTM D- 5751 (2005).

A classe de densidade I apresentou falha na madeira superior ao obtido por Vital, Maciel e Della Lucia (2006) na junta colada de *Eucalyptus saligna* com adesivo



resorcinol (29,73%). Outros dados da literatura apresentam falha na madeira superiores aos obtidos, como nos trabalhos de Motta (2010) que obteve 90% de falha na madeira para a madeira de *Tectona grandis* colada com adesivo à base de uréia-formaldeído e Lima et al. (2008) que obtiveram 67% para *Eucalyptus urophylla* e 43% para *Eucalyptus camaldulesis*, ambos colados com uréia-formaldeído.

Por meio da análise dos dados foi possível observar que a colagem dos resíduos de madeira de *Eucalyptus* sp. apresentou baixa qualidade da junta colada, com menores valores de falha na madeira, quando comparada a outros estudos.

#### 4.1.3. Desdobramento da densidade em cada classe de gramatura

Por meio de análise de variância foi possível observar significância no desdobramento da densidade da madeira e as gramaturas de 150 e 200 g.m<sup>-2</sup> do adesivo nos valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola (Tabela A.3, Apêndice A) e na falha da madeira (Tabela A.4 Apêndice A).

O desdobramento das densidades da madeira em cada gramatura do adesivo foi realizado e determinada a média do cisalhamento na linha de cola para cada tratamento. Na Tabela 5 estão representados os valores médios de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola.

Tabela 5: Resistência ao cisalhamento na linha de cola (MPa)

| Densidade | Gramaturas (g.m <sup>-2</sup> ) |            |            |            |            |            |
|-----------|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|           | 150<br>(1)                      | 200<br>(2) | 250<br>(3) | 300<br>(4) | 350<br>(5) | 400<br>(6) |
| I         | 11,71 a                         | 8,36 a     | 9,17 a     | 10,49 a    | 13,66 a    | 4,14 a     |
|           | (26,48)                         | (33,46)    | (34,34)    | (28,37)    | (34,38)    | (29,62)    |
| II        | 4,11 b                          | 4,09 b     | 7,44 a     | 8,44 a     | 13,12 a    | 4,17 a     |
|           | (63,98)                         | (35,92)    | (31,45)    | (37,44)    | (38,75)    | (29,17)    |

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de significância.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%).

Os maiores valores de cisalhamento foram observados para ambas as classes de densidade na gramatura de 350 g.m<sup>-2</sup>. Nas gramaturas de 150 e 200 g.m<sup>-2</sup> a classe de densidade I apresentou valores de cisalhamento superiores aos apresentados pela classe de densidade II. Para os valores de gramatura referentes

a 250, 300, 350 e 400 g.m<sup>-2</sup> as médias dos valores de cisalhamento se apresentaram estatisticamente sem variação para ambas as classes.

Na Tabela são representados os valores médios de falha na madeira para os resíduos de *Eucalyptus*.

Tabela 6: Falha na madeira de resíduos de *Eucalyptus* (%)

| Densidade | Gramaturas |            |            |            |            |            |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|           | 150<br>(1) | 200<br>(2) | 250<br>(3) | 300<br>(4) | 350<br>(5) | 400<br>(6) |
| I         | 53,76 a    | 51,63 a    | 31,12 a    | 60,67 a    | 41,34 a    | 17,93 a    |
|           | (14,34)    | (6,40)     | (19,43)    | (9,63)     | (13,39)    | (40,51)    |
| II        | 3,47 b     | 2,33 b     | 15,52 a    | 21,12 b    | 38,90 a    | 19,46 a    |
|           | (63,52)    | (73,96)    | (33,78)    | (39,86)    | (13,35)    | (34,88)    |

Médias seguidas da mesma não diferem a 5% de significância.

Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação (%).

O maior valor de falha na madeira para a classe de densidade I foi observado na gramatura de 300 g.m<sup>-2</sup> e para a classe de densidade II este valor foi observado na gramatura de 350 g.m<sup>-2</sup>. Nas gramaturas de 150, 200 e 300 g.m<sup>-2</sup> a classe de densidade I apresentou valores de falha na madeira superiores aos apresentados pela classe de densidade II. Para os valores de gramatura referentes a 250, 350 e 400 g.m<sup>-2</sup> as médias dos valores de falha na madeira se apresentaram estatisticamente sem diferenciação.

#### 4.2. Análise da gramatura em função da densidade

Por meio de análise de variância foi possível observar significância no desdobramento da gramatura do adesivo e as densidades da madeira nos valores de resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola (Tabela A.5, Apêndice A) para ambas as classes de densidade e na falha na madeira (Tabela A.5, Apêndice A) para a classe de densidade II.

O comportamento da resistência ao cisalhamento por compressão na linha de cola em função do desdobramento das gramaturas na densidade é ilustrado na Figura 10 para a classe de densidade I e na Figura 11 para a classe de densidade II.

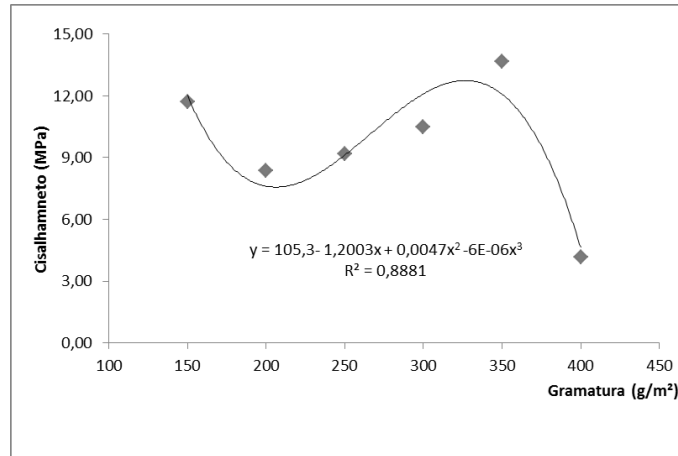


Figura 10 – Comportamento da resistência ao cisalhamento na linha de cola para a classe de densidade I.

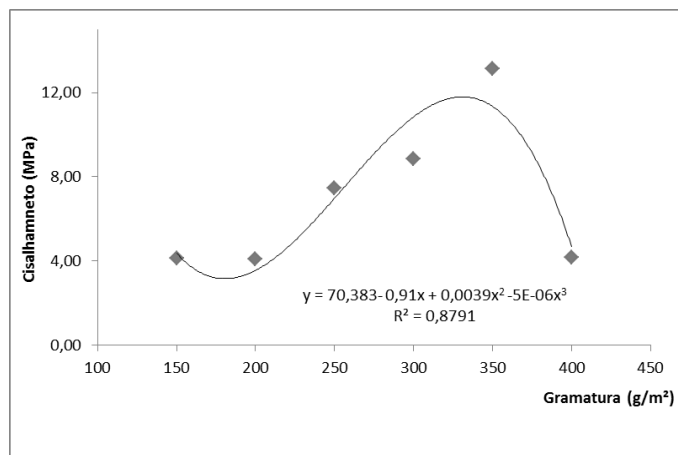


Figura 11 – Comportamento da resistência ao cisalhamento na linha de cola para a classe de densidade II.

Pela análise do comportamento do cisalhamento na linha de cola em função da gramatura do adesivo observou-se que na gramatura de 350 g.m<sup>-2</sup> foram encontrados os maiores valores de resistência.

Para a gramatura de 150 g.m<sup>-2</sup> o comportamento da resistência se diferiu entre as classes de densidade; na classe I houve redução da resistência quando se aumentou a gramatura para 200 g.m<sup>-2</sup> e a classe II apresentou comportamento

inverso, com aumento da resistência quando se aumentou a gramatura para 200 g.m<sup>-2</sup>.

Nas gramaturas de 200, 250, 300, 350 e 400 g.m<sup>-2</sup> o comportamento das classes de densidade se apresentou semelhante, com aumento da resistência quando aumentada a gramatura até o valor de 350 g.m<sup>-2</sup> e decréscimo desta com o aumento da gramatura de 350 g.m<sup>-2</sup> para 400 g.m<sup>-2</sup>.

O comportamento da falha em função do desdobramento das gramaturas na densidade é ilustrado na Figura 12 para a classe de densidade II, uma vez que não foi significativo o desdobramento da falha da madeira para a classe I.

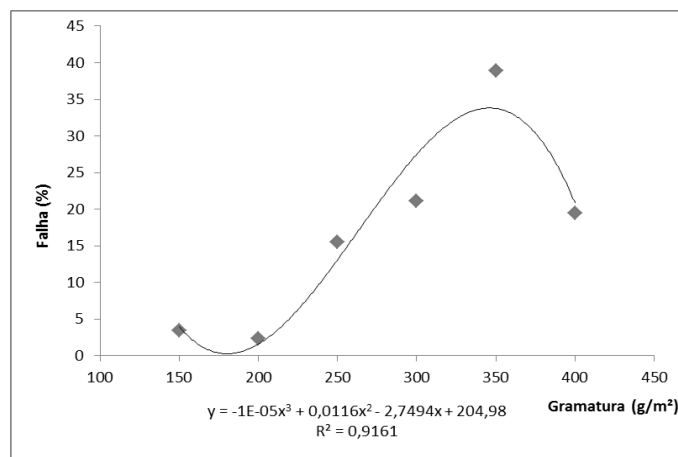


Figura 12 – Comportamento da falha na madeira em função da classe de densidade II.

Por meio da análise do comportamento da falha na madeira em função da gramatura do adesivo é possível observar que na gramatura de 350 g.m<sup>-2</sup> foram encontrados os maiores valores de falha na madeira.

Assim como o comportamento da resistência na classe de densidade II, a falha na madeira apresentou acréscimo quando aumentada a gramatura e diminuição no aumento da gramatura de 350 g.m<sup>-2</sup> para a de 400 g.m<sup>-2</sup>.

## 5. CONCLUSÕES

- A resistência ao cisalhamento na linha de cola e a falha na madeira para juntas formadas por madeiras de resíduo do eucalipto com densidade igual ou inferior a  $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$  (classe I) foram maiores que para as formadas por madeiras com densidade superior a  $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$  (classe II).
- Os valores mínimos de cisalhamento de acordo com a ASTM d-5751 na linha de cola foram alcançados apenas em juntas formadas por madeiras que apresentavam densidade igual ou inferior a  $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$  (classe I).
- Os valores mínimos de falha na madeira de acordo com a ASTM D-5751 não foram alcançados por ambas as classes de densidade.
- Na gramatura do adesivo de  $350 \text{ g.m}^{-2}$  foram apresentados os melhores resultados de resistência ao cisalhamento da junta colada para ambas as classes de densidade.
- Na gramatura do adesivo de  $350 \text{ g.m}^{-2}$  foram apresentados os melhores resultados quanto a falha na madeira para madeiras que apresentavam densidade superior a  $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$  (classe II).
- Madeiras com densidade igual ou inferior a  $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$  (classe I) apresentaram maior qualidade da junta colada, com maiores valores de resistência ao cisalhamento e falha na madeira.
- A heterogeneidade dos resíduos quanto a espécie, idade da árvore, local de plantio, posição de retirada das peças e anatomia e química do material influenciou nas diferenças dos resultados obtidos, sendo que a homogeneidade dos resíduos pode melhorar a qualidade das juntas coladas.
- O emprego deste material permite a empresa a redução dos resíduos gerados e geração de lucro, como uso em interiores de portas; formação de peças para a produção de móveis, a exemplo de assentos de bancos e cadeiras e tampos de mesas; e formação de painéis decorativos.

## 6. REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, C. P.; VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; KHOURY JUNIOR, J. K. Quantificação da falha na madeira em juntas coladas utilizando técnicas de visão artificial. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.1, p. 71-78, 2003.

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

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S. Adesivos e adesão. In: **Painéis de madeira reconstituída**. Eds.: IWAKIRI, S. Curitiba: FUPEF, 2005, p.13 - 42, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D-5751: **Adhesives Used for Laminate Joints in Nonstructural Lumber Products**. 2005. 11p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D-905: **Standart test for strenght properties of adhesive bonds in shear by compression loading**. 2008. 5p.

AMPARADO, K. F.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F.. Caracterização em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith nas condições verde e seca. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 52, n.1, p 71-76, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE/ABIMCI. **Artigo Técnico N° 7: Adesivos**. Fórum Nacional das Atividades Florestais. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico 2011**: ano base 2010. Brasília, DF: ABRAF, 136p., 2010.

BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, ano 4, n. 26, p. 34-39, 1995.

BULIGON, E. A. **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro**. 2011, 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

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.; 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**, Viçosa, v.28, n.5, p.715-724, 2004.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A. Adesivos e sua importância na indústria madeireira. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Eds.: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Vitória: Gráfica Aquarius, p.99-128, 2007.

CARNEIRO, A. C. O. et. al. 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.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R. **Comunicado técnico 83**: produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais. Embrapa Florestas, Paraná. 2010.

DUNKY, M. Chemistry of Adhesives. In: DUNKY, M.; PIZZI, T.; LEEMPUT, M. V. **Wood adhesion and glued products**. Dynea: COST Action E13, p.03-37, 2002.

GONÇALVES, M. T. T.; RUFFINO, R. T. **Aproveitamento do Resíduo Gerado na Indústria Madeireira**. III EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Anais. USP – EESC. São Carlos, SP. 1989. p 129 à 140.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Utilização de extensores alternativos na produção de compensados multilaminados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.77-83, 2000.

KLITZKE, R. J. Secagem de madeira. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Eds.: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p.271-341, 2007.

LEITE, A. A. L.; LEITE, C. A.; NOGUEIRA, V. F. Padronização da técnica utilizada no preparo de resina á base de uréia-formaldeído para as aulas práticas de química. **Anuário da produção acadêmica docente**, v.2, n.3, p.31-40, 2008.

LIMA, E. G. ; SILVA, D. A. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Araçongas-PR. **Revista Floresta**, v.35, n.1, p.105-116., 2005.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.36, n.77, p.73-77, 2008.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PLC)**, 2011, 114p. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília. 2011.



MOTTA, J. P. **Propriedades tecnológicas da madeira de tectona grandis l.f. Proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais**, 2010, 125p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria v.8, n.1,p.67-76, 1998.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades físicas e mecânicas da madeira. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Eds.: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Vitória: Gráfica Aquarius, p.129-163, 2007.

PASSOS, O. S.; LOBO, J. B. A.; VENTURA, O. S. P.; FUJIYAMA. R. T. Estudos preliminares de juntas de madeira-madeira coladas com material polimérico: Superfície de fratura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS. Anais... 17; CBECM/PR. 2006.

PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S., ABRAHÃO, C. P.; BRAZ, R. L. Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, v. 14, n. 3, p.251-258, 2008.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Deckker, 1994. 680 p.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA. São Paulo, 1995. **Anais...** Piracicaba, São Paulo: IPEF, p.50-58, 1995.

REMADE. Os conceitos de qualidade de uso múltiplo para madeira de eucalipto. **Revista da Madeira**, n. 75, ano 13, 2003.

ROCHA, M. P. Técnicas de serrarias. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Editora Suprema, 2007. p. 209-270.

SELLERS, T. Adhesives in wood industry. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.599-614.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. **Florestas do Brasil em resumo – 2010: dados de 2005-2010**. Brasília: Ministério do Meio ambiente. 2010.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia Industrial para a produção de Materiais ecológicos: O exemplo do resíduo de madeira**. 2005, 159p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2005.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p.637-644, 2006.

VITAL, B. R. **Planejamento e operações de serrarias**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. 211 p.

ZENID, G. J. Madeiras e suas características. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Eds.: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p.125-158, 2007.

## **APÊNDICE**

## A – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DAS PROPRIEDADES AVALIADAS

Tabela A.1: Análise de variância da interação entre densidade da madeira e gramatura do adesivo ao cisalhamento por compressão na linha de cola.

| FV          | GL | SQ         | QM        | Fc     | Pr > Fc |
|-------------|----|------------|-----------|--------|---------|
| Densidade   | 1  | 34534,505  | 34534,505 | 35,380 | 0,0000* |
| Gramatura   | 5  | 164055,088 | 32811,017 | 33,614 | 0,0000* |
| Dens x Gram | 5  | 33691,088  | 6738,217  | 6,903  | 0,0000* |

\* Significativo a 5%.

Tabela A.2: Análise de variância da interação entre densidade da madeira e gramatura do adesivo nos valores de falha na madeira.

| FV          | GL | SQ     | QM     | Fc     | Pr > Fc |
|-------------|----|--------|--------|--------|---------|
| Densidade   | 1  | 17,490 | 17,490 | 39,234 | 0,0000* |
| Gramatura   | 5  | 9,403  | 1,880  | 4,219  | 0,0012* |
| Dens x Gram | 5  | 16,486 | 3,297  | 7,397  | 0,0000* |

\* Significativo a 5%.

Tabela A.3: Análise de variância do desdobramento da densidade dentro de cada nível de gramatura para a resistência ao cisalhamento na linha de cola.

| FV           | GL | SQ        | QM        | Fc     | Pr > Fc              |
|--------------|----|-----------|-----------|--------|----------------------|
| Densidade/G1 | 1  | 48050,000 | 48050,000 | 49,227 | 0,0000*              |
| Densidade/G2 | 1  | 15181,531 | 15181,531 | 15,553 | 0,0001*              |
| Densidade/G3 | 1  | 2485,125  | 2485,125  | 2,546  | 0,1123 <sup>ns</sup> |
| Densidade/G4 | 1  | 2261,281  | 2261,281  | 2,317  | 0,1298 <sup>ns</sup> |
| Densidade/G5 | 1  | 247,531   | 247,531   | 0,254  | 0,6152 <sup>ns</sup> |
| Densidade/G6 | 1  | 0,125     | 0,125     | 0,000  | 0,9910 <sup>ns</sup> |

\* Significativo a 5%.

ns - Não significativo a 5%.

Tabela A.4: Análise de variância do desdobramento da densidade dentro de cada nível de gramatura para a falha na madeira.

| FV           | GL | SQ     | QM     | Fc     | Pr > Fc              |
|--------------|----|--------|--------|--------|----------------------|
| Densidade/G1 | 1  | 13,755 | 13,755 | 30,855 | 0,0000*              |
| Densidade/G2 | 1  | 17,082 | 17,082 | 38,317 | 0,0000*              |
| Densidade/G3 | 1  | 0,921  | 0,921  | 2,067  | 0,1523 <sup>ns</sup> |
| Densidade/G4 | 1  | 2,199  | 2,199  | 4,934  | 0,0276*              |
| Densidade/G5 | 1  | 0,005  | 0,005  | 0,013  | 0,9095 <sup>ns</sup> |
| Densidade/G6 | 1  | 0,013  | 0,013  | 0,031  | 0,8615 <sup>ns</sup> |

\* Significativo a 5%.

ns - Não significativo a 5%.

Tabela A.5: Análise de variância do desdobramento da gramatura dentro de cada nível de densidade para a resistência ao cisalhamento na linha de cola.

| FV            | GL | SQ         | QM        | Fc     | Pr > Fc |
|---------------|----|------------|-----------|--------|---------|
| Gramatura/DI  | 5  | 88273,877  | 17654,735 | 18,087 | 0,0000* |
| Gramatura/DII | 5  | 109472,500 | 21894,500 | 22,431 | 0,0000* |

\* Significativo a 5%.

Tabela A.6: Análise de variância do desdobramento da gramatura dentro de cada nível de densidade para a falha na madeira.

| FV            | GL | SQ     | QM    | Fc    | Pr > Fc              |
|---------------|----|--------|-------|-------|----------------------|
| Gramatura/DI  | 5  | 4,066  | 0,813 | 1,824 | 0,1100 <sup>ns</sup> |
| Gramatura/DII | 5  | 21,825 | 4,365 | 9,791 | 0,0000*              |

\* Significativo a 5%.

ns - Não significativo a 5%.