



**ALAN PEREIRA VILELA**

**UTILIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU PARA  
PRODUÇÃO DE PAINÉIS MDP E CIMENTO-  
MADEIRA**

**LAVRAS - MG**

**2016**

**ALAN PEREIRA VILELA**

**UTILIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU PARA PRODUÇÃO DE  
PAINÉIS MDP E CIMENTO-MADEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

Profa. Dra. Maria Alice Martins

Coorientadora

**LAVRAS - MG**

**2016**

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

Vilela, Alan Pereira.

Utilização da borracha de pneu para produção de painéis MDP  
e cimento-madeira / Alan Pereira Vilela. – Lavras : UFLA, 2016.  
104 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2016.

Orientador: Rafael Farinassi Mendes.  
Bibliografia.

1. Particulados. 2. Resíduo. 3. Borracha de pneu. 4. Isolamento  
térmico. 5. Propriedades físicas e mecânicas. I. Universidade  
Federal de Lavras. II. Título.

**ALAN PEREIRA VILELA**

**UTILIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU PARA PRODUÇÃO DE  
PAINÉIS MDP E CIMENTO-MADEIRA**

**USE OF TIRE RUBBER FOR MDP AND WOOD-CEMENT PANELS  
PRODUCTION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de agosto de 2016.

Profa. Dra. Lívia Elisabeth Vasconcellos de Siqueira Brandão UFLA

Prof. Dr. Mario Guimarães Junior CEFET-MG

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2016**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida e pelas oportunidades a mim concedidas.

À minha querida mãe, Gislaine, que me guia e protege todos os dias.

Ao meu pai, Donizete, pelo amor, incentivo e por proporcionar meios para conseguir meus objetivos.

À minha irmã, Ana Carolina, pelo carinho e amizade de sempre.

À minha esposa, Paula, pelo amor, companheirismo e paciência.

Ao meu filho, Pedro, pelo carinho e amor incondicional.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais (PPGBIOMAT) pela oportunidade de realizar o mestrado.

A Capes, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor e amigo, Dr. Rafael Farinassi Mendes, pela orientação, amizade, exemplo de profissional e por todo conhecimento repassado nestes anos de convivência.

À professora, Dr.<sup>a</sup> Maria Alice Martins, pela amizade, co-orientação e ajuda na realização dos ensaios de caracterização da borracha de pneu.

Ao professor, Dr. Lourival Marin Mendes, pelo companheirismo e ensinamentos.

Aos amigos e funcionários da UEPAM. Em especial, Danillo, Gustavo, Ney, Camila, Tamires e Arlei, pelo companheirismo e pelos momentos de descontração vivenciados.

Aos meus familiares e amigos, pelas alegrias que passamos juntos.

Enfim, meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do teor da borracha de pneu e do tratamento corona sobre as propriedades físico-mecânicas de painéis MDP e cimento-madeira. Para a produção dos painéis foi utilizada a madeira de *Pinus oocarpa* em associação com a borracha de pneu, após tratamento corona. O tratamento corona foi aplicado nas partículas de borracha, por um período de 20 minutos. As proporções utilizadas para a substituição da madeira pela borracha de pneu foram de 0, 5, 10, 15 e 20%. Os painéis MDP foram confeccionados com densidade nominal de 0,7 g/cm<sup>3</sup>, relação face/miolo/face de 20/60/20, com teores de 11 e 7% de adesivo ureia-formaldeído (base massa seca das partículas) para as faces e miolo, respectivamente, a temperatura de prensagem foi de 200°C e pressão de 4 MPa por um período de 8 minutos. Os painéis cimento-madeira foram produzidos com densidade nominal de 1,2 g/cm<sup>3</sup>, utilizando cimento do tipo CPV ARI. As proporções utilizadas de madeira/cimento e água/cimento foram de 1/2,75 e 1/2,5, respectivamente. Cerca de 4% de aditivo (cloreto de cálcio), em relação ao cimento, foi acrescentado aos painéis, que em seguida, foram prensados a 4 MPa à temperatura ambiente. A substituição de 5% de partículas de madeira por partículas de borracha de pneu promoveu melhorias das propriedades físicas, mecânicas e de isolamento térmico, de ambos os painéis produzidos.

**Palavras-chave:** Particulados. Resíduo. Borracha de pneu. Isolamento térmico. Propriedades físicas e mecânicas.

## ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of the tire rubber content and corona treatment on the physico-mechanical properties of MDP and cement-wood. The corona treatment was applied to the rubber particles for a period of 20 minutes. The proportions employed for the substitution of wood by tire rubber were 0, 5, 10, 15 and 20%. The MDP panels were produced with nominal density of 0,7 g/cm<sup>3</sup>, relation face/core/face of 20/60/20, with levels of 11 and 7% urea-formaldehyde adhesive (dry weight basis of particles) for the faces and core, respectively, the pressing temperature was 200 ° C and pressure of 4 MPa for a period of 8 minutes. The cement-wood panels were manufactured with a nominal density of 1,2 g/cm<sup>3</sup>, using cement type CPV ARI. The proportions used in wood/cement and water/cement was 1/2,75 and 1/2,5; respectively. About 4% of additive (calcium chloride), relative to the cement, were added to the panels which were then pressed at 4 MPa at room temperature. The use of 5% substitution of wood particles by tire rubber particles, for the production of panels wood-cement and MDP, provided improved physical, mechanical and thermal isolation of both panels types.

**Keywords:** Particleboards. Waste. Tire rubber. Thermal insulation and physical and mechanical properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Painéis de madeira reconstituída. ....	17
Figura 2 - Estrutura de um pneu radial (veículo passeio). ....	26
Figura 3 - Equipamento Corona Plasma Tech (PT). ....	31
Figura 4 - Sequência de produção dos painéis cimento-madeira. (A) Pesagem dos materiais. (B) Mistura dos materiais na betoneira. (C) Formação do colchão. (D) Prensagem a frio por 24 horas. ....	38
Figura 5 - Sequência de produção dos painéis MDP. (A) Pesagem dos materiais. (B) Aplicação do adesivo. (C) Formação do colchão na prensa manual. (D) Colchão formado. (E) Prensagem a quente. ....	39
Figura 6 - Método da coluna fracionada modificada. ....	42
Figura 7 - Esquema do equipamento utilizado para teste de isolamento térmico. ....	42
Figura 8 - Espectros de FTIR da borracha de pneu sem tratamento e após os tratamentos. ....	46
Figura 9 - Espectros de FTIR da borracha de pneu sem tratamento e após os tratamentos na região de 3200 à 2600 $\text{cm}^{-1}$ . ....	47
Figura 10 - Curva de TG para a borracha de pneu sem tratamento e tratadas através do tratamento corona nos intervalos de 30°C a 700°C. ....	48
Figura 11 - Curva de TG para a borracha de pneu sem tratamento e tratadas através do tratamento corona nos intervalos de 300°C a 500°C. ....	49

Figura 12 - Curva de DTG para a borracha de pneu sem tratamento e tratadas através do tratamento corona nos intervalos de 30°C a 700°C.....	49
Figura 13 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu sem tratamento corona. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).....	52
Figura 14 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu após o tratamento corona durante 5 minutos. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).....	53
Figura 15 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu após o tratamento corona durante 10 minutos. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).....	54
Figura 16 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu após o tratamento corona durante 15 minutos. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).....	55
Figura 17 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu após o tratamento corona durante 20 minutos. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).....	56
Figura 18 - Absorção de água após 2 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira. ....	59
Figura 19 - Absorção de água após 24 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira. ....	60
Figura 20 - Inchamento em espessura após 2 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira. ....	61

Figura 21 - Inchamento em espessura após 24 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira. ....	62
Figura 22 - Micrografia do painel cimento-madeira com adição de 5% de partículas de borracha de pneu. ....	63
Figura 23 - Micrografia eletrônica de varredura do painel cimento-madeira com adição de 20% de partículas de borracha de pneu. ....	65
Figura 24 - Propriedade compressão paralela nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira. ....	66
Figura 25 - Propriedade ligação interna nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira. ....	67
Figura 26 - Micrografia do painel cimento-madeira (A) 5% de partículas de borracha de pneu; e (B) 20% de partículas de borracha de pneu. ....	69
Figura 27 - Propriedade módulo de ruptura à flexão estática nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira. ....	71
Figura 28 - Propriedade módulo de elasticidade à flexão estática nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira. ....	72
Figura 29 - Isolamento térmico dos painéis cimento-madeira com adição de borracha. ....	74
Figura 30 - Absorção de água após 2 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para produção dos painéis MDP. ....	78

Figura 31 - Absorção de água após 24 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para produção dos painéis MDP. ....	78
Figura 32 - Micrografia eletrônica de varredura do painel MDP com 20% de partículas de borracha de pneu .....	79
Figura 33 - Inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis MDP.....	81
Figura 34 - Inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis MDP.....	81
Figura 35 - Propriedade ligação interna nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis MDP.....	84
Figura 36 - Micrografia do painel MDP com adição de 5% de borracha partículas de borracha de pneu. ....	85
Figura 37 - Micrografia eletrônica de varredura do painel MDP com adição de 20% de borracha partículas de borracha de pneu.....	86
Figura 38 - Propriedade módulo de ruptura à flexão estática nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção de painéis MDP. ....	88
Figura 39 - Propriedade módulo de ruptura à flexão estática nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção de painéis MDP. ....	89
Figura 40 - Isolamento térmico dos painéis MDP com adição de borracha.....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores que afetam a qualidade dos painéis. ....	21
Tabela 2 - Plano Experimental. ....	36
Tabela 3 - Parâmetros para cálculo dos painéis cimento-madeira- borracha. ....	37
Tabela 4 - Ensaios avaliados e normas de execução. ....	40
Tabela 5 - Perda de massa (M%) e faixa de temperatura (T), na análise de TG. ....	51
Tabela 6 - Valores médios de densidade e teor de umidade dos painéis cimento-madeira. ....	58
Tabela 7 - Temperaturas dos painéis cimento-madeira registradas pelos sensores ....	75
Tabela 8 - Valores médios de densidade aparente, razão de compactação e teor de umidade dos painéis MDP. ....	76
Tabela 9 - Temperaturas dos painéis MDP registradas pelos sensores. ....	92

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Painéis de madeira reconstituída</b> .....	17
<b>2.1.1</b>	<b>Painéis MDP “<i>Medium Density Particleboard</i>”</b> .....	18
<b>2.1.2</b>	<b>Painéis Cimento-Madeira</b> .....	19
<b>2.1.3</b>	<b>Fatores que afetam a qualidade dos painéis</b> .....	21
<b>2.1.3.1</b>	<b>Fatores inerentes à matéria-prima</b> .....	22
<b>2.1.3.2</b>	<b>Fatores inerentes ao processo</b> .....	23
<b>2.2</b>	<b>Pneus e seus resíduos</b> .....	24
<b>2.2.1</b>	<b>Resíduos de pneus na fabricação de painéis</b> .....	27
<b>2.3</b>	<b>Tratamento Corona</b> .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
<b>3.1</b>	<b>Tratamento e caracterização da borracha de pneu</b> .....	31
<b>3.1.1</b>	<b>Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)</b> .....	32
<b>3.1.2</b>	<b>Análise por termogravimetria (TG)</b> .....	33
<b>3.1.3</b>	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</b> .....	33
<b>3.2</b>	<b>Processamento da madeira</b> .....	33
<b>3.3</b>	<b>Avaliação do adesivo</b> .....	34
<b>3.4</b>	<b>Plano experimental para a produção dos painéis</b> .....	35
<b>3.5</b>	<b>Produção dos painéis Cimento-Madeira</b> .....	36
<b>3.6</b>	<b>Produção dos painéis MDP</b> .....	38
<b>3.7</b>	<b>Retirada dos corpos-de-prova e avaliação das propriedades dos painéis</b> .....	40
<b>3.8</b>	<b>Propriedades de isolamento térmico</b> .....	41
<b>3.9</b>	<b>Análise dos dados</b> .....	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	45
<b>4.1</b>	<b>Caracterização das partículas da borracha de pneu</b> .....	45
<b>4.1.1</b>	<b>Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)</b> .....	45
<b>4.1.2</b>	<b>Análise Termogravimétrica (TG)</b> .....	48
<b>4.1.3</b>	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</b> .....	51
<b>4.2</b>	<b>Propriedades físicas dos painéis cimento-madeira</b> .....	57
<b>4.2.1</b>	<b>Densidade aparente e teor de umidade</b> .....	57
<b>4.2.2</b>	<b>Absorção de água e inchamento em espessura</b> .....	59
<b>4.3</b>	<b>Propriedades mecânicas dos painéis cimento-madeira</b> .....	66
<b>4.3.1</b>	<b>Compressão paralela e ligação interna</b> .....	66
<b>4.3.2</b>	<b>Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática</b> .....	70

4.4	Propriedade isolamento térmico dos painéis cimento-madeira .....	74
4.5	Propriedades físicas dos painéis MDP “ <i>Medium Density Particleboard</i> ” .....	76
4.5.1	Densidade aparente, razão de compactação e teor de umidade.....	76
4.5.2	Absorção de água e inchamento em espessura .....	77
4.6	Propriedades mecânicas dos painéis MDP “ <i>Medium Density Particleboard</i> ” .....	83
4.6.1	Ligação interna.....	83
4.6.2	Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática .....	87
4.7	Propriedade de isolamento térmico dos painéis MDP “ <i>Medium Density Particleboard</i> ” .....	91
5	CONCLUSÕES .....	93
	REFERÊNCIAS .....	95



## 1 INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira reconstituída são produzidos com a madeira em diferentes estágios de desagregação, que são unidas por adesivos ou outros tipos de aglomerantes como o cimento e se consolidam através da aplicação de temperatura e pressão adequada (IWAKIRI, 2005). Dentre os diferentes tipos de painéis, se destacam o MDP “Medium Density Particleboard” e o cimento-madeira, sendo o primeiro, utilizado pelo mercado moveleiro e o segundo, pela construção civil (forros, divisórias, vedação etc).

Com o crescimento dos setores moveleiros e da construção civil, o consumo desses painéis vem aumentando, favorecendo, por conseguinte, o aumento da demanda por matéria-prima, o que torna necessário, não apenas a ampliação de áreas de plantios com espécies atualmente utilizadas do gênero pinus e eucalipto, mas também a busca de novas opções de matéria-prima (FARRAPO et al., 2014; MENDES et al., 2011).

A busca de matéria-prima, aliada ao conceito de desenvolvimento sustentável pelos setores produtivos, abriu espaço nos meios de pesquisa para que cientistas buscassem alternativas no aproveitamento de resíduos industriais, haja vista a preocupação mundial com a geração, manuseio e armazenamento de resíduos sólidos (CASAGRANDE et al., 2008; MODESTO et al., 2003).

Dentre os resíduos sólidos, as maiores preocupações são com os resíduos de pneus, pois o aumento desenfreado desse produto, proporcionado pela elevação na sua procura e também pela sua curta vida útil, tem colaborado sobremaneira para o descarte incorreto deste material na natureza. Neste sentido, a busca pelo desenvolvimento de métodos de reciclagem para este tipo de resíduo tem sido cada vez mais necessária (AYRILMIS; LAUFENBERG; WINANDY, 2009). Só no Brasil são produzidos cerca de 40 milhões de pneus por ano e quase metade dessa produção é descartada nesse período.

Os resíduos de pneus são resíduos sólidos que ocupam um considerável espaço físico no meio ambiente, além de apresentar difícil coleta, armazenagem e compactação. Dessa forma, e grande o número de pneus armazenados em locais abertos, os quais podem servir de criadouros para mosquitos *Aedes-Aegypti*, transmissores de doenças como a dengue, zika e chikungunya (GALLE et al., 2010).

A fabricação de produtos com a utilização de resíduos da reciclagem de pneus ainda é pouco empregada no mercado atual. Uma das primeiras formas de reutilização de pneus foi para geração de energia através de sua queima (NOHARA et al., 2005). Com o avanço tecnológico, surgiram novas aplicações, como a mistura com o asfalto, considerada nos Estados Unidos como uma das melhores soluções para o problema do descarte de milhões de pneus por ano (LIMA, 2008). Porém, mesmo com algumas soluções adequadas para a destinação final dos pneus, a quantidade desse material no meio ambiente ainda é elevada, sendo necessário o desenvolvimento de novos materiais a partir do aproveitamento da borracha, seu principal elemento composicional. A utilização dos resíduos da borracha de pneu para a produção de painéis à base de madeira pode contribuir para atender a demanda de matéria-prima desse produto, agregar valor a um material que hoje é descartado de maneira inadequada na natureza, além de proporcionar diferentes propriedades ao mesmo.

Nesse contexto, objetivou-se no presente trabalho, avaliar o efeito do teor de incorporação da borracha de pneu e do tratamento corona sobre as propriedades físico-mecânicas de painéis MDP e cimento-madeira.

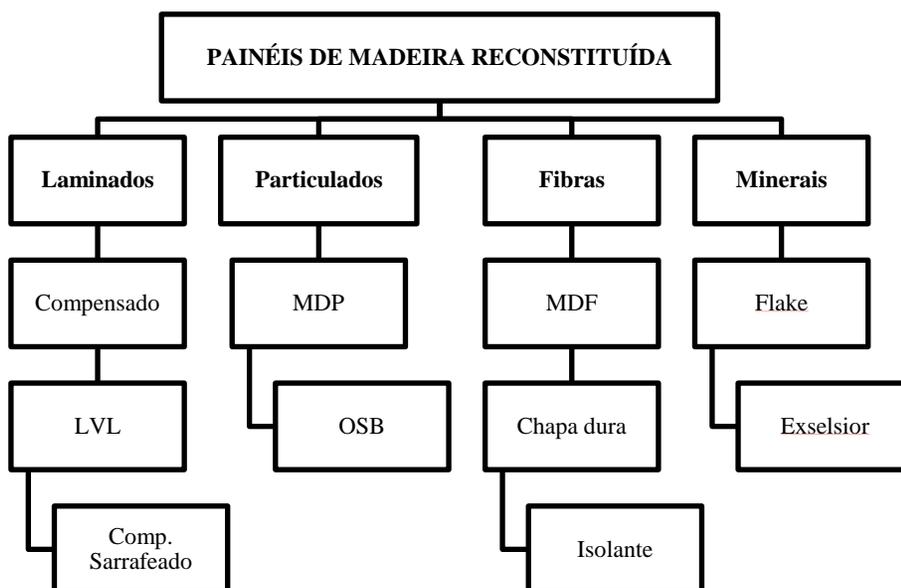
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Painéis de madeira reconstituída

Os painéis de madeira reconstituída surgiram como forma de viabilizar o uso de uma maior porcentagem da madeira sólida. O uso desses tipos de painéis nas últimas décadas tem ganhado grande destaque na indústria moveleira e na construção civil (PEDROSA et al., 2005). As vantagens da utilização desse produto em relação à madeira maciça se concentram em: diminuição da anisotropia, utilização da madeira de reflorestamento de rápido crescimento, melhor rendimento em relação ao volume das toras, menor variação dimensional em relação à madeira, dentre outras vantagens.

A Figura 1 apresenta os principais tipos de painéis de madeira reconstituída.

Figura 1 - Painéis de madeira reconstituída.



Fonte: Iwakiri (2005).

A partir da metade da década de 1990, os painéis de madeira reconstituída passaram a ter o aumento do seu consumo no Brasil, pelo fato de que, os fabricantes de aglomerados e painéis de fibras investirem na ampliação e modernização de suas plantas, originando assim produtos de melhor qualidade (MATTOS et al., 2008).

De um modo geral, os painéis de madeira reconstituída são compósitos obtidos através do processo de redução da madeira em partículas ou fibras e posteriormente montagem dos painéis (IWAKIRI, 2005). Durante o processamento da madeira para a produção de painéis, as propriedades físicas e mecânicas podem ser controladas e o produto final pode superar as propriedades da madeira maciça (BODIG; JAYNE, 1993).

Pelo fato de ter propriedades desejáveis, o consumo de painéis de madeira reconstituída foi crescente em todo o mundo na última década (BASSO et al., 2014). Em 2014, a produção mundial total alcançou aproximadamente 387 milhões de m<sup>3</sup> (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2016), com destaque para os painéis de partículas (aglomerados e OSB), compensados e MDF.

### **2.1.1 Painéis MDP “*Medium Density Particleboard*”**

Dentre os painéis de madeira reconstituída, destacam-se os painéis de partículas de média densidade, mais conhecido como MDP. Segundo Mesquita et al. (2015) esse tipo de painel é uma evolução dos painéis aglomerados, pois possuem três camadas, sendo duas de partículas de menor granulometria nas faces e uma camada com partículas maiores no miolo do painel, sendo aglutinadas e compactadas entre si com adesivo sintético através da ação conjunta de pressão e calor. De acordo com Mattos et al. (2008), o principal uso do painel aglomerado/MDP é na fabricação de móveis retilíneos (tampos de

mesas, laterais de armários e estantes e divisórias) e na construção civil, como componentes estruturais de divisórias, pisos e coberturas de edificações.

De acordo com os dados da FAO (2016), a produção mundial de painéis de madeira no ano de 2014 foi de aproximadamente 387 milhões de m<sup>3</sup>, sendo que 110 milhões desse total está ligado à produção de painéis particulados. Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2015) o consumo dos painéis MDP no Brasil no ano de 2014 foi de cerca de 3,2 milhões de m<sup>3</sup>.

Com relação às propriedades físico-mecânicas dos painéis MDP, vários fatores são essenciais para um produto final adequado, dentre eles destacam-se a umidade das partículas, tipo e teor de adesivos, densidade dos painéis, razão de compactação, temperatura e pressão na hora da prensagem. Outros fatores que contribuem para as propriedades dos painéis estão ligados aos diferentes tipos de madeira, densidade, geometria das partículas, características anatômicas e químicas, dentre outras.

### **2.1.2 Painéis Cimento-Madeira**

Os painéis cimento-madeira surgiram na Europa, como elemento construtivo, no final dos anos 70 (MATOSKI; IWAKIRI, 2007). A produção desse material é feita a partir da mistura de partículas lignocelulósicas, principalmente de madeira, aglutinante mineral (cimento), água e diferentes porcentagens de aditivos químicos ideais para cada tipo de aplicação dos painéis, como forros, divisórias, paredes, dentre outras.

O painel cimento-madeira tem apresentado boa aceitação no mercado, pois se busca através dessa mistura reunir propriedades desejáveis da madeira (boa resistência à tração e isolamento térmico) e do cimento (boa resistência à compressão) (COATES, 1994). O uso desses tipos de painéis permite a construção mais rápida, especialmente quando aplicado de uma forma modulada em canteiros de obras. Algumas das muitas vantagens na utilização dos painéis

como elementos de construção compreendem precisão geométrica, variedade de tamanhos, forma de acabamento e fácil instalação (MATOSKI et al., 2013).

Wei e Bunichiro (2001) observaram que, no mercado da construção civil, materiais como tijolo e concreto em determinadas situações podem ser substituídos pelos painéis, obtendo assim, construções mais leves, como é o caso da utilização em paredes, divisórias, forros, etc. De acordo com Krüger et al. (2009), a madeira interfere diretamente nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, além de contribuir de forma positiva para o isolamento térmico e acústico do ambiente.

Para a produção dos painéis cimento-madeira, Latorraca e Iwakiri (2001), destacam que as espécies de coníferas são as madeiras mais empregadas como matéria-prima na produção de painéis, pois apresentam propriedades, principalmente químicas, compatíveis, que podem ser combinadas com o cimento sem afetar a cura dos painéis. De acordo com Iwakiri e Prata (2008), entre os fatores que influenciam no processo de fabricação de painéis cimento-madeira, a composição química da madeira é de grande importância na cura e endurecimento do cimento, visto que, alguns elementos químicos podem alterar o tempo de hidratação do cimento e conseqüentemente reduzir as propriedades desse material.

Porém, Sawsen et al. (2015) afirma que a baixa estabilidade dimensional característica das partículas lignocelulósicas prejudica a durabilidade final do compósito, pelo fato de que, o processo de contração e expansão da partículas com o passar do tempo quebra as ligações na interface partícula/matriz, resultando em espaços vazios e na diminuição das propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios.

De acordo com Matoski e Iwakiri (2007), o cimento transmite o esforço entre as partículas de madeira, mantendo-as protegidas do meio. Em relação ao custo desse compósito deve-se observar um aspecto importante, que é a

proporção cimento: madeira do painel. Maiores proporções de cimento aumentam o valor final do produto (MOSLEMI; GARCIA; HOFSTRAND, 1983).

Durante o processo produtivo dos painéis cimento-madeira, também são utilizados alguns aditivos, dependendo da aplicação do produto final. Segundo Neville (1997), o aditivo mais utilizado durante várias décadas foi o cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Possivelmente porque este aditivo é eficiente para aceleração do processo de hidratação dos silicatos de cálcio, principalmente o silicato tricálcio ( $\text{C}_3\text{S}$ ) (LATORRACA, 2000).

### 2.1.3 Fatores que afetam a qualidade dos painéis

Muitos são os fatores que afetam as propriedades de um painel particulado, sejam eles referentes à madeira utilizada na produção ou mesmo no processo produtivo dos painéis. A Tabela 1 apresenta os fatores que devem ser levados em consideração na fabricação dos painéis.

Tabela 1 - Fatores que afetam a qualidade dos painéis.

<b>Inerentes a Madeira</b>	<b>Inerentes ao Processo</b>
Espécies	Massa específica dos painéis
Massa específica da madeira	Razão de compactação
pH	Composição dos painéis
Teor de umidade	Resina e parafina
Extrativos	Dimensão e orientação das partículas
Local de crescimento	Umidade das partículas
Idade cambial	Tempo de fechamento da prensa e de prensagem
Forma do tronco	Temperatura de prensagem
	Pressão específica

Fonte: Mendes e Iwakiri (2002).

Durante o processo de formação do painel a mudança de um desses fatores ocasionará a alteração de vários outros, ou seja, um parâmetro não pode ser considerado isoladamente para a produção dos painéis, porém, quando se

fala em custo de produção alguns fatores devem ser observados (SILVA et al., 2006).

### **2.1.3.1 Fatores inerentes à matéria-prima**

A massa específica da madeira é uma variável de suma importância nas características finais dos painéis, sendo as espécies com  $0,55 \text{ g/cm}^3$  as mais indicadas para a fabricação de painéis de partículas com razões de compactação que giram em torno de 1,3 a 1,6, consideradas ideais para o processo de consolidação e densificação do painel até sua espessura final (MALONEY, 1993). De acordo com Mendes (2001) as partículas oriundas de madeiras de massa específica mais densa produzem uma baixa razão de compactação, prejudicial às propriedades dos painéis, sendo necessário realizar a alteração de outras variáveis do processo como a quantidade de adesivo ou de cimento, elevando assim os custos de produção.

Juntamente com a massa específica, o pH também é considerado uma importante variável utilizada na fabricação dos painéis de madeira, influenciando diretamente na aplicação de vernizes e na cura dos adesivos. Uma madeira com alta acidez pode influenciar negativamente na pré-cura de alguns adesivos como a ureia-formaldeído, comprometendo na colagem durante a prensagem das partículas (IWAKIRI et al., 2005).

Os extrativos presentes na madeira são os principais responsáveis pela inibição da solidificação do cimento, sendo seus princípios ativos os compostos fenólicos e os carboidratos livres (SIMANTUPANG et al., 1978 apud IWAKIRI; PRATA, 2008).

Outro fator que interfere na qualidade final dos painéis está ligado à geometria das partículas (WEBER, 2011). Como dito anteriormente, a produção de painéis MDP envolve a utilização de dois tipos de partículas. Nas extremidades são utilizadas partículas de tamanho menor favorecendo um

melhor acabamento superficial ao painel e na aplicação de materiais de revestimento, enquanto, no interior são utilizadas partículas de tamanho maior. Devido ao aumento da área superficial, a utilização de partículas menores implica em um maior uso de adesivos, aumentando consideravelmente os custos finais do painel (MALONEY, 1993).

Para Teodoro (2008) o adesivo utilizado para fabricação de painéis causa mudança em diversas propriedades significativas como as mecânicas, estabilidade dimensional e, principalmente, na composição do painel produzido. Com relação aos painéis cimento-madeira, a escolha adequada do aglomerante também influencia diretamente nas propriedades finais do painel, tendo em vista os componentes químicos de cada tipo de cimento.

#### **2.1.3.2 Fatores inerentes ao processo**

Durante o processo de fabricação dos painéis, alguns fatores devem ser considerados para se obter uma boa qualidade do produto final, são eles: densidade dos painéis, razão de compactação, dimensão das partículas, tempo de fechamento da prensa, tempo de prensagem, temperatura de prensagem, pressão específica, como apresentado na Tabela 1.

A massa específica dos painéis influencia de maneira significativa nas propriedades do material, quanto maior a densidade do painel, maior a resistência a flexão estática (MOR e MOE), ligação interna e arrancamento de parafusos, entretanto, para a propriedade física como o inchamento em espessura, essa resistência tende a diminuir com o aumento da densidade (ZHOU, 1990).

A relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada no processo de fabricação do produto, chamada razão de compactação, está relacionada às propriedades físico-mecânica dos painéis (SANTOS, 2008). Segundo Santos (2008), espécies de madeiras relativamente mais leves, podem

ser comprimidas em um painel de média densidade, obtendo assim, uma boa colagem das partículas. Entretanto, madeiras com maior densidade não conseguem ser comprimidas em painéis de média densidade e com boa adesão.

Dentre todos os processos envolvidos na fabricação dos painéis de madeira a prensagem é sem dúvida um dos mais importantes e significativos, devido à gama de fatores envolvidos como temperatura da prensa e tempo de prensagem. De acordo com Iwakiri (2005), a temperatura de prensagem é definida em função da temperatura necessária para a cura da resina e, portanto, varia de acordo com o tipo de resina. Para a resina ureia-formaldeído, a temperatura recomendada é na faixa de 140 a 160°C, e para fenol-formaldeído de 160 a 180°C.

Iwakiri (2005) citou o tempo de prensagem como sendo um fator muito importante, pois ele depende da eficiência de transferência de calor, de fatores como espessura do painel, temperatura da prensa, distribuição do colchão na forma e seu nível de umidade. Sua principal função é acelerar a distribuição da resina através da polimerização entre as partículas (WEBER, 2011).

## **2.2 Pneus e seus resíduos**

O pneu é um produto de suma importância para a segurança dos usuários, além de ser uma das partes mais importantes de um veículo automotor. É fabricado para atender os hábitos de consumo, assim como as condições climáticas e as características do sistema viário existente em cada país (OLIVEIRA; CASTRO, 2007).

Segundo Williams, Besler e Taylor (1990), o SBR (estireno-butadieno copolímero) é o elastômero mais utilizado na composição de um pneu, porém, outras borrachas como o poli (*cis-isopreno*) e o poli (*cis-butadieno*) também são utilizadas.

Com o objetivo de deixar a borracha propícia para ser utilizada industrialmente para diversas finalidades, se faz necessária a realização de um processo conhecido como vulcanização. O processo de vulcanização da borracha foi descoberto no ano de 1838 por Charles Goodyear. O pesquisador observou que ao respingar uma parte de uma mistura de borracha e enxofre na chapa quente do fogão, a borracha não fundia na madeira e resolveu então, pesquisar a fundo as misturas com enxofre. Dessa forma, concluiu que, uma mistura de borracha e enxofre em altas temperaturas, melhorava a resistência, a dureza e o processo de degradação da borracha.

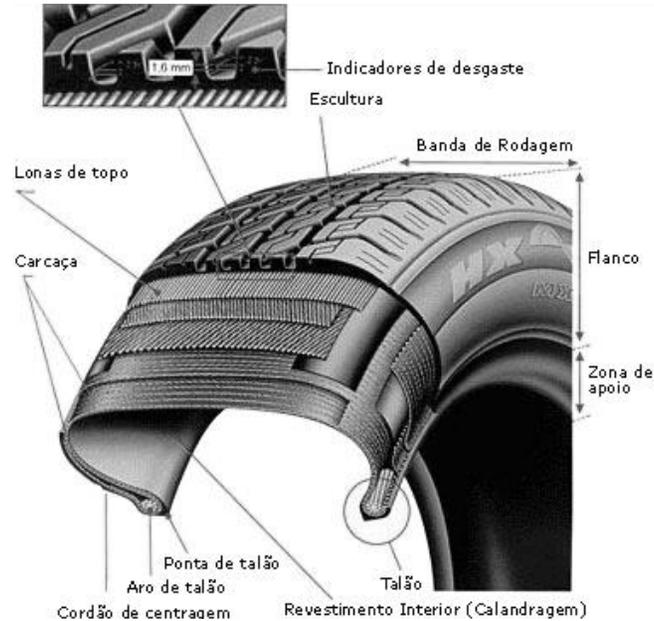
A presença do negro de fumo ou carbono amorfo é fundamental em todos os compostos de borracha, o que confere a imprescindível resistência à abrasão e, obviamente, confere a cor preta ao mesmo, além do enxofre, elemento vulcanizante, somados com variados produtos químicos, catalisadores, plastificantes e cargas reforçantes (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP, 2015b).

De acordo com Rodrigues e Ferreira (2006), a definição das partes constituintes do pneu é feita da seguinte maneira:

- ✓ Carcaça: parte resistente do pneu; deve resistir à pressão, peso e choques. Compõe-se de lonas de poliéster, nylon ou aço;
- ✓ Talões: constituem-se internamente de arames de aço de grande resistência, tendo por finalidade manter o pneu fixado ao aro da roda;
- ✓ Flancos: são as laterais da carcaça. São revestidos por uma mistura de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga;
- ✓ Cintura: compreende o feixe de cintas (lonas estabilizadoras) que são dimensionadas para suportar cargas em movimento (RODRIGUES; FERREIRA, 2006, p. 256).

A Figura 2 apresenta todas as partes que compõem um pneu radial de veículo de passeio.

Figura 2 - Estrutura de um pneu radial (veículo passeio).



Fonte: Adaptado de Andrade (2007).

De acordo com a ANIP (2015a, 2015c), a produção de pneus para as seguintes categorias: carga, camioneta, passeio, moto, agrícola, industrial e avião no ano de 2014 foram de, aproximadamente, 68,7 milhões de unidades e que, a balança comercial neste mesmo ano foi de 7,02 milhões de unidades importadas e 12,43 milhões de unidades exportadas.

Segundo Galle et al. (2010), o resíduo de pneu é um problema crescente e grave de saúde pública, particularmente em países de climas tropicais, uma vez que empilhados servem de criadouros para mosquitos transmissores de dengue, febre amarela e malária e mais atualmente o vírus zika e Chikungunya. Além disso, a queima desse resíduo também gera uma ameaça perigosa, pois quando

queimados, os pneus produzem uma fumaça negra altamente poluidora pela diversidade de produtos químicos que são liberados na combustão, capazes de produzir efeitos adversos à saúde, como perda de memória, deficiência no aprendizado, supressão do sistema imunológico, danos nos rins e fígado. Sendo assim, uma abordagem possível para a eliminação de resíduos de pneus é incorporá-lo em materiais a base de cimento ou outros compósitos (SEGRE et al., 2006).

### **2.2.1 Resíduos de pneus na fabricação de painéis**

Vários pesquisadores buscam alternativas para a inserção de resíduos industriais em painéis de madeira reconstituída, como exemplo, a utilização do resíduo de borracha de pneu, embalagens plásticas de alimentos, resíduos de garrafa PET “Polietileno Tereftalato” e também resíduos de serrarias (BERTOLINI, 2014; CHAMMA, 2004; IWAKIRI et al., 2000; MACEDO, 2008; SANTOS et al., 2011; ZHAO et al., 2010).

No entanto, quando pensamos na utilização da borracha de pneu como matéria-prima para painéis, poucos são os estudos encontrados na literatura, podendo destacar o trabalho realizado por Zhao et al. (2010) que avaliaram o comportamento acústico de painéis fabricados com 40 e 50% de borracha de pneus, e observaram que a propriedade de isolamento acústico dos painéis com borracha foram melhores do que as placas de painéis aglomerados comerciais. Além disso, verificaram que essa propriedade está relacionada com a quantidade de fragmentos de borracha no compósito. Quanto maior a concentração de partículas de borracha, maior será o isolamento acústico do painel.

Zhao et al. (2013) avaliando a fabricação de painéis à base de cimento reforçado com partículas de madeira e borracha, concluíram que através do controle das variáveis do processo de fabricação dos painéis como a densidade e

o tempo de prensagem, as propriedades mecânicas foram melhoradas, sendo necessários mais estudos para a produção desse tipo de painel.

Ghofrani e Rabiei (2008) estudaram a produção de painéis utilizando partículas de borracha em substituição a madeira nas porcentagens de 0, 25, 50 e 75% e com diferentes teores de adesivo (3, 4 e 5%). Os autores concluíram que a adição de partículas de borracha diminui a resistência à flexão estática dos painéis.

Macedo (2008) avaliou a utilização de resíduos sólidos oriundos da indústria madeireira e da recauchutagem de pneus na produção de compósitos constituídos de partículas de madeira em mistura com partículas de borracha de pneu, com adição de adesivo fenólico ou de cimento. Os tratamentos variaram em função das proporções das partículas de borracha na mistura dos painéis (0, 15, 30 e 45%). Como resultado, foi observado que os compósitos de madeira-borracha e adesivo não apresentaram alteração na massa específica aparente e melhorou a estabilidade dimensional, porém a adição da borracha nos painéis causou diminuição nas propriedades mecânicas. Com relação aos compósitos madeira-borracha e cimento, a adição de maiores teores de borracha reduziu a massa específica, módulo de ruptura, módulo de elasticidade, dureza Janka, ligação interna e resistência ao arrancamento de parafuso. Através do ensaio não-destrutivo utilizando o *stress wave timer*, observou-se que o tempo gasto para a onda varrer as amostras dos painéis com a borracha foi maior, o que confere melhores propriedades acústicas ao material.

Outro fator importante que deve ser analisado é a interação entre as partículas de borracha e a matriz cimentícia. De acordo com Segre e Joeques (2000), a redução de algumas propriedades do concreto contendo borracha, em relação a concretos convencionais, está diretamente ligada à aderência entre as partículas de borracha e cimento. Os autores afirmam que esta falta de aderência pode ser melhorada com o tratamento superficial das borrachas.

### 2.3 Tratamento Corona

De um modo geral, os elastômeros não apresentam as condições ideais para a fixação de revestimentos com adesivos, tintas e metalização. Isso se dá pelo fato que, esses materiais possuem uma superfície sem poros, quimicamente inertes e/ou com baixa energia superficial, sendo assim, se faz necessário um tratamento superficial com o objetivo de modificar suas superfícies e melhorar suas características de adesão (WITMANN, 2010).

O tratamento corona pode ser um método utilizado para essa finalidade, e consiste na aplicação de descargas eletrostáticas sobre a superfície do filme, de modo a aumentar sua energia superficial, permitindo uma melhoria na adesão (WITMANN, 2010). Segundo Carneiro (2001), esse tipo de tratamento é largamente empregado na indústria devido sua simplicidade, rapidez e baixa produção de resíduos.

De acordo com Chan (1994), a descarga corona é um tipo de descarga elétrica e ocorre entre um eletrodo com curvaturas muito pequenas e uma placa de aterramento, que são separados por um dielétrico, geralmente o ar. Esse sistema funciona como um capacitor, em que a diferença de potencial gera a ionização do ar, formando assim um plasma e uma luz azul que pode ser vista entre o eletrodo e o aterramento. Tal tratamento gera espécies químicas ativas e radicais que podem modificar quimicamente a superfície do material avaliado (ALVES, 2003).

Strobel et al. (1992) cita que o tratamento corona cria espécimes de alta energia livre sobre a superfície do polímero, que continuam a reagir após o tratamento e no período de estocagem. O autor afirma que a porcentagem de oxigênio, tem relação direta com a redução do ângulo de contato medido na superfície tratada.

Entretanto, apesar da comprovação dos efeitos da modificação de superfície com o tratamento corona encontrados em literatura, não existem

estudos que utilizam o tratamento corona para modificação superficial da borracha de pneu para posterior aplicação em painéis de madeira.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Unidade Experimental de Painéis de Madeira – UEPAM da Universidade Federal de Lavras. Para a produção dos painéis foram utilizadas partículas de madeira de *Pinus oocarpa* com idade de 20 anos, extraída do campus da Universidade Federal de Lavras. Enquanto que o resíduo da reciclagem de pneu foi fornecido pela empresa BKERP Reformadora de Pneus da cidade de Lavras – MG.

#### 3.1 Tratamento e caracterização da borracha de pneu

Para o tratamento das partículas de borracha de pneu foi utilizado um equipamento de descarga corona (FIGURA 3), com tensão elétrica de saída do equipamento de 12KV, corrente de 0,06A e frequência de 60Hz. O equipamento Corona Plasma Tech (PT) é projetado especificamente para o tratamento de superfícies onde se faz necessário um aumento da molhabilidade e aderência.

Figura 3 - Equipamento Corona Plasma Tech (PT).



Fonte: Vilela (2015).

O tratamento superficial das partículas de borracha foi realizado durante 5, 10, 15 e 20 minutos em atmosfera ambiente a  $25,6^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , umidade em 60% e distância de 3 cm entre a fonte e a amostra.

Após a aplicação do tratamento corona, as partículas de borracha foram caracterizadas quanto às modificações obtidas após a descarga elétrica. Para que fosse possível avaliar tais efeitos, as partículas tratadas foram comparadas com as partículas sem tratamento. Sendo assim, foi avaliada a superfície do material, sua constituição química e seu comportamento térmico, com realização dos testes de espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), análise por termogravimetria (TG) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

### **3.1.1 Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)**

O equipamento utilizado para a análise foi um espectrômetro de infravermelho médio com transformada de Fourier, modelo Vertex 70, marca Bruker. Também foi utilizado um acessório ATR - atenuador total de refletância, com cristal de seleneto de zinco (ZnSe), com 20 reflexões internas. Foram realizados 32 scans com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ . Este equipamento se encontra na Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Nesta pesquisa, esta técnica foi utilizada para identificar os grupos químicos presentes na superfície das partículas de borracha, visto que o tratamento corona provoca oxidações superficiais no material, levando a formação de grupos que contêm oxigênio, como C-O, C=O, COOH, O-C-O, OH e também grupos que contêm hidrogênio (SELLIN, 2002).

### **3.1.2 Análise por termogravimetria (TG)**

A análise termogravimétrica foi utilizada para avaliar a estabilidade térmica e a decomposição dos componentes da borracha de pneu, quando submetido a um programa de temperatura controlado.

O ensaio foi realizado em atmosfera de nitrogênio com vazão de 40 ml/min, através do analisador termogravimétrico TA Instruments, modelo Q5000, com razão de aquecimento de 10 °C/min e variação de temperatura ambiente (30 °C) até 700 °C.

O ensaio de análise por termogravimetria foi efetuado no Laboratório da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Instrumentação), São Carlos – SP.

### **3.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A morfologia da superfície da borracha de pneu foi observada através de um microscópio eletrônico de varredura da marca Jeol, modelo JSM 6510, operando a 10 kV na modalidade de SEI (elétrons secundários).

A metalização das amostras foi realizada utilizando-se um equipamento Leica EM SCD 050 Sputter Coater.

## **3.2 Processamento da madeira**

As árvores coletadas no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) foram cortadas em toretes de 1,2 m e encaminhadas para a Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM/UFLA), onde ocorreu a imersão em tanque com água por um período de 10 dias antes do processamento, com o objetivo de evitar o ataque de organismos xilófagos e fungos, além de prevenir o surgimento de rachaduras de topo.

Para a determinação da densidade básica da madeira, foram retirados discos de 5 cm de espessura na base, e a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores (diâmetro mínimo de 5 cm). Todo procedimento foi realizado de

acordo com a NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003).

Para a obtenção das lâminas de madeira, as toras foram levadas a um tanque de aquecimento com água a temperatura de 60 °C por um período de 24 horas. Posteriormente, os toretes foram reduzidos em aproximadamente 60 cm e laminados em um torno laminador. Após a secagem, as lâminas passaram por um moinho de facas e peneiradas em um agitador de partículas. As partículas utilizadas foram:

- a) Painéis MDP: nas faces do painel MDP as partículas utilizadas foram aquelas que passaram pela peneira com abertura de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh. Para o miolo foram utilizadas as partículas que passaram pela peneira de 12 mesh e ficaram retidas na peneira de 20 mesh.
- b) Painéis Cimento-madeira: as partículas utilizadas para a produção desse tipo de painel foi a mesma granulometria utilizada no miolo dos painéis MDP.
- c) Após a obtenção das partículas de madeira no moinho martelo e sua classificação granulométrica, a mesma passou por uma secagem em estufa a 60 °C. Foram obtidas partículas com umidade de 5% para a produção dos painéis.

### **3.3 Avaliação do adesivo**

Com o intuito de avaliar as propriedades do adesivo ureia-formaldeído utilizado para produção dos painéis MDP, o mesmo passou pelos ensaios para a determinação do teor de sólidos, viscosidade, tempo de gelatinização - “*Gel Time*” e pH.

A determinação do teor de sólidos foi realizada a partir da pesagem de 1g do adesivo e posteriormente secagem na estufa à temperatura de  $103 \pm 3$  °C, por 3 horas. Antes da pesagem do material seco este permaneceu em um dessecador por 15 minutos. O teor de sólidos percentual foi calculado pela divisão entre a massa final pela massa inicial vezes cem (ABNT, 2007). Com relação à viscosidade a mesma foi determinada utilizando-se um viscosímetro do tipo Copo Ford (Universal) e seguindo os parâmetros estipulados pela norma ASTM D-1200 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM, 1994).

O tempo de gel foi obtido utilizando-se os procedimentos descritos por Mori (2000). As amostras de 5 g de adesivo, foram colocadas em tubos de ensaio de 15 cm de altura e 2 cm de diâmetro. O conjunto tubo-bastão foi mergulhado em um banho de glicerina à temperatura de 130 °C. Com o auxílio do bastão, o líquido foi constantemente agitado com movimento vertical, em função do aumento na resistência do adesivo ao atingir a “fase de gel”. O tempo de gelatinização é aquele entre imersão do tubo na glicerina e o momento em que a amostra endureceu, sendo correspondente à polimerização ou gel time do adesivo.

O pH dos extratos aquosos foi determinado pelo pH-metro, após 4 minutos de contato com o adesivo.

### **3.4 Plano experimental para a produção dos painéis**

Na Tabela 2 encontra-se o plano experimental dos painéis. Na produção dos painéis MDP e cimento-madeira, as partículas de borracha foram utilizadas como substituição nas proporções de 5, 10, 15 e 20% em relação ao peso total de partículas de madeira do painel. O tempo de tratamento corona aplicado nas partículas de borracha foi de 20 minutos, visto que, a maior mudança na superfície do material ocorreu neste tempo.

Para termos de comparação foram produzidos painéis sem a substituição de madeira por borracha. Foram 10 tratamentos no total, sendo produzidos para cada um deles três painéis.

Tabela 2 - Plano Experimental.

<b>TIPO DE PAINEL</b>	<b>PARTÍCULAS DE BORRACHA (%)</b>	<b>PARTÍCULAS DE <i>PINUS OOCARPA</i> (%)</b>
MDP	0	100
	5	95
	10	90
	15	85
	20	80
Cimento-Madeira	0	100
	5	95
	10	90
	15	85
	20	80

Fonte: Do autor (2016).

### 3.5 Produção dos painéis Cimento-Madeira

O aglomerante utilizado para a produção dos painéis cimento-madeira foi o cimento CPV – ARI, pois atinge elevadas resistências em pouca idade, fato esse vantajoso, pois economiza tempo no processo produtivo, além de evitar a inibição da cura do cimento com a madeira. O aditivo utilizado foi o cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), cujo objetivo é acelerar a cura de concretos e argamassas à base de cimento.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros definidos para o cálculo dos painéis cimento-madeira-borracha (MCB).

Tabela 3 - Parâmetros para cálculo dos painéis cimento-madeira-borracha.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>RELAÇÃO</b>
Densidade	1,2 g/cm <sup>3</sup>
Madeira : Cimento	1:2,75
Água : Cimento	1:2,5
Taxa de hidratação do cimento	0,25
Aditivo	4%

Fonte: Do autor (2016).

Após a pesagem, os materiais foram misturados em uma betoneira, obedecendo à seguinte ordem: inicialmente foram adicionadas as partículas de madeira e borracha (quando necessário) e, em sequência, todo o cimento. Após a homogeneização da mistura, a água foi adicionada com o aditivo previamente misturado, utilizando-se um recipiente com sistema pressurizado. Em seguida, o material foi retirado da betoneira, pesado e moldado para a prensagem. A pressão utilizada no processo foi de 4 MPa, sendo que os painéis ficaram grampeados por 24 horas para posterior desmoldagem.

A Figura 4 apresenta a sequência de produção dos painéis cimento-madeira.

Figura 4 - Sequência de produção dos painéis cimento-madeira. (A) Pesagem dos materiais. (B) Mistura dos materiais na betoneira. (C) Formação do colchão. (D) Prensagem a frio por 24 horas.



Fonte: Do autor (2016).

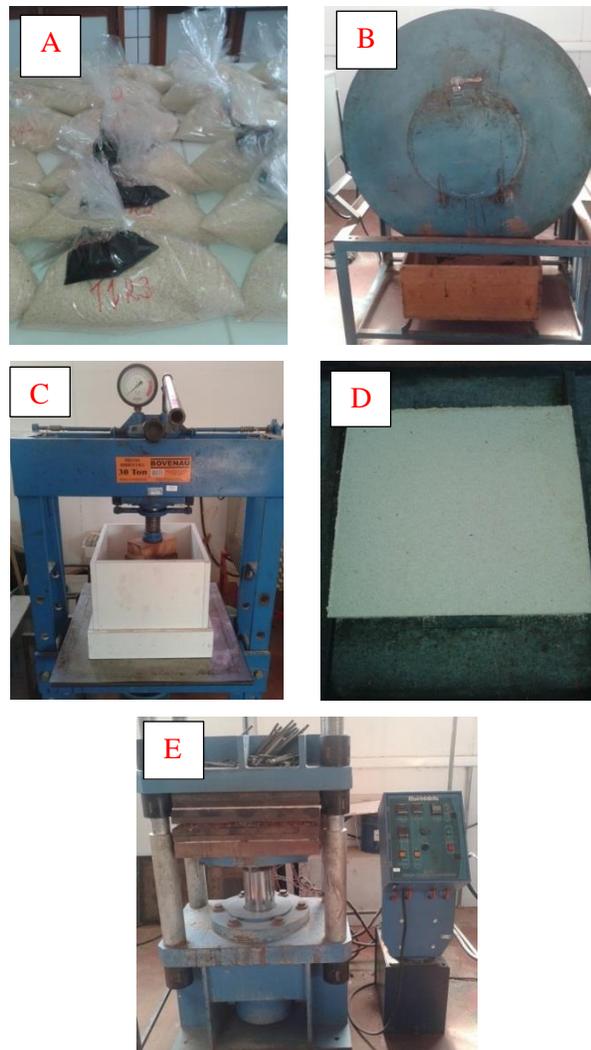
### 3.6 Produção dos painéis MDP

A aplicação do adesivo uréia-formaldeído nas partículas de madeira e borracha foi realizada por aspersão em uma encoladeira do tipo tambor giratório, sendo aplicado 11% para a face dos painéis e 7% para o miolo (base massa seca das partículas). Após 5 minutos de mistura na encoladeira, conduziu se as partículas para uma caixa formadora de colchão com dimensão de 30 x 30 cm. O colchão foi formado por três camadas, sendo elas uma camada de material de face, uma camada de material de miolo e por último mais uma camada de material de face.

A pré-prensagem do colchão foi realizada com a aplicação de 0,4 MPa em uma prensa manual, com objetivo de dar uma melhor conformação no painel

e facilitar o carregamento para a posterior prensagem a quente, a qual se realizou na temperatura de 200°C, 4 MPa de pressão e tempo de prensagem de 8 minutos. A Figura 5 apresenta a seqüência de produção dos painéis MDP.

Figura 5 - Seqüência de produção dos painéis MDP. (A) Pesagem dos materiais. (B) Aplicação do adesivo. (C) Formação do colchão na prensa manual. (D) Colchão formado. (E) Prensagem a quente.



Fonte: Do autor (2016).

### 3.7 Retirada dos corpos-de-prova e avaliação das propriedades dos painéis

Os painéis ficaram acondicionados em uma sala de climatização com uma temperatura de  $20 \pm 2$  °C e umidade do ar de  $65 \pm 3\%$ . O processo de retirada dos corpos-de-prova para os dois tipos de painéis produzidos foi realizado através de uma serra circular. Inicialmente, os painéis foram esquadrejados com a finalidade de retirar algum efeito de borda causado no processo de fabricação.

Os painéis MDP foram ensaiados após atingirem massa constante, enquanto os painéis cimento-madeira foram avaliados após 28 dias de cura. Na Tabela 4 é possível observar os testes e as normas adotadas neste trabalho para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Tabela 4 - Ensaios avaliados e normas de execução.

<b>PAINÉIS MDP E CIMENTO-MADEIRA</b>	
<b>TESTES</b>	<b>METODOLOGIA</b>
Absorção de água após 2h de imersão (AA_2h)	ASTM D-1037 (ASTM, 2012)
Absorção de água após 24h de imersão (AA_24h)	ASTM D-1037 (ASTM, 2012)
Inchamento em espessura após 2h de imersão (IE_2h)	ASTM D-1037 (ASTM, 2012)
Inchamento em espessura após 24h de imersão (IE_24h)	ASTM D-1037 (ASTM, 2012)
Umidade	NBR 14810-3 (ABNT, 2006)
Densidade aparente	NBR 14810-3 (ABNT, 2006)
Flexão estática – Módulo de elasticidade (MOE)	DIN-52362 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG -DIN, 1982)
Flexão estática – Módulo de ruptura (MOR)	DIN-52362 (DIN, 1982)
Ligação Interna (LI)	NBR 14810-3 (ABNT, 2006)
Compressão paralela (CP)	NBR 14810-3 (ABNT, 2006)

Fonte: Do autor (2016).

Todos os testes descritos na tabela acima foram realizados na Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM) da UFLA.

Após a realização dos ensaios físicos e mecânicos, foi realizado o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) nos corpos-de-prova de ligação interna dos painéis para avaliação da associação madeira, borracha e adesivo ou cimento.

### **3.8 Propriedades de isolamento térmico**

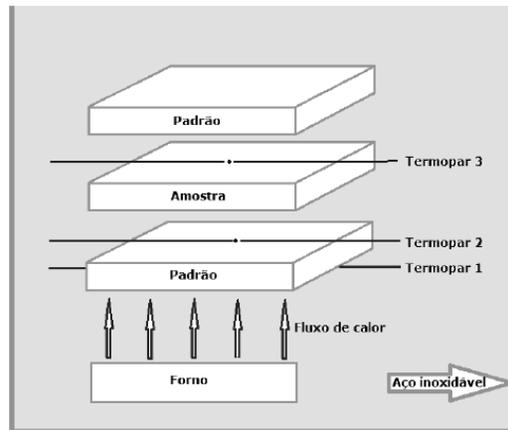
O ensaio para a determinação da propriedade de isolamento térmico foi realizado no Laboratório da Unidade Experimental de Painéis de madeira (UEPAM) da UFLA.

O equipamento utilizado é uma adaptação do método da coluna fracionada modificado descrita por Santos et al. (2011) e avaliado por Bertolini (2014). O método consiste em uma cavidade composta internamente de manta cerâmica e tijolos isolantes e sua lateral de aço inoxidável (FIGURA 5). O fundo da caixa é uma placa de carbetto de silício, que é aquecida por um forno com temperatura controlável e variável até 500 °C. Já o equipamento que foi utilizado para o ensaio é composto por painéis de madeira reconstituída e, para vedação, foram utilizadas placas de isopor de 15 mm de espessura, manta aluminizada do modelo Freshfoil Premium e fita adesiva aluminizada (FIGURA 6) (CARVALHO, 2012). Para o aquecimento do equipamento utiliza-se uma lâmpada incandescente com temperatura controlável e variável até 90 °C.

Neste método de ensaio, considerando-se as perdas de calor lateral, o isolamento é obtido quando a estabilidade é atingida. As temperaturas são registradas por sensores através de um equipamento Data Collector, modelo IM DC 100-01E, de fabricação da Yokogawa. Os corpos-de-prova foram posicionados no equipamento e o ensaio foi realizado simulando a exposição do

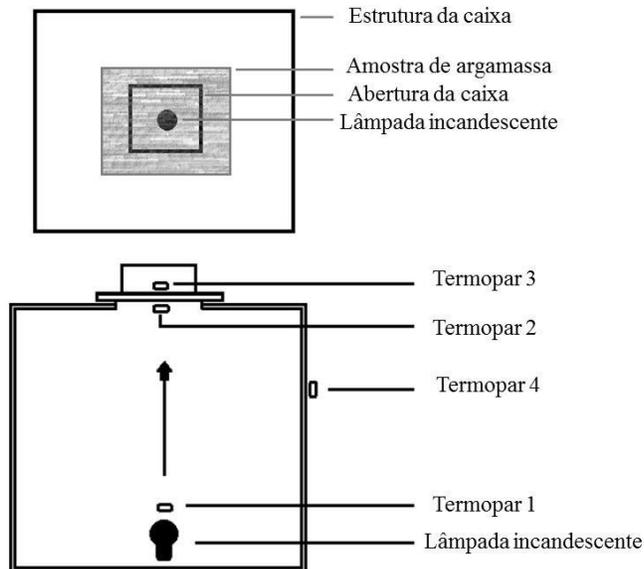
material à temperatura em torno de 40°C. A razão de aquecimento foi de 1 °C/min. e o ciclo de ensaio para cada tratamento de 3 horas.

Figura 6 - Método da coluna fracionada modificada.



Fonte: Adaptado de Santos et al. (2011).

Figura 7 - Esquema do equipamento utilizado para teste de isolamento térmico.



Fonte: Do autor (2016).

O ensaio forneceu os valores da temperatura na base do padrão (lâmpada incandescente) e temperaturas na base e no topo do corpo-de-prova obtidas pelos termopares. O resultado de isolamento térmico do material foi obtido pela diferença do termopar 2 pelo termopar 3 (FIGURA 7).

### **3.9 Análise dos dados**

A análise dos resultados foi realizada por estatística descritiva e estatística experimental. Os experimentos foram avaliados na forma de um delineamento inteiramente casualizado. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativa, foi realizada a análise de regressão, a 5% de significância.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Caracterização das partículas da borracha de pneu**

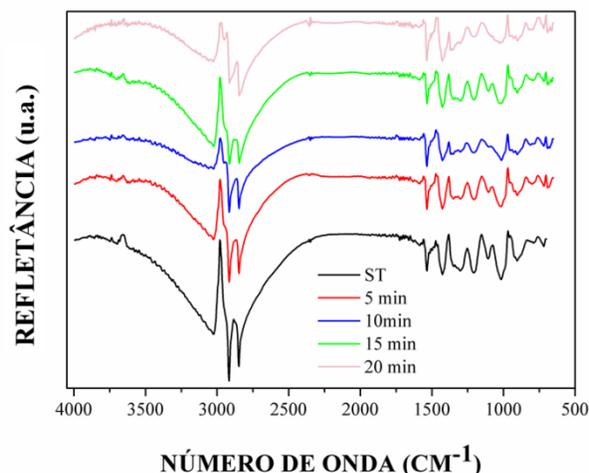
Para avaliação das partículas de borracha de pneu antes e após o tratamento corona, foram realizadas as seguintes técnicas de caracterização: espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), análise termogravimétrica (TG) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

#### **4.1.1 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)**

A técnica de FTIR é amplamente utilizada para avaliar a presença de grupos químicos em compostos orgânicos. A técnica foi utilizada para avaliar as mudanças químicas ocorridas na superfície da borracha de pneus após a aplicação da descarga corona.

Com o objetivo de analisar as mudanças na estrutura da borracha após a aplicação do tratamento corona, foram feitas comparações entre os espectros da borracha sem tratamento e da borracha tratada durante 5, 10, 15 e 20 minutos (FIGURA 8).

Figura 8 - Espectros de FTIR da borracha de pneu sem tratamento e após os tratamentos.



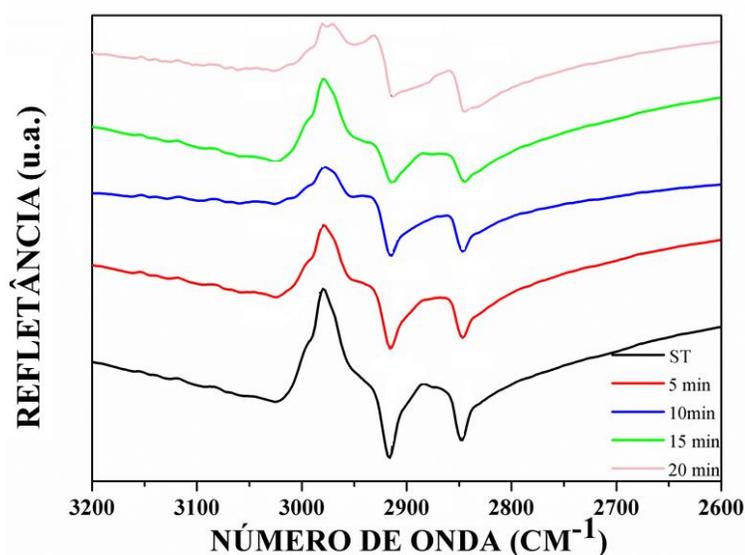
Fonte: Do autor (2016).

Observa-se um alongamento do pico formado pela vibração da banda localizada entre 1100 e 1200  $\text{cm}^{-1}$ , referente a ligação C-O, na medida em que se aumenta o tempo de tratamento corona. Este fato pode estar relacionado a oxidação da borracha de pneu com a aplicação da descarga corona. As vibrações referentes as bandas entre 1100 e 1370  $\text{cm}^{-1}$  apresentam intensidades menores nas amostras tratadas, em especial na amostra tratada em 10 minutos. Isso pode indicar uma diminuição de compostos contendo ligações enxofre-oxigênio, uma vez que os átomos de enxofre se unem as estruturas lineares da borracha culminando em pontes de enxofre as quais elevam a resistência e a dureza do material.

As bandas em 1020, 1100 a 1200 e 1100 a 1370 e próximo a 1600  $\text{cm}^{-1}$  são as principais ocorrências para a oxidação da superfície da borracha. A banda próxima de 1400  $\text{cm}^{-1}$  também sofreu redução em função da oxidação e quebra das duplas C=C.

Para melhor visualização dos resultados, a Figura 9 apresenta a região de absorção entre 3200 e 2600  $\text{cm}^{-1}$  onde o espectro de FTIR mostra bandas mais intensas referentes ao modo vibracional de C-H.

Figura 9 - Espectros de FTIR da borracha de pneu sem tratamento e após os tratamentos na região de 3200 à 2600  $\text{cm}^{-1}$ .



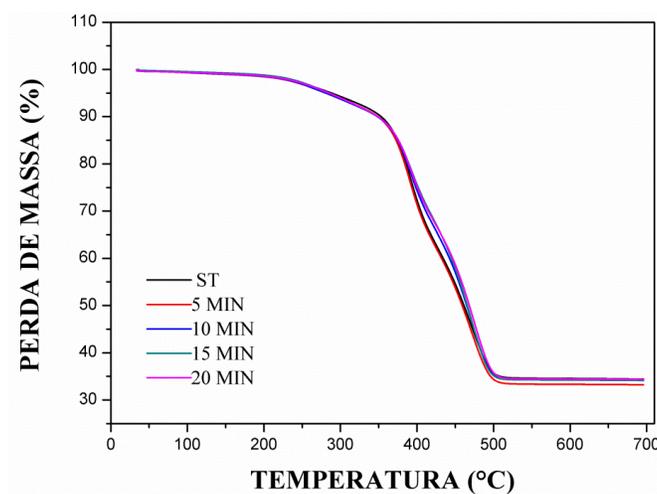
Fonte: Do autor (2016).

Nota-se na Figura 9 que a aplicação da descarga elétrica na borracha através do tratamento corona, reduziu a intensidade das ligações C-H (região entre 3000 e 2850  $\text{cm}^{-1}$ ) em função do aumento do tempo de exposição do material. O surgimento de uma nova banda em 2930  $\text{cm}^{-1}$  foi observada, podendo ser atribuída à ligação C-H do grupo  $\text{CH}_2$ . As reduções nas bandas 2916 e 2846 estão relacionadas à quebra de ligações do grupo C-H ( $\text{CH}$ ,  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$ ) tanto alifáticos quanto aldeídicos decorrente da oxidação da borracha.

#### 4.1.2 Análise Termogravimétrica (TG)

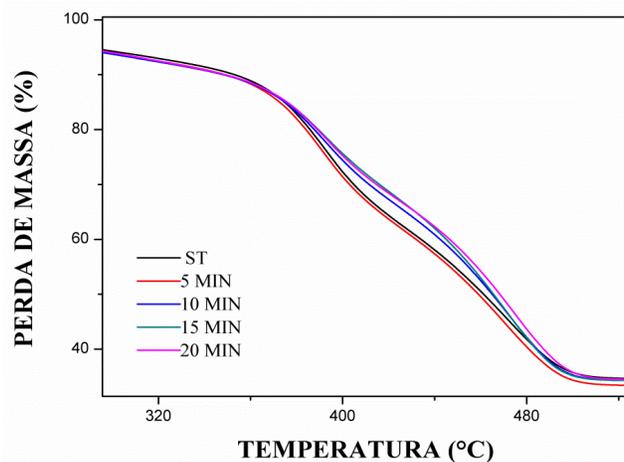
A análise termogravimétrica foi utilizada para determinar a variação da massa das amostras, afetadas pelas transformações químicas ou físicas dependendo da temperatura ou tempo (HUNT; JAMES, 1993; SIBILIA, 1988). As Figuras 10 e 11 apresentam os valores das perdas de massa por termogravimetria (TG) em atmosfera inerte ( $N_2$ ) para os diferentes períodos de tratamento corona na borracha de pneu e a Figura 12 mostra a derivada da curva de perda de massa (DTG).

Figura 10 - Curva de TG para a borracha de pneu sem tratamento e tratadas através do tratamento corona nos intervalos de 30°C a 700°C.



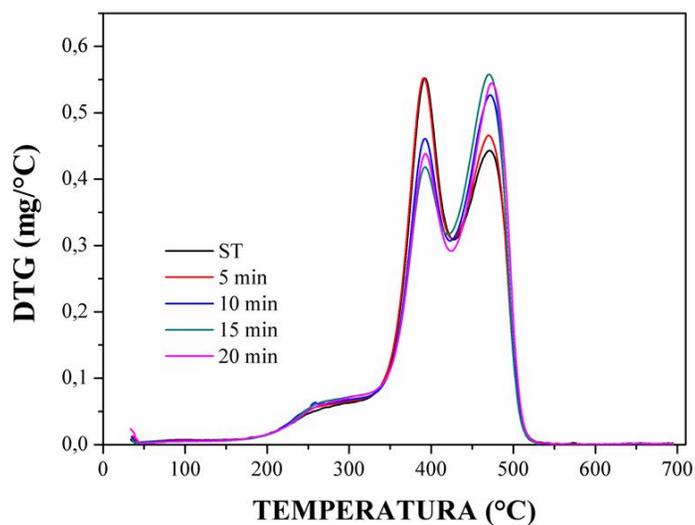
Fonte: Do autor (2016).

Figura 11 - Curva de TG para a borracha de pneu sem tratamento e tratadas através do tratamento corona nos intervalos de 300°C a 500°C.



Fonte: Do autor (2016).

Figura 12 - Curva de DTG para a borracha de pneu sem tratamento e tratadas através do tratamento corona nos intervalos de 30°C a 700°C.



Fonte: Do autor (2016).

Pode-se observar que a borracha de pneu, mesmo após o tratamento corona, de uma forma geral, mostrou dois picos de máximo na perda de massa, um entre 60°C e 400°C e outro entre 400°C e 520°C. Estes picos estão de acordo com aqueles encontrados por Silva et al. (2005), onde realizaram uma análise composicional de borracha de pneu desvulcanizada por micro-ondas utilizando termogravimetria. Todas as amostras analisadas apresentaram uma perda de massa de aproximadamente 60% em torno de 450°C. Segre (1999) justifica essa perda de massa decorrente da liberação dos óleos voláteis do pneu.

De acordo com Maurer (1981), a perda de massa em torno de 380°C está relacionada com a degradação da borracha natural, já na faixa entre 448 e 470°C a degradação é atribuída à borracha sintética.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de TG da borracha sem tratamento e tratados pelo método corona. Na primeira etapa ocorreu uma perda de massa da ordem de 10% no intervalo de 60 a 400°C, e na segunda etapa a perda de massa ocorreu em torno de 55% no intervalo de 400 a 520°C.

Todos os tratamentos apresentaram um resíduo em torno de 34% na temperatura de 520 a 700°C. Segundo Rodrigues (2008), esse resíduo é o sulfato de zinco que está relacionado com a oxidação do enxofre, presente na composição da borracha de pneu.

Tabela 5 - Perda de massa (M%) e faixa de temperatura (T), na análise de TG.

TRATAMENTOS	M (%)	T (°C)	
		INICIAL	FINAL
Sem Tratamento	9,71	65	400
	55,62	400	510
5 minutos	11,03	55	400
	54,92	400	500
10 minutos	10,7	80	400
	54,98	400	520
15 minutos	11,77	50	400
	54,01	400	520
20 minutos	10,70	80	400
	54,65	400	520

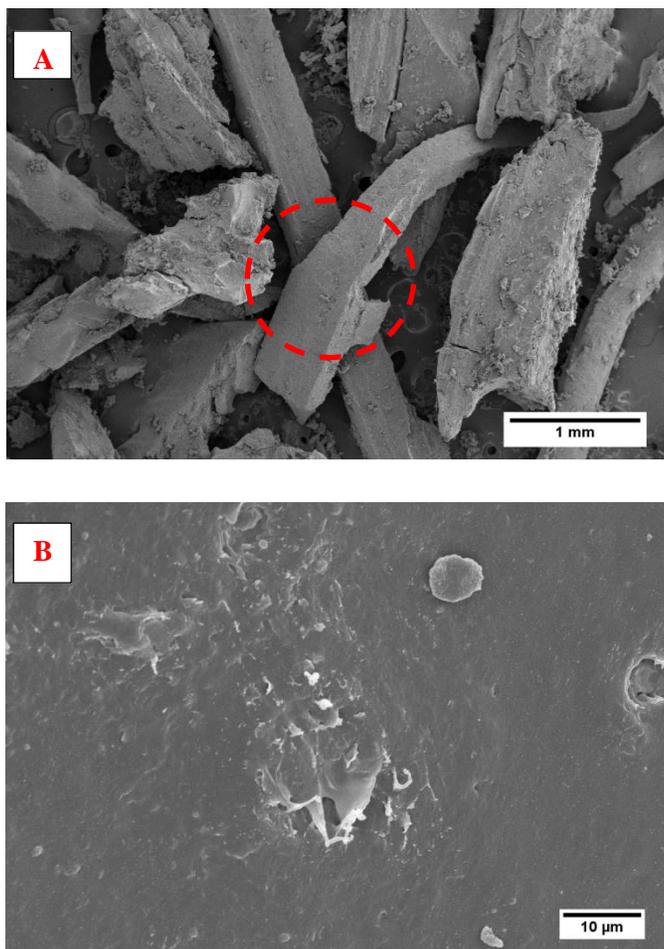
Fonte: Do autor (2016).

Com base nos resultados da análise termogravimétrica, pode-se observar que na borracha tratada pelo método corona a perda de massa na primeira fase de degradação (borracha natural) é maior do que na borracha sem tratamento corona, já na segunda fase (borracha sintética), a perda de massa tende a ser menor.

#### 4.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

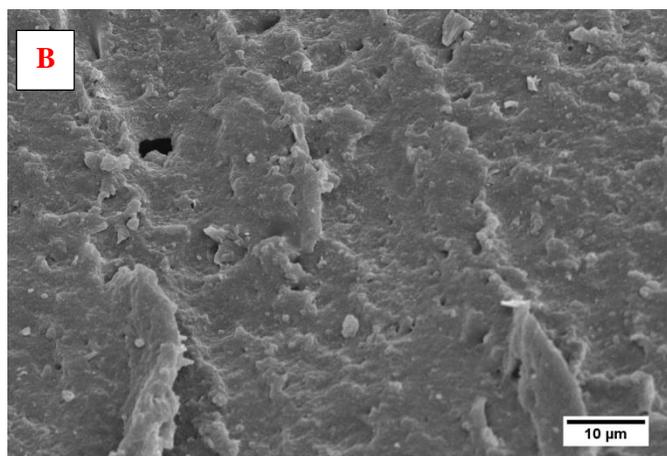
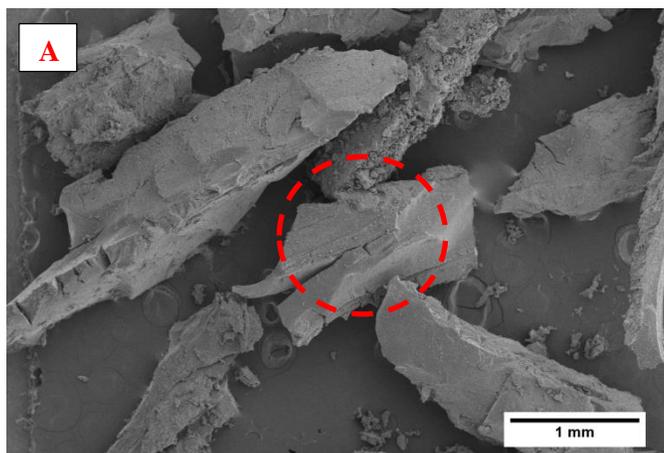
As partículas de borracha de pneu antes e após o tratamento corona foram observadas por microscopia eletrônica de varredura com o objetivo de caracterizar a borracha morfológicamente e observar as modificações ocorridas na superfície do material após o tratamento com descarga corona. As Figuras 13, 14, 15, 16 e 17 apresentam as micrografias das partículas de borracha sem tratamento e tratadas a 5, 10, 15 e 20 minutos, respectivamente.

Figura 13 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu sem tratamento corona. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).



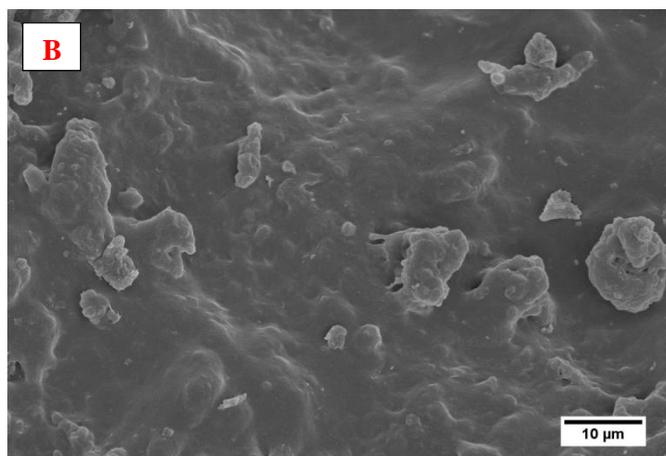
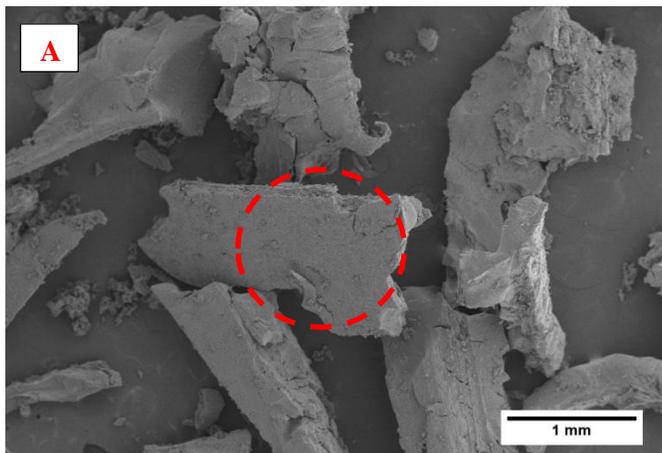
Fonte: Do autor (2016).

Figura 14 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu após o tratamento corona durante 5 minutos. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).



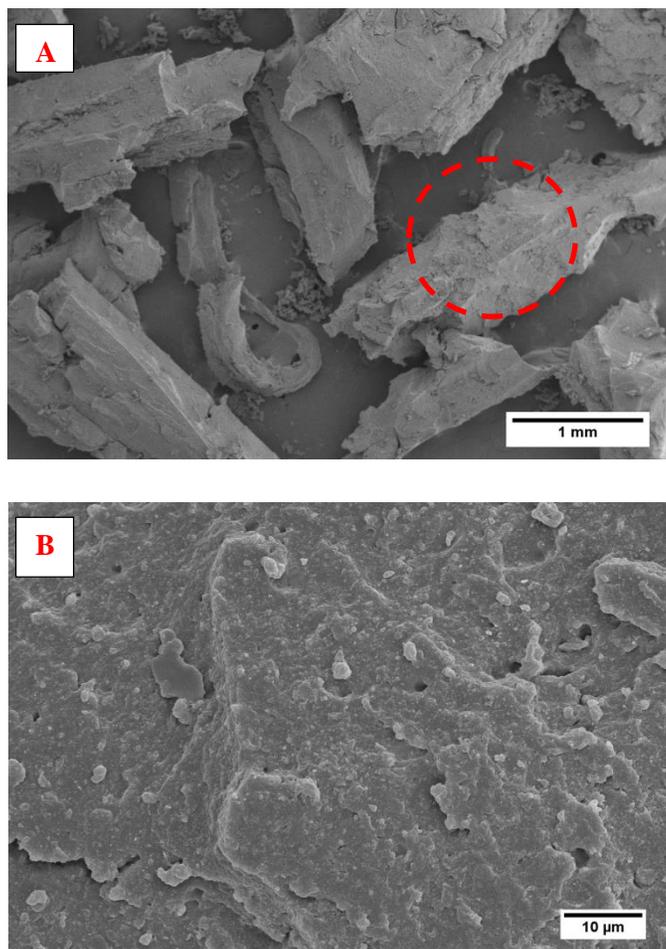
Fonte: Do autor (2016).

Figura 15 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu após o tratamento corona durante 10 minutos. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).



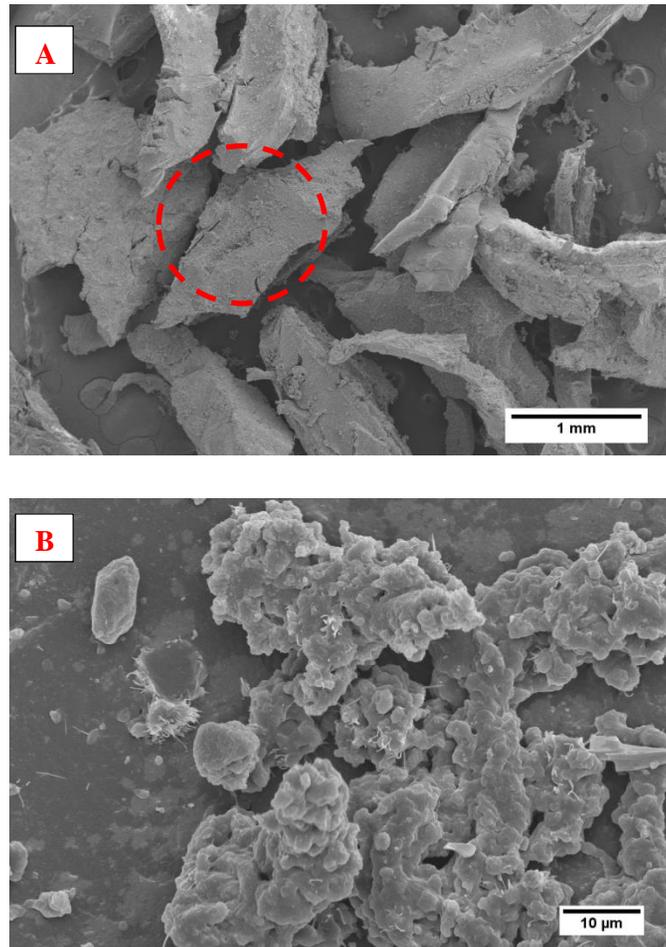
Fonte: Do autor (2016).

Figura 16 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu após o tratamento corona durante 15 minutos. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).



Fonte: Do autor (2016).

Figura 17 - (A) Micrografia das partículas de borracha de pneu após o tratamento corona durante 20 minutos. (B) Ampliação de uma região da micrografia A (círculo vermelho).



Fonte: Do autor (2016).

Observa-se que as partículas de borracha não apresentam uniformidade. A textura dos fragmentos da borracha também é diversificada, provavelmente, devido à diferença de formação destes fragmentos (LIMA, 2008). Pode-se observar também o efeito do tratamento corona na superfície das partículas de borracha. Na medida em que aumenta o tempo de exposição do material à

descarga elétrica, há um aumento na rugosidade da borracha, fato este explicado pela oxidação superficial do material. Essa rugosidade interfere de maneira positiva na ligação entre a borracha e o material aglomerante para a produção de painéis.

Tendo em vista todo o processo de caracterização da borracha de pneu sem tratamento e após o tratamento em diferentes períodos, pode-se dizer que o tratamento corona foi satisfatório quando se trata da modificação superficial do material. Dessa forma, optou-se por utilizar neste estudo partículas de borracha tratadas por um período de 20 minutos de exposição, por apresentarem maior rugosidade superficial o que facilita a ancoragem entre as partículas de borracha e as matrizes polimérica e cimentícia.

## **4.2 Propriedades físicas dos painéis cimento-madeira**

Para a caracterização física dos painéis cimento-madeira foram realizados os testes de densidade aparente, teor de umidade, absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) após duas, e vinte e quatro horas de imersão.

### **4.2.1 Densidade aparente e teor de umidade**

Na Tabela 6, estão apresentados os valores médios de densidade aparente e teor de umidade dos painéis cimento-madeira obtidos para os tratamentos analisados.

Tabela 6 - Valores médios de densidade e teor de umidade dos painéis cimento-madeira

<b>Porcentagem de borracha (%)</b>	<b>Densidade Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
0	1,12 ± 0,03 a	12,49 ± 1,49 a
5	1,13 ± 0,03 a	12,75 ± 0,52 a
10	1,13 ± 0,03 a	12,38 ± 0,37 a
15	1,14 ± 0,03 a	12,21 ± 0,95 a
20	1,12 ± 0,02 a	10,17 ± 0,55 b

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

Nota-se pelos valores da densidade aparente dos painéis, fator este que influencia diretamente nas propriedades físicas, mecânicas e de comportamento térmico, que não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos, ou seja, a inserção da borracha de pneu não provocou alteração na densidade final do produto. A amplitude dos valores médios encontrados foi de 1,12 g/cm<sup>3</sup> a 1,14 g/cm<sup>3</sup>, o que demonstra a homogeneidade na produção dos painéis entre os tratamentos. Segundo Eleotério (2000), a redução da densidade aparente se comparada à densidade nominal que foi de 1,2 g/cm<sup>3</sup>, está relacionada com a perda de materiais e dispersão da massa para uma área maior durante o processo produtivo.

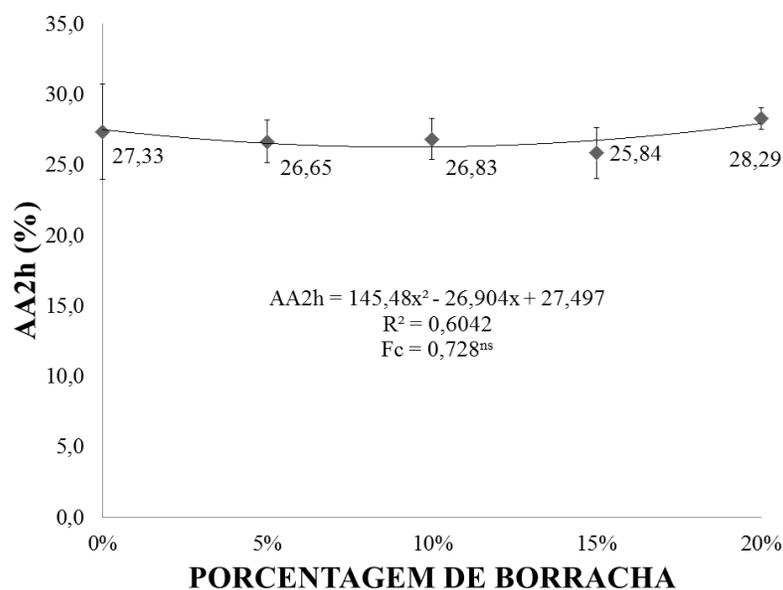
De acordo com os resultados do teor de umidade dos painéis, pode-se observar uma diferença estatística no tratamento contendo 20% de borracha em relação aos demais tratamentos. À medida que se insere o resíduo da borracha de pneu, o teor de umidade dos painéis tende a diminuir, de 12,49% (0% de borracha) para 10,17% (20% de borracha), fato justificado pela hidrofobicidade das partículas de borracha, que pode ter influenciado nas propriedades mecânicas dos painéis. Savastano Júnior (1992), ao estudar a interface fibra-

matriz, observou que a perda da resistência mecânica do compósito está relacionada com o aumento da umidade, pelo fato da variação dimensional da fibra, responsável pelo seu descolamento, diminuindo assim a aderência fibra-matriz.

#### 4.2.2 Absorção de água e inchamento em espessura

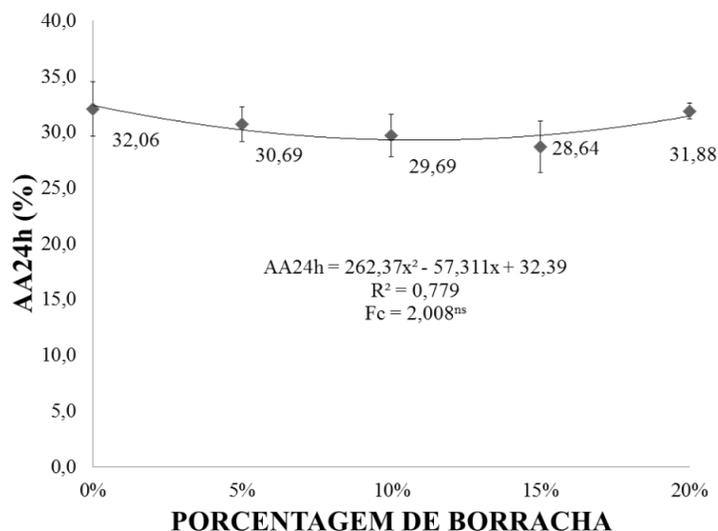
As Figuras 18 e 19 mostram o efeito da substituição da madeira por partículas de borracha de pneu sobre as propriedades absorção de água após 2 horas de imersão (AA2h) e absorção de água após 24 horas de imersão (AA24h), respectivamente.

Figura 18 - Absorção de água após 2 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira.



<sup>ns</sup> Análise de regressão não significativa a nível de 5% de significância. Fonte: Do autor (2016).

Figura 19 - Absorção de água após 24 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira.



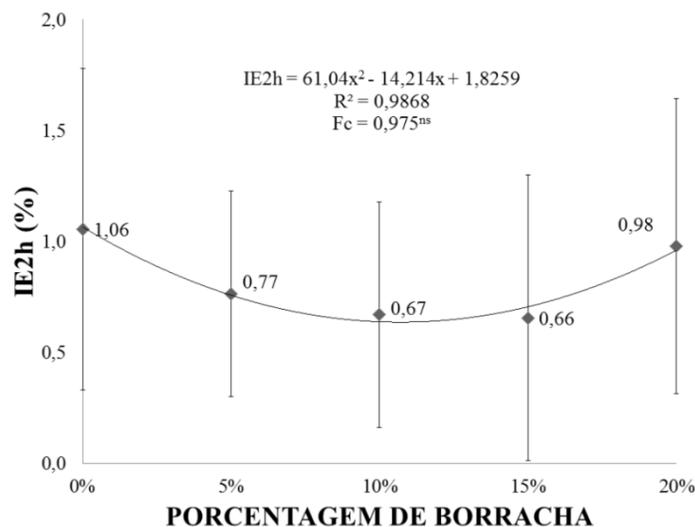
<sup>ns</sup> Análise de regressão não significativa a nível de 5% de significância.  
 Fonte: Do autor (2016).

De acordo com a análise estatística não houve efeito significativo do aumento da porcentagem de borracha nos painéis sobre as propriedades AA2h e AA24h. De forma geral os painéis produzidos com partículas de borracha apresentaram valores médios de absorção de água, durante 2 e 24 horas, inferiores aos painéis produzidos com partículas de madeira. O melhor resultado para a propriedade de AA2h foi obtido para o tratamento contendo 15% de borracha, que apresentou valor médio de 26,83%, ou seja, aproximadamente 5% de redução se comparado ao painel sem adição de borracha. Para absorção de água 24 horas, os valores médios variaram na faixa de 28,64% (15% de borracha) a 32,06% (0% de borracha), apresentando redução de aproximadamente 11%. Estes resultados podem ser explicados pela substituição de um material higroscópico (partículas de madeira), por um material hidrofóbico (partículas de borracha).

Iwakiri e Prata (2008), encontraram um valor médio para AA24h de 14,05% para painéis cimento-madeira com densidade aparente de 1,19 g/cm<sup>3</sup> produzidos com partículas de *Pinus taeda*. Os valores médios encontrados no presente trabalho foram superiores aos obtidos por Iwakiri e Prata (2008), visto que, os painéis obtiveram menor densidade aparente, o que facilita a penetração de água no painel.

Os valores médios para inchamento em espessura após 2 (IE2h) e 24 (IE24h) horas de imersão estão apresentados nas Figuras 20 e 21, respectivamente. Os valores médios de IE2h variaram na faixa de 0,66% (15% de borracha) a 1,06% (0% de borracha). Para a propriedade IE24h os valores médios variaram entre 1,03% (15% de borracha) a 1,83% (0% de borracha). De acordo com a análise de regressão não houve efeito significativo da substituição de borracha de pneu sobre as duas propriedades analisadas.

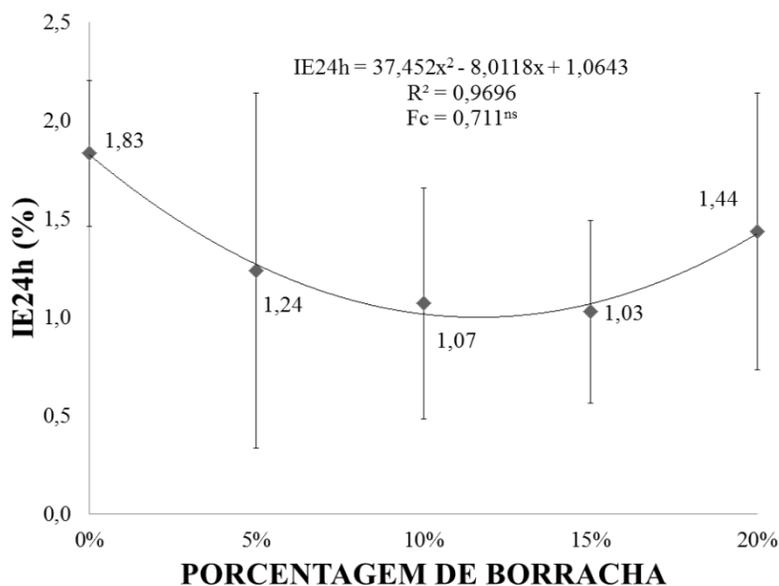
Figura 20 - Inchamento em espessura após 2 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira.



<sup>ns</sup> Análise de regressão não significativa a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

Figura 21 - Inchamento em espessura após 24 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira.



<sup>ns</sup> Análise de regressão não significativa a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

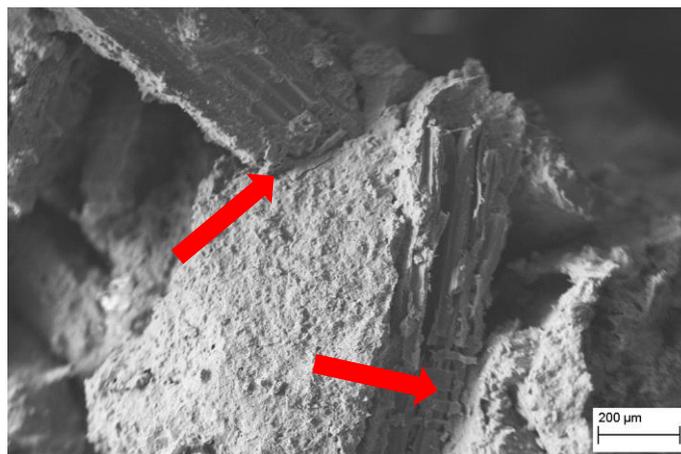
Segundo Viroc (2004), os painéis comerciais de cimento-madeira devem apresentar no máximo 1% de IE2h com variações máximas permitidas nos valores de IE24h entre 1,5 a 1,8%. No processo BISON (BISON WOOD-CEMENT BOARD, 1978), os painéis devem apresentar valores de IE2h inferiores a 1,3% e para IE24h inferiores a 1,8 %.

Apesar da não diferenciação estatística entre os tratamentos, os painéis sem utilização de partículas de borracha de pneu não atendem aos valores médios de IE2h e IE24h determinados pelo processo BISON (BISON WOOD-CEMENT BOARD, 1978) e Viroc (2004). Todos os painéis com substituição da madeira por borracha atendem aos parâmetros obtidos para os painéis comerciais, com destaque para o tratamento contendo 15% de borracha, o qual

obteve os menores valores médios para IE2h e IE24h, sendo estes de 0,66% e 1,03%, respectivamente.

A redução da propriedade de inchamento em espessura dos painéis contendo borracha de pneu, pode estar associada à hidrofobicidade da borracha de pneu e ao fato de não apresentar inchamento da parede celular como acontece com a madeira, possibilitando assim melhor estabilidade dimensional. Assim como também a boa aderência entre as partículas e a matriz cimentícia, causada pelo aumento da rugosidade durante o tratamento, também pode ter corroborado, como observado na Figura 22 (setas vermelhas).

Figura 22 - Micrografia do painel cimento-madeira com adição de 5% de partículas de borracha de pneu.



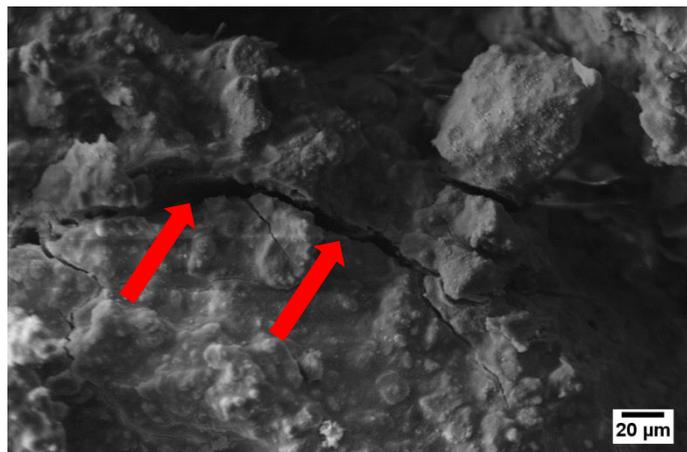
Fonte: Do autor (2016).

Outra questão que merece destaque é que as partículas de madeira podem gerar inibição de cura do cimento (IWAKIRI; PRATA, 2008; SIMANTUPANG; SCHWARZ; BROKER, 1978), o que promove piora da interface entre a partícula e a matriz de cimento, permitindo assim maior movimentação dimensional das partículas, enquanto a inibição não ocorre entre

a borracha e o cimento. Macedo (2008) estudando as propriedades de compósito cimento-madeira-borracha, concluiu através do teste de compatibilidade que, a adição da borracha de pneu e da madeira de *Pinus taeda* acarretou baixa inibição na hidratação do cimento. O autor ressalta que ambos os materiais não retardam o processo de hidratação, mas apenas abaixam a temperatura de hidratação do cimento.

Contudo, observa-se que maiores porcentagens de borracha (20%) promoveram aumento do inchamento em espessura em relação aos demais painéis com partículas de borracha, fato esse associado ao retorno da taxa de pressão aplicada no momento de produção dos painéis, o que gera microtrincas que promovem o aumento do inchamento das partículas de madeira do compósito devido a maior absorção de água, conforme observado para as propriedades AA2h e AA24h (FIGURAS 18 e 19). As microtrincas geradas nos painéis com 20% de borracha podem ser visualizadas na Figura 23. Esse fato também foi observado por Macedo (2008), que encontrou valores médios para inchamento em espessura após 2 horas de imersão de 0,2% para painéis cimento-madeira com 15% de borracha, 0,7% para o tratamento sem borracha e 1,5% para o painel contendo 30% de borracha.

Figura 23 - Micrografia eletrônica de varredura do painel cimento-madeira com adição de 20% de partículas de borracha de pneu.



Fonte: Do autor (2016).

Sá et al. (2010) encontraram para IE2h valores médios entre 0,35% a 0,97% em compósitos cimento-madeira com resíduos da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*) de diferentes procedências e idades. Iwakiri et al. (2015) encontraram valor de 0,79% para IE24h de painéis cimento-madeira produzidos com partículas de *Eucalyptus benthamii*. Iwakiri et al. (2012) encontraram valores de IE24h na faixa de 1,38% a 1,95% para painéis com madeira de paricá. Em estudo realizado utilizando a madeira de *E. grandis* e *E. dunnii* para a produção de painéis cimento-madeira, Iwakiri e Prata (2008) obtiveram valores para IE2h e IE24h variando de 2,26% a 4,13% e de 2,18% a 3,68%, respectivamente.

De um modo geral, em comparação com os dados da literatura para as propriedades físicas, os resultados obtidos para os painéis cimento-madeira borracha se mostraram coerentes e, em alguns casos, com valores médios menores.

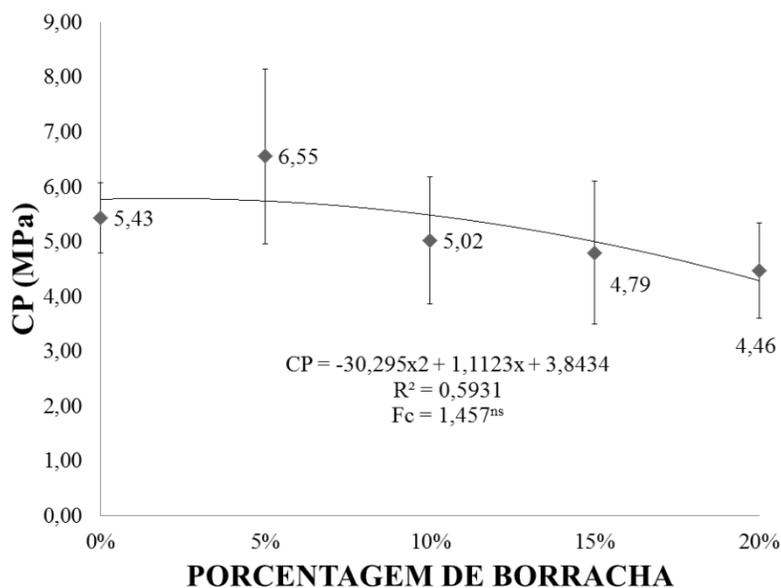
### 4.3 Propriedades mecânicas dos painéis cimento-madeira

Para a caracterização mecânica dos painéis cimento-madeira foram realizados os ensaios de compressão paralela, ligação interna e flexão estática (Módulo de elasticidade e de ruptura).

#### 4.3.1 Compressão paralela e ligação interna

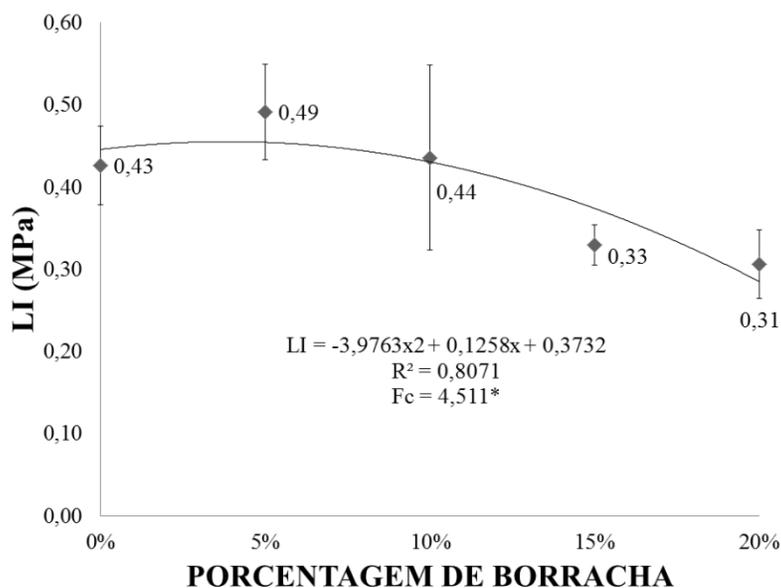
Os valores médios de compressão paralela (CP) e ligação interna (LI) obtidos para os painéis cimento-madeira podem ser observados nas Figuras 24 e 25, respectivamente.

Figura 24 - Propriedade compressão paralela nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira.



<sup>ns</sup> Análise de regressão não significativa a nível de 5% de significância.  
Fonte: Do autor (2016).

Figura 25 - Propriedade ligação interna nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira.



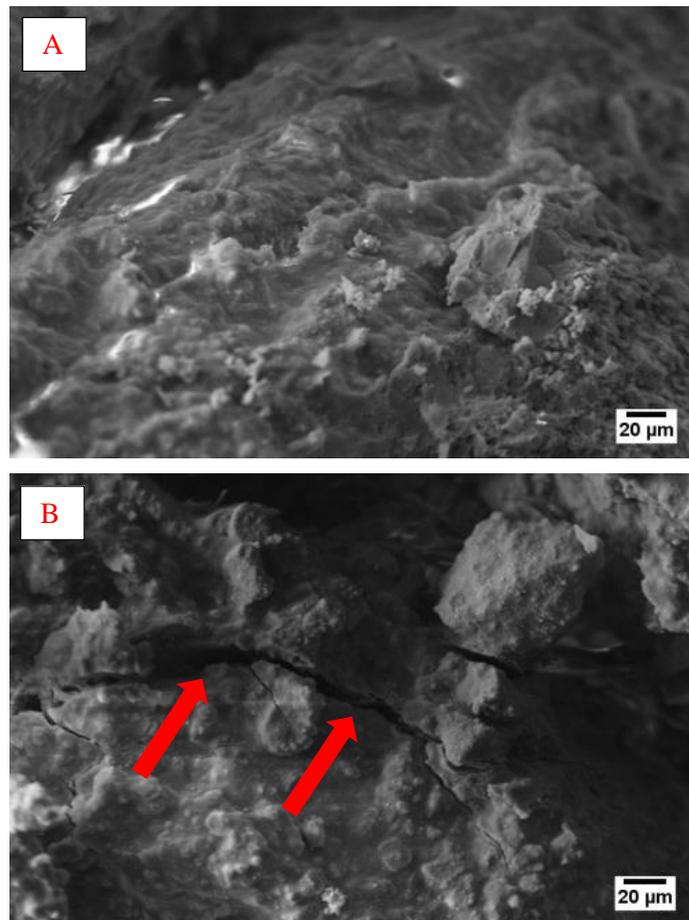
\* Análise de regressão significativa a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

Pode-se observar que não houve efeito significativo da substituição da madeira por partículas de borracha para a propriedade compressão paralela (CP), apesar de se notar diminuição dos valores médios com a substituição de 15 e 20%. Entretanto, para a propriedade de ligação interna (LI) os tratamentos apresentaram efeito significativo. Houve uma tendência de aumento nos valores médios para os painéis contendo 5% de borracha se comparados com o tratamento controle, seguido de diminuição dos valores médios. A porcentagem de 15 e 20% de borracha promoveu efeito negativo aos painéis, proporcionando valores médios para a ligação interna menores que o obtido para os painéis sem adição de borracha.

Assim como explicado para as propriedades físicas, a redução da quantidade de madeira ocorrida pela substituição por partículas de borracha permitiu a melhora das propriedades ligação interna devido uma boa interface entre a borracha modificada com tratamento corona e a matriz de cimento, assim como a diminuição da inibição da cura do cimento com a substituição da madeira. Contudo, com o aumento da quantidade de borracha superior a 10% houve aumento das fissuras geradas, causadas pelo retorno das dimensões das partículas de borracha após a retirada da pressão utilizada na produção dos painéis. A Figura 26 apresenta as micrografias dos painéis cimento-madeira contendo 5 e 20% de partículas de borracha, respectivamente. Pode-se se observar, claramente, a geração das fissuras do cimento em cima das partículas de borracha (setas vermelhas).

Figura 26 - Micrografia do painel cimento-madeira (A) 5% de partículas de borracha de pneu; e (B) 20% de partículas de borracha de pneu.



Fonte: Do autor (2016).

Macedo (2008) também observou a perda da resistência a ligação interna com o incremento da quantidade de partículas de borracha. O autor obteve valores de ligação interna de 0,58 MPa e 0,40 MPa para os painéis sem adição de borracha e com adição de 15%, respectivamente.

Mendes et al. (2011), avaliaram painéis cimento-madeira produzidos com a madeira de *Pinus oocarpa*, cimento Portland CPV–ARI/Plus e densidade nominal de 1,2 g/cm<sup>3</sup> e obtiveram os valores de 10,59 MPa e 0,46 MPa para compressão paralela e ligação interna, respectivamente. Iwakiri e Prata (2007) encontraram valor médio para ligação interna de 0,46 MPa para os painéis produzidos com *Pinus taeda*. Latorraca (2000), avaliando a produção de painéis cimento-madeira utilizando a espécie de *Eucalyptus urophylla*, encontrou valores médios de 3,95 MPa e 0,52 MPa para compressão paralela e ligação interna, respectivamente. Matoski e Iwakiri (2007) trabalhando com diferentes granulometrias de partículas de *Pinus spp.* para a produção de painéis cimento-madeira, obtiveram valores na faixa de 0,30 a 0,54 MPa, para a propriedade de ligação interna.

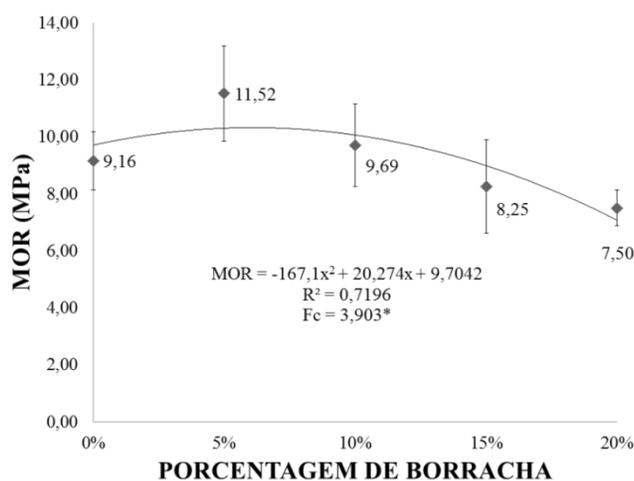
Os valores obtidos foram satisfatórios em relação aos resultados apresentados na literatura e somente os painéis contendo 15 e 20% de partículas de borracha em substituição à madeira não atendem às especificações de painéis comerciais produzidos pelo processo BISON (BISON WOOD-CEMENT BOARD, 1978) que determina valores de ligação interna mínimo de 0,40 MPa. Nenhum tratamento, inclusive os painéis controle, não atenderam às especificações de Viroc (2004), a qual afirma que os painéis comerciais de cimento-madeira devem apresentar 0,50 MPa para a propriedade de ligação interna. Sendo assim, há necessidade de mais estudos para melhorias das propriedades.

#### **4.3.2 Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática**

Nas Figuras 27 e 28 pode ser observado o efeito da substituição da madeira por partículas de borracha de pneu sobre as propriedades módulo de

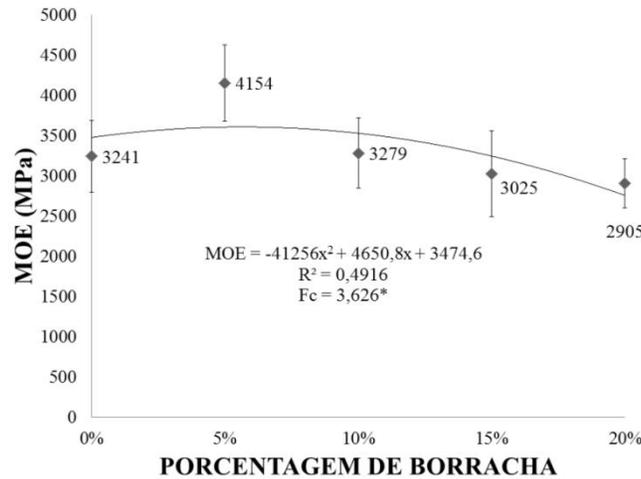
ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática, respectivamente.

Figura 27 - Propriedade módulo de ruptura à flexão estática nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira.



\* Análise de regressão significativa a nível de 5%.  
Fonte: Do autor (2016).

Figura 28 - Propriedade módulo de elasticidade à flexão estática nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis cimento-madeira.



\* Análise de regressão significativa a nível de 5%.

Fonte: Do autor (2016).

Houve efeito significativo da substituição de madeira por partículas de borracha para as propriedades MOR e MOE à flexão estática. Os resultados de MOR e MOE à flexão estática apresentaram a mesma tendência do teste de ligação interna, demonstrando a grande influência da interface partícula-matriz sobre as propriedades dos painéis. Pode-se observar que houve um aumento das propriedades MOR e MOE à flexão estática quando foi substituído 5% da madeira por resíduo de pneu, sendo observadas reduções após essa porcentagem.

Os painéis cimento-madeira contendo 5% de partículas de borracha de pneu apresentaram os maiores valores médios, obtendo 11,52 MPa e 4154 MPa para o módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente. A substituição de 15 e 20% de madeira por borracha de pneu se mostrou prejudicial aos painéis, obtendo valores médios menores que o tratamento controle.

Assim como discutido na propriedade ligação interna, a diminuição da quantidade de madeira e a adição de 5% de borracha de pneu modificada com o tratamento corona permitiu a melhoria da interface com a matriz de cimento. E após a quantidade de 10% de borracha a geração de fissuras (FIGURA 28) promove efeito mais pronunciado, proporcionando reduções das propriedades dos compósitos.

Somente os tratamentos com 0, 5 e 10% de borracha permaneceram acima das especificações de painéis cimento-madeira produzidos pelo processo BISON (BISON WOOD-CEMENT BOARD, 1978) que estipula valores para o módulo de ruptura mínimo de 9,0 MPa. Com relação aos valores do módulo de elasticidade à flexão estática, somente os painéis contendo 20% de borracha não se enquadram às especificações de painéis comerciais produzidos pelo processo BISON (BISON WOOD-CEMENT BOARD, 1978) que estipula valores de módulo de elasticidade mínimo de 3000 MPa.

Em comparação aos painéis comerciais o valor mínimo determinado para o MOR é de 10,78 MPa e para o MOE é de 4500 MPa (VIROC, 2004). Somente o tratamento contendo 5% de borracha atende ao valor de MOR. Em relação ao MOE nenhum tratamento atende ao quesito. Vale lembrar que os painéis comerciais utilizados como comparação apresentam uma faixa mais ampla de densidade, de 1,3 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>, o que certamente proporciona melhora das propriedades de MOR e MOE.

Matoski et al. (2013) avaliando diferentes aceleradores de cura do cimento utilizados para a fabricação de painéis cimento-madeira, encontraram 4,72 MPa para o MOR e 2725,5 MPa para o MOE em painéis produzidos com cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) e madeira de *Pinus spp.*

Macedo (2008) encontrou valores médios para o MOR e MOE dos painéis cimento-madeira produzidos sem adição de borracha de 9,8 e 2936,1

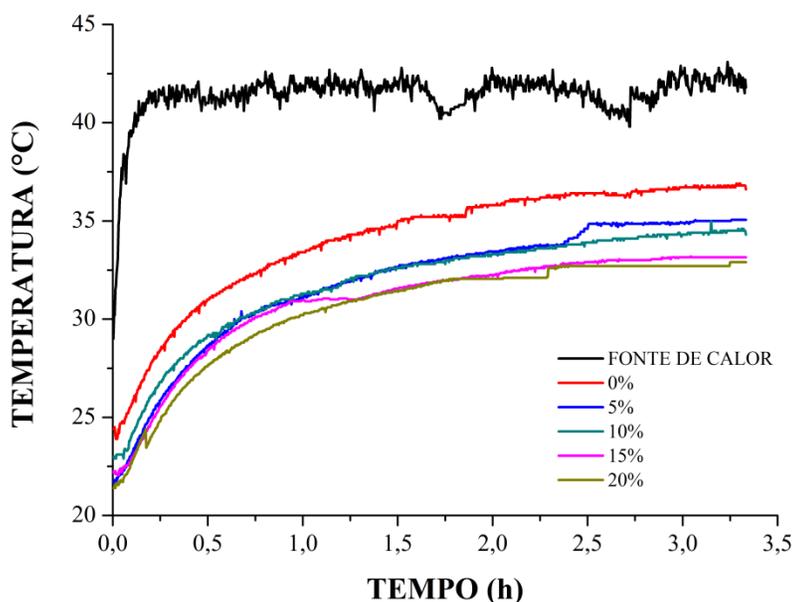
MPa, respectivamente. Entretanto, com adição de 15% de borracha nos painéis, os valores reduziram para 3,8 MPa (MOR) e 1138,4 MPa (MOE).

De forma geral, os resultados das propriedades MOR e MOE dos painéis cimento-madeira produzidos com 5% de partículas de borracha de pneu foram satisfatórios quando comparados com a literatura e com as normas de qualidade.

#### 4.4 Propriedade isolamento térmico dos painéis cimento-madeira

A Figura 29 apresenta as temperaturas registradas pelos sensores durante o tempo de ensaio de isolamento térmico correspondente aos painéis cimento-madeira com inserção de borracha nas porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20%.

Figura 29 - Isolamento térmico dos painéis cimento-madeira com adição de borracha.



Fonte: Do autor (2016).

Observou-se em todos os tratamentos uma diferença na intensidade das temperaturas em relação à fonte de calor na medida em que se inserem partículas

de borracha de pneu nos painéis, essa diferença tende a aumentar. Pode-se dizer que este comportamento está relacionado com a baixa condutividade térmica das partículas de borracha.

De acordo com Cravo (2013) a mistura de diferentes matérias-primas para a produção de painéis é outro fator determinante na propriedade de isolamento térmico, visto que, cada material possui uma condutividade térmica específica, sendo assim, deve levar em consideração a condutividade de cada material.

A Tabela 7 apresenta as temperaturas registradas pelos sensores após 2,5 horas de ensaio (estabilização da temperatura), para os painéis cimento-madeira.

Tabela 7 - Temperaturas dos painéis cimento-madeira registradas pelos sensores

<b>Porcentagem de borracha (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	37
5	35
10	34
15	33
20	33

Fonte: Do autor (2016).

Pode-se observar que os painéis cimento-madeira sem adição de partículas de pneu promoveram o isolamento de 4°C, enquanto que os painéis com 20% de borracha de pneu promoveram a redução de 8°C. Os painéis com 5% de borracha de pneu, os quais foram destaque quanto as propriedades mecânicas, proporcionaram o isolamento de 6°C em relação a fonte de calor, com uma melhoria de 50% em relação aos painéis sem utilização de partículas de borracha.

De forma geral, pode-se concluir que os painéis cimento-madeira com adição de borracha possuem melhor comportamento térmico se comparados aos painéis sem adição de borracha, tornando o material propício para utilização em ambientes onde se deseja obter um melhor conforto térmico. Observa-se ainda que houve uma estabilização do isolamento térmico com a substituição da madeira de pinus por 15 e 20% de borracha de pneu.

#### 4.5 Propriedades físicas dos painéis MDP “*Medium Density Particleboard*”

Para a caracterização física dos painéis MDP foram realizados os testes de densidade aparente, razão de compactação, teor de umidade, absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) após duas, e vinte e quatro horas de imersão.

##### 4.5.1 Densidade aparente, razão de compactação e teor de umidade

Na Tabela 8, estão apresentados os valores médios de densidade aparente, razão de compactação e teor de umidade dos painéis MDP obtidos para os tratamentos analisados.

Tabela 8 - Valores médios de densidade aparente, razão de compactação e teor de umidade dos painéis MDP

Porcentagem de borracha (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )*	Razão de Compactação*	Teor de Umidade (%)*
0	0,63 ± 0,02 a	1,24 ± 0,04 a	9,65 ± 0,21 a
5	0,63 ± 0,01 a	1,26 ± 0,01 a	9,21 ± 0,08 a
10	0,62 ± 0,01 a	1,23 ± 0,02 a	8,91 ± 0,26 b
15	0,62 ± 0,01 a	1,24 ± 0,01 a	8,75 ± 0,53 b
20	0,63 ± 0,02 a	1,25 ± 0,05 a	8,41 ± 0,23 b

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo Teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016).

A densidade aparente dos painéis MDP variou de 0,62 a 0,63 g/cm<sup>3</sup>. Não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados. A NBR 14810 (ABNT, 2006), estipula critérios para a classificação dos painéis com relação à densidade, sendo os painéis produzidos classificados como de média densidade (de 0,60 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>).

Com relação à razão de compactação dos painéis, os valores variaram de 1,23 a 1,26. Não houve diferença significativa entre os tratamentos. Vale ressaltar que, a densidade básica da madeira e da borracha para o cálculo da razão de compactação foi de  $0,50 \pm 0,02$  g/cm<sup>3</sup> e  $0,56 \pm 0,04$  g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

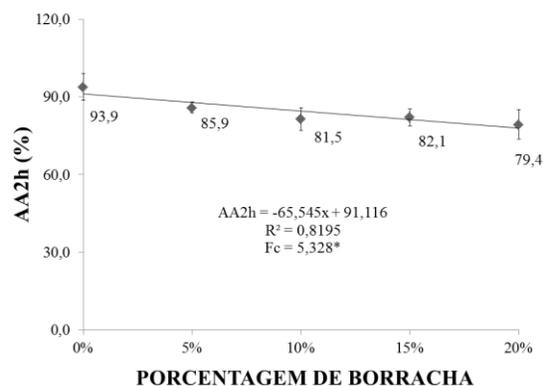
Observa-se que o teor de umidade médio dos painéis fabricados com as partículas de borracha de pneu (10, 15 e 20%) foram inferiores e estatisticamente diferentes dos painéis produzidos com 0 e 5% de borracha. A redução do teor de umidade dos tratamentos contendo 10, 15 e 20% de borracha, em relação ao tratamento sem adição de borracha, foi de 7,67%, 9,33% e 12,85%, respectivamente. Quanto maior a quantidade de partículas de borracha no painel MDP, menor será o teor de umidade final do produto, pelo fato da borracha ser um material hidrofóbico.

A norma brasileira NBR 14810 (ABNT, 2006) estipula valores de umidade entre 5 e 11%, sendo assim, todos os tratamentos se enquadram na norma citada. Oliveira (2013) encontrou valores médios para o teor de umidade dos painéis industriais de pinus de 10,9%.

#### **4.5.2 Absorção de água e inchamento em espessura**

As Figuras 30 e 31 apresentam os valores obtidos para os tratamentos avaliados nos ensaios de absorção após duas (AA2h) e vinte quatro (AA24h) horas de imersão em água.

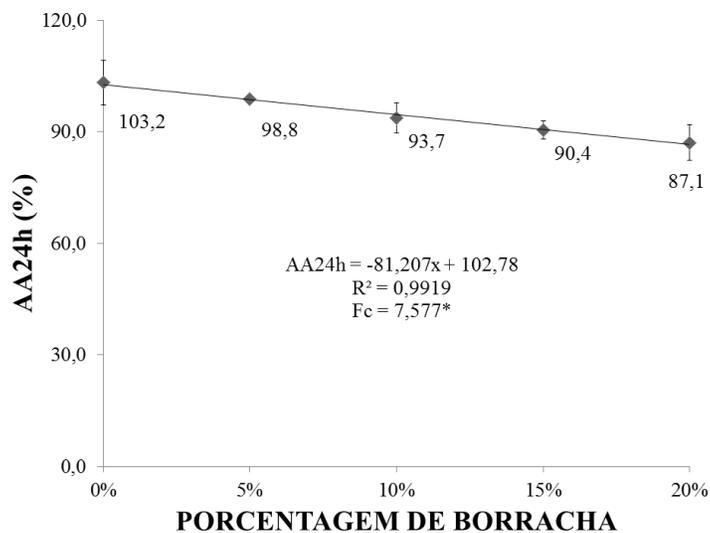
Figura 30 - Absorção de água após 2 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para produção dos painéis MDP.



\* Análise de regressão significativa a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

Figura 31 - Absorção de água após 24 horas de imersão nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para produção dos painéis MDP.



\* Análise de regressão significativa a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

Observou-se efeito significativo da porcentagem de partículas de borracha sobre as propriedades de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão. Verificou-se a diminuição dos valores médios de AA2h e AA24h na medida em que houve o aumento da porcentagem de borracha de pneu. Esse comportamento está relacionado basicamente com o caráter hidrofóbico da borracha de pneu, uma vez que a adição de borracha na quantidade de 20% não proporcionou boa aderência entre as partículas de borracha e as partículas de madeira (FIGURA 32). Funcionamento, a princípio, para a melhoria das propriedades absorção de água e inchamento em espessura, apenas como um material de enchimento hidrofóbico.

Figura 32 - Micrografia eletrônica de varredura do painel MDP com 20% de partículas de borracha de pneu



Fonte: Do autor (2016).

Macedo (2008) encontrou valores médios para os painéis produzidos com 30% de borracha de 65,3% e 69,2% para as propriedades A2h e AA24h, respectivamente, tais valores apresentam uma redução de 10% e 15% em relação aos painéis sem adição de borracha. Os autores relatam que a propriedade de

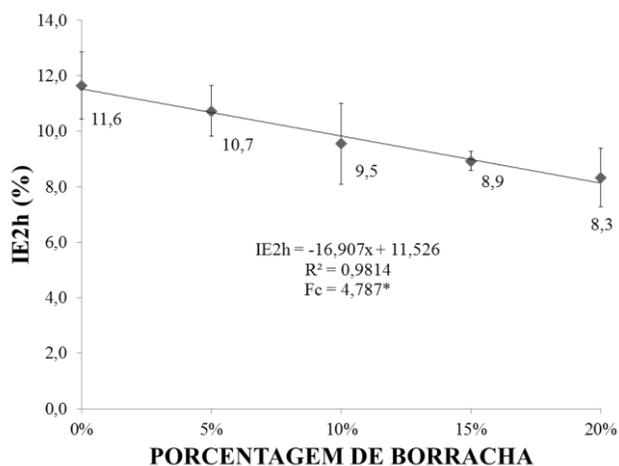
absorção de água é importante para indicar os compósitos com maiores teores de borracha para usos onde a umidade seja fator limitante ao emprego dos painéis de madeira.

Em estudo desenvolvido por Souza et al. (2012), foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas de painéis laboratoriais e industriais de pinus e obtidos valores médios para a AA2h e AA24h de 14,5% e 49,6%, respectivamente. Azambuja (2015) avaliou a possibilidade da utilização de resíduos de madeira da construção civil (MDF, aglomerado, compensado e madeira maciça) para a produção de painéis MDP e obteve valores médios para os painéis apenas com a madeira de pinus de 24,46 e 70,47% para AA2h e AA24h, respectivamente e para os painéis contendo um “mix” de todos os resíduos valores de 17,40 e 52,94% para AA2h e AA24h, respectivamente.

Nas normas referenciais deste trabalho NBR 14810-2 (ABNT, 2006) e EN 312-2 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – ECS, 2003), não há especificações de valores máximos para as propriedades AA2h e A24h, entretanto, os resultados encontrados neste trabalho estão próximos aos da literatura.

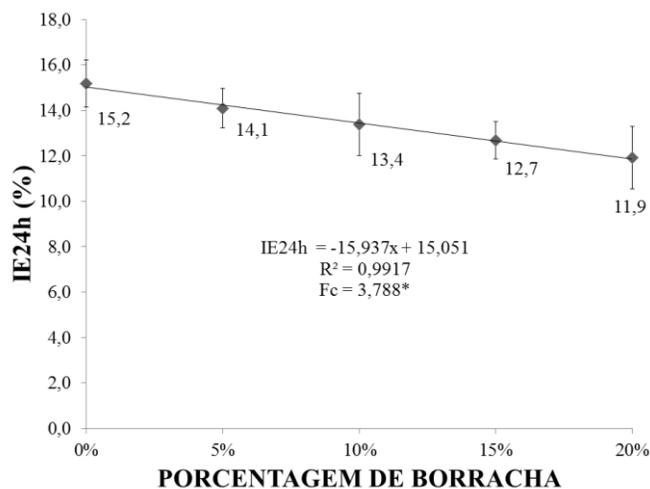
Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis MDP após duas horas de imersão em água (IE2h) e após vinte e quatro horas de imersão em água (IE24h), para cada tratamento, estão apresentados nas Figuras 33 e 34, respectivamente.

Figura 33 - Inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis MDP.



\* Análise de regressão significativa a nível de 5% de significância.  
 Fonte: Do autor (2016).

Figura 34 - Inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis MDP.



\* Análise de regressão significativa a nível de 5% de significância.  
 Fonte: Do autor (2016).

Observou-se correlações significativas entre a porcentagem de borracha nos painéis MDP e o inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão. Sendo verificado, assim como para AA2h e AA24h, a diminuição dos valores de IE2h e IE24h na medida em que se aumentou a porcentagem de substituição de madeira por partículas de borracha de pneu. Fato associado às partículas de borracha serem hidrofóbicas e a redução da quantidade de partículas de madeira proporcionar menor movimentação dimensional da sua parede celular e consequentemente da espessura dos painéis. Para o IE2h e IE24h os valores médios variaram de 11,6 a 8,3% e de 15,2 a 11,9%, respectivamente, para as diferentes porcentagens de borracha (0, 5, 10, 15 e 20%). Destaque para os painéis com 20%, que obtiveram o menor valor nas duas propriedades analisadas IE2h (8,3%) e IE24h (11,9%), ou seja, quanto maior a quantidade de borracha nos painéis, menores são os resultados de IE2h e IE24h pelo fato de absorverem uma menor quantidade de água. As reduções dos valores médios dessas propriedades dos painéis contendo 20% de borracha, em relação aos painéis testemunhas, foram de 28,45% e 21,71%, respectivamente.

Macedo (2008) avaliando painéis MDP produzidos com adesivo fenol-formaldeído e com inserção de borracha em diferentes proporções (0, 15, 30 e 45%), observou que quanto maior a quantidade de borracha inserida nos painéis, menores são os valores de IE2h, sendo que o menor valor encontrado pelo autor foi de 13,5% para o IE2h nos painéis do tratamento com adição de 45% de borracha. O autor justifica o fato devido a menor higroscopicidade da mistura devido à presença de borracha (MACEDO, 2008).

Santos et al. (2011) avaliaram a utilização de resíduos da madeira de candeia na produção de painéis aglomerados com adição de PET nas proporções de 0, 25 e 50% os autores encontraram uma variação de 12,81 a 12,97% para IE2h e entre 18,60 e 15,67% para IE24h, podendo observar que a presença de

partículas de PET diminui o inchamento dos painéis após vinte e quatro horas de imersão em água, visto que, o PET possui caráter hidrofóbico.

A norma EN 312 (ECS, 2003) estabelece valor máximo para IE24h de 14% para painéis MDP de uso geral em condições úmidas. Mediante o exposto, somente os tratamentos contendo 10, 15 e 20% de borracha em sua constituição se enquadram na norma citada, fator este importante para a aplicação do produto final. Vale ressaltar que não foi utilizado nenhum tipo de parafina para diminuir o caráter hidrofílico das partículas de madeira, sendo a inserção da borracha o principal fator para a redução desses valores.

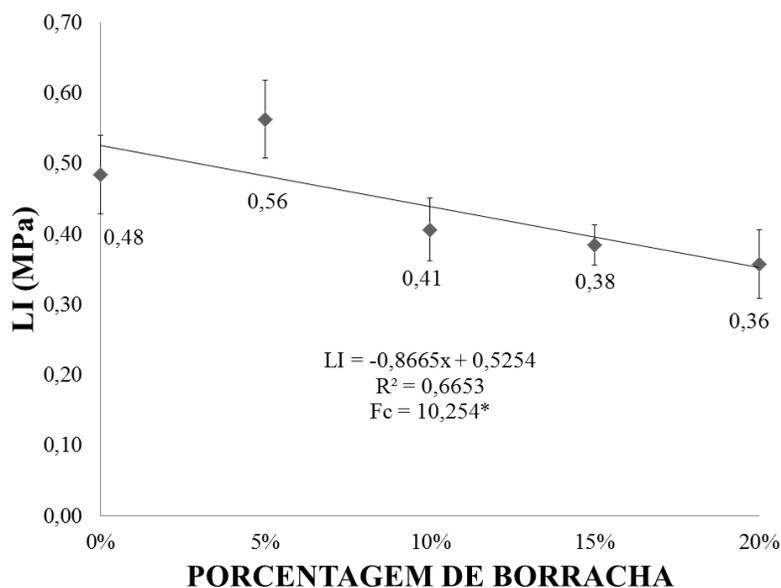
#### **4.6 Propriedades mecânicas dos painéis MDP “*Medium Density Particleboard*”**

Para a caracterização mecânica dos painéis MDP foram realizados os ensaios de compressão paralela, ligação interna e flexão estática (Módulo de elasticidade e de ruptura).

##### **4.6.1 Ligação interna**

Os valores médios de ligação interna dos painéis MDP, para cada tratamento, estão apresentados na Figura 35.

Figura 35 - Propriedade ligação interna nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção dos painéis MDP.



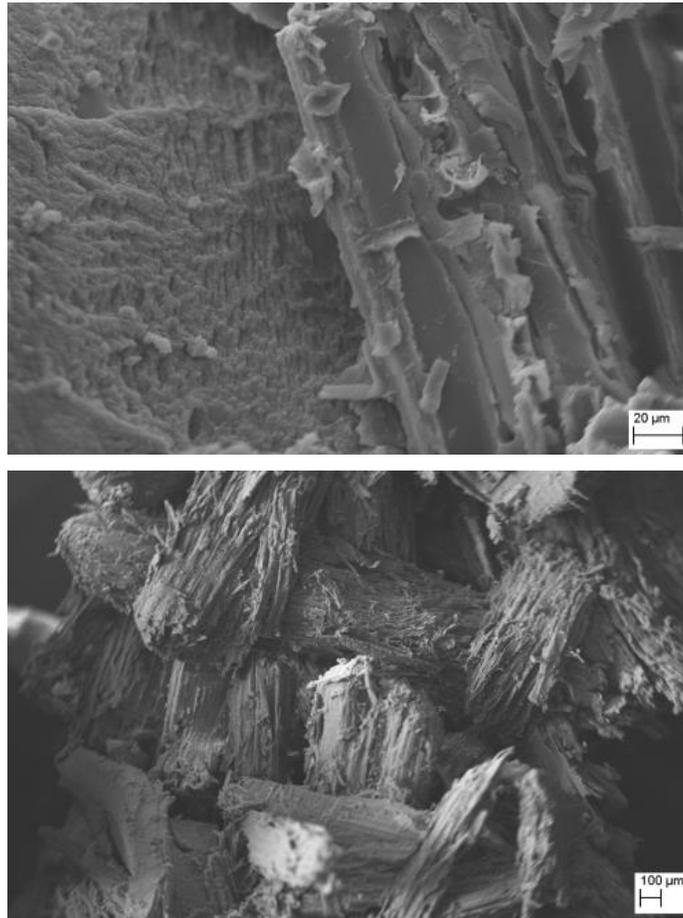
\* Análise de regressão significativa a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

A propriedade de ligação interna foi afetada significativamente pela substituição da madeira de pinus pelas partículas de borracha de pneu. Pode-se observar um acréscimo no resultado para os painéis contendo 5% de borracha, seguida de uma queda dos valores para os demais tratamentos. Valores de 10, 15 e 20% de substituição de madeira por partículas de borracha se mostraram prejudiciais para a propriedade ligação interna, obtendo valores médios inferiores ao obtido para o painel sem utilização de borracha.

A melhora obtida para os painéis com 5% de partículas de borracha provavelmente não está associada a interação entre as partículas de borracha e a madeira proporcionada pelo tratamento corona. De acordo com a Figura 36 não se observa uma boa interação entre as partículas de pneu e de madeira.

Figura 36 - Micrografia do painel MDP com adição de 5% de borracha partículas de borracha de pneu.



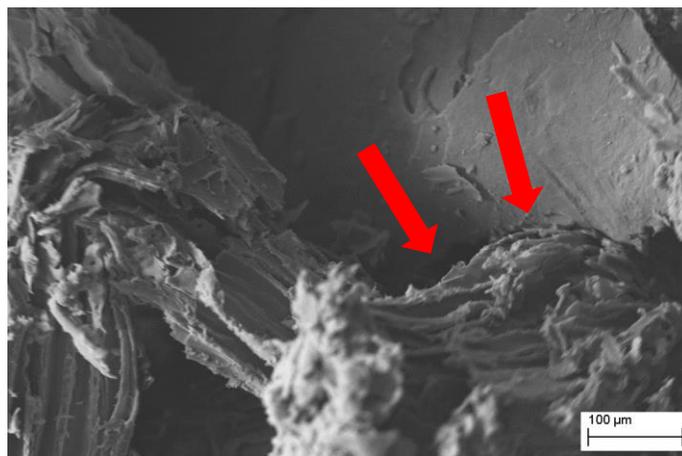
Fonte: Do autor (2016).

Macedo (2008) avaliou painéis produzidos com partículas de *Pinus taeda* e borracha de pneu nas proporções de 0, 15, 30 e 45% e obtiveram valores médios de 0,41; 0,24; 0,18 e 0,09 MPa, respectivamente para a propriedade de ligação interna. O autor explica esse fato pela provável redução da aderência entre as partículas (madeira e borracha) que não estabelecem ligações iônicas entre si. Dessa forma, observa-se que a realização do tratamento corona não foi

suficiente para proporcionar melhoria de ligação entre as partículas de pneu e de madeira.

Sendo assim, o motivo da melhora da propriedade ligação interna pode estar associada ao fato de que a substituição de 5% de partículas de madeira não chega a afetar as ligações entre as partículas de madeira, ficando como um material de enchimento reticulado dentro das partículas de madeira. Ao passo que o adesivo que seria disponibilizado para a porcentagem de pneu fica disponibilizado para as partículas de madeira, melhorando assim sua colagem. Enquanto que em porcentagens maiores (10, 15 e 20%) essa reticulação das partículas de madeira em volta das partículas de pneu não ocorre e mesmo com a disponibilização de mais adesivo ficam expostos pontos frágeis para rompimento, setas vermelhas (FIGURA 37).

Figura 37 - Micrografia eletrônica de varredura do painel MDP com adição de 20% de borracha partículas de borracha de pneu.



Fonte: Do autor (2016).

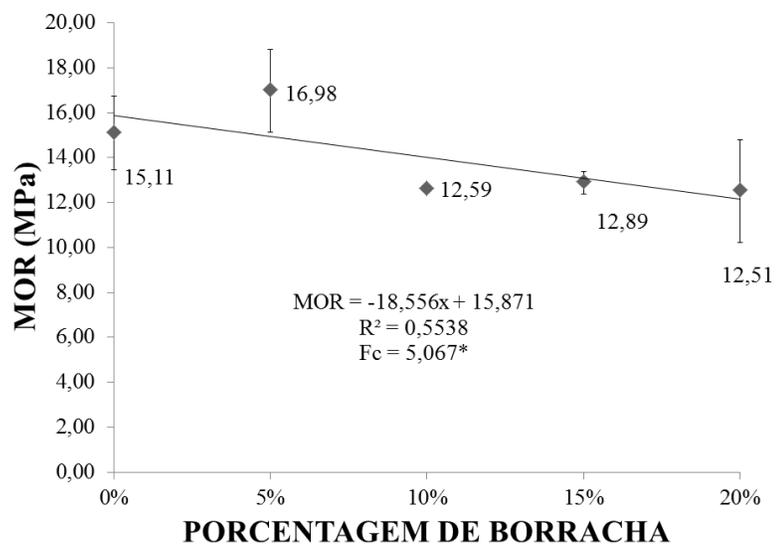
Iwakiri et al. (2001) estudando painéis aglomerados de *Pinus oocarpa* produzidos com 8% de adesivo uréia-formaldeído obtiveram valor médio de 0,82 MPa para a propriedade de ligação interna. Para os painéis industriais de

pinus, eucalipto e bagaço de cana, Mendes et al. (2008) encontraram valores médios para a ligação interna de 0,5 MPa, 0,6 MPa e 0,2 MPa, respectivamente. Jun et al. (2008) avaliaram painéis de partículas de Larch (*Larx gmelini*) e resíduo de borracha de pneu na proporção de 40% em relação a madeira e resinas uréia-formaldeído e PMDI e encontraram valor médio de ligação interna de 0,52 MPa. Observa-se que, de forma geral, os resultados obtidos nesse estudo para a propriedade de ligação interna foram maiores do que os encontrados em literatura. Os valores médios obtidos para todos os tratamentos avaliados estão acima do valor mínimo estipulado na norma EN312 (ECS, 2003), que é de 0,30 MPa.

#### **4.6.2 Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática**

O modelo de regressão ajustado em função do aumento da porcentagem de partículas de borracha de pneu para a propriedade módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática estão apresentados nas Figuras 38 e 39, respectivamente.

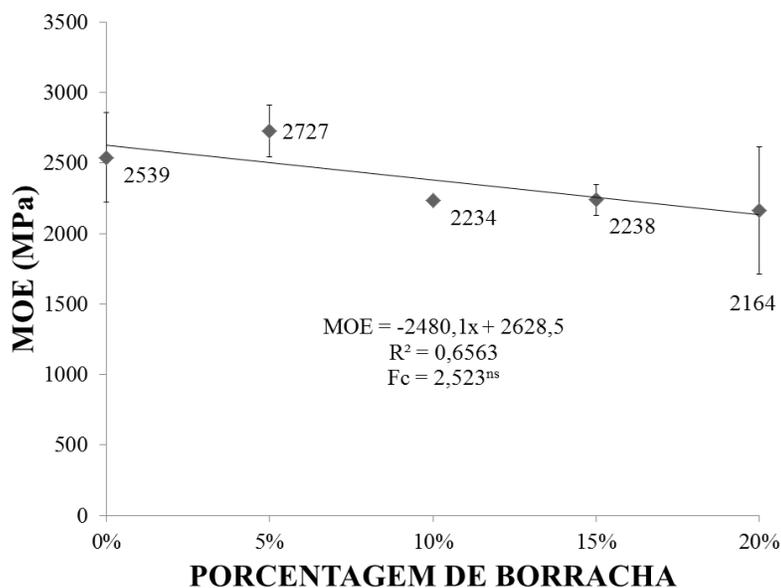
Figura 38 - Propriedade módulo de ruptura à flexão estática nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção de painéis MDP.



\* Análise de regressão significativa a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

Figura 39 - Propriedade módulo de ruptura à flexão estática nos diferentes níveis de porcentagens de borracha avaliados para a produção de painéis MDP.



<sup>ns</sup> Análise de regressão não significativa a nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2016).

Houve efeito significativo da substituição da madeira de pinus pela borracha de pneu apenas para a propriedade módulo de ruptura (MOR). Os maiores valores de MOR e MOE obtidos pelos painéis produzidos com 5% de borracha em substituição a madeira de pinus. Os painéis produzidos com 10, 15 e 20% de partículas de borracha obtiveram valores de MOR e MOE inferiores ao obtido para o painel sem utilização de borracha.

Os valores de MOR e MOE estão diretamente relacionados com a propriedade de ligação interna dos painéis, onde se verifica que a quantidade de 5% de partícula de pneu não afeta a propriedade do painel ao mesmo tempo que

pode ter proporcionado melhor distribuição do adesivo nas partículas de madeira.

Santos et al. (2011) avaliaram a inserção de PET (polietileno tereftalato) na produção de painéis aglomerados com a utilização de resíduos da madeira de candeia e observaram valores médios para o MOR de 6,56 MPa, 5,65 MPa e 9,40 MPa para os painéis produzidos com 0, 25 e 50% de incorporação de PET. Para a propriedade MOE, os autores encontraram valores médios de 979,50 MPa, 775,28 MPa e 426,92 MPa para as mesmas porcentagens de PET. Os autores ainda afirmam que a redução dos valores pode estar associada a composição dos painéis, visto que não foi utilizada nenhuma substância compatibilizante que possa atuar como elo entre as superfícies das matérias-primas.

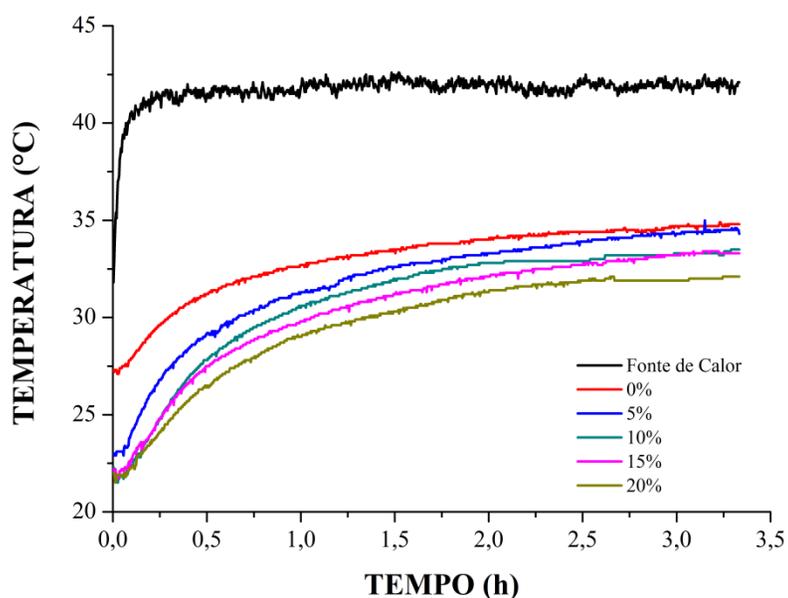
Bertolini (2014) avaliando painéis de resíduos madeireiros e de borracha de pneu associados à espuma poliuretana à base de mamona para aplicação como composições termoacústicas, observou para os painéis apenas com madeira, que os valores variaram de 4,1 a 6,6 MPa; nas composições com adição de borracha, os tratamentos com 50% de borracha tiveram MOR entre 4,4 a 7,9 MPa e os tratamentos com 75% de borracha apresentaram valores entre 4,1 a 9,7 MPa. Para a propriedade módulo de elasticidade, os valores ficaram compreendidos entre 450 a 759 MPa para os painéis apenas com madeira, entre 364 a 593 MPa para os painéis com 50% de borracha e entre 317 a 635 MPa para os painéis com 75% de borracha.

Nesse contexto, quanto ao uso da borracha de pneu em substituição da madeira de pinus para a produção de painéis do tipo MDP, os resultados observados se mostraram coerentes com os obtidos em literatura e também atendem à norma de comercialização EN 312 (ECS, 2003), que estipula valor mínimo de 11 MPa para MOR e 1950 MPa para MOE de painéis MDP de uso interno em condições secas.

#### 4.7 Propriedade de isolamento térmico dos painéis MDP “*Medium Density Particleboard*”

A Figura 40 apresenta as temperaturas registradas pelos sensores durante o tempo de ensaio correspondente aos painéis MDP com inserção de borracha nas porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20%.

Figura 40 - Isolamento térmico dos painéis MDP com adição de borracha.



Fonte: Do autor (2016).

Observa-se que a adição de partículas de borracha de pneu nos painéis MDP afeta diretamente a propriedade de isolamento térmico do material, quanto maior a quantidade de borracha presente no painel, menor foi sua capacidade de transferir calor.

A Tabela 9 apresenta as temperaturas registradas pelos sensores após 2,5 horas de ensaio (estabilização da temperatura), para os painéis MDP.

Tabela 9 - Temperaturas dos painéis MDP registradas pelos sensores.

<b>Porcentagem de borracha (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	35
5	34
10	33
15	33
20	32

Fonte: Do autor (2016).

Pode-se observar que os painéis MDP sem adição de partículas de pneu promoveram o isolamento de 7°C, enquanto que os painéis com 20% de borracha de pneu promoveram a redução de 10°C. Os painéis com 5% de borracha de pneu, os quais foram destaque quanto às propriedades mecânicas, proporcionaram o isolamento de 6°C em relação à fonte de calor, com uma melhoria de aproximadamente 14% em relação aos painéis sem utilização de partículas de borracha. Tal redução viabiliza o uso dos painéis MDP com adição de borracha para fins onde há necessidade de melhores propriedades de conforto térmico.

## 5 CONCLUSÕES

O tratamento corona aplicado nas partículas de borracha de pneu por um período de 20 minutos promoveu alterações na superfície do material e mudança na composição química da borracha.

Utilizações superiores a 10% de partículas de borracha de pneu, em substituição a madeira, para produção de painéis cimento-madeira geram trincas na matriz de cimento, proporcionando redução das propriedades mecânicas e piora das propriedades físicas.

O tratamento corona não foi eficaz para melhoria da ligação entre as partículas de madeira e de borracha para produção dos painéis MDP.

A substituição da madeira de pinus por partículas de borracha de pneu promoveu melhoras significativas das propriedades físicas dos painéis cimento-madeira e MDP.

A utilização de 5% de partículas de borracha de pneu promoveu melhoras significativas de todas as propriedades mecânicas avaliadas para os painéis cimento-madeira e MDP.

A utilização de partículas de borracha contribuiu de maneira positiva para a melhoria do isolamento térmico dos painéis cimento-madeira e MDP.

Recomenda-se a utilização de 5% de substituição de partículas de madeira por partículas de borracha de pneu para produção dos painéis cimento-madeira e MDP, permitindo, assim, melhoria das propriedades físicas, mecânicas e de isolamento térmico de ambos os tipos de painéis.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, A. J. **Estudo dos efeitos do tratamento corona em superfícies de filmes EPDMIPP através de medidas de ângulo de contato**. 2003. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis**: alternativas possíveis de reutilização. 2007. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM: D-1037** - standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philadelphia, 2012. 32 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM: D-1200** - standard test method for determining the viscosity of paints and related coatings by the ford viscosity cup test. Philadelphia, 1994. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8877**: adesivos - determinação do teor de sólidos. Rio de Janeiro, 2007. 2 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, Brasil, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810**: chapas de madeira aglomerada parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, Brasil, 2006. 51 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **Comércio exterior**. Disponível em: <[www.anip.com.br/arquivos/comercio-exterior.pdf](http://www.anip.com.br/arquivos/comercio-exterior.pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2015a.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **Matérias-primas**. Disponível em: <[www.anip.com.br/?cont=fabricacao](http://www.anip.com.br/?cont=fabricacao)>. Acesso em: 05 ago. 2015b.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **Produção e vendas**. Disponível em: <[www.anip.com.br/arquivos/producao\\_vendas.pdf](http://www.anip.com.br/arquivos/producao_vendas.pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2015c.

AYRILMIS, N.; LAUFENBERG, T. L.; WINANDY, J. E. Dimensional stability and creep behavior of heat-treated exterior medium density fiberboard. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 67, n. 3, p. 287-295, Aug. 2009.

AZAMBUJA, R. da R. **Aproveitamento de resíduos de construção e demolição para produção de painéis aglomerados**. 2015. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BASSO, V. M. et al. Mercado de produtos madeireiros certificados na indústria de painéis. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 25, n. 140, p. 4-10, out. 2014.

BERTOLINI, M. S. **Painéis de resíduos madeireiros e de borracha de pneu associados à espuma poliuretana à base de mamona para a aplicação como composições termoacústicas**. 2014. 256 p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison Report**. Berlin, 1978. 10 p.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Malabar: Krieger, 1993. 712 p.

CARNEIRO, M. P. **Caracterização das propriedades de superfície de filmes de polipropileno tratados com descarga corona**. 2001. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

CARVALHO, S. T. M. **Propriedades térmicas do painel aglomerado de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*)**. 2012. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CASAGRANDE, M. C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 1/2, p. 34-42, jan./abr. 2008.

CHAMMA, P. V. C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. 2004. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

CHAN, C. M. **Polymer surface modification and characterization**. Berlin: H. Gardner, Publishers, 1994. 295 p.

COATES, G. R. Product application of wood-cement particleboards including applied finishes. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONFERENCE, 4., 1994, Washington. **Proceedings...** Madison: Forest Products Society, 1994. v. 1, p. 189-192.

CRAVO, J. C. M. **Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas**. 2013. 166 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 52362**: testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982. p. 39-40.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 121 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312**: particleboard specifications. Bruxelas, 2003. 22 p.

FARRAPO, C. L. et al. Utilização da madeira de *Pterocarpus violaceus* na produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 329-335, set. 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Forest products**: 201-2014. Roma, 2016. 358 p. (FAO Forestry Series, n. 49. FAO Statistics Series, n. 205).

GALLE, A. da H. et al. A influência do pneu no meio ambiente. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO, 2010, Guarujá. **Anais...** Guarujá, 2010. p. 1-12. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/sici-unaerp/edicoes-antiores/2010/secao-1-6/1196-a-influencia-do-pneu-no-meio-ambiente/file>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

GHOFRANI, M.; RABIEI, A. Study of the physical and mechanical properties of composite boards made of a mixture of poplar chips and recycled tires.

**Environmental Sciences**, v. 6, n. 1, p. 123-129, 2008.

HUNT, B. J.; JAMES, M. I. **Polymer characterization**. London: Blackie Academic, 1993. 214 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório de 2015**. Disponível em: <[http://www.iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2015.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “paricá” e *Cecropia hololeuca* “embaúba” para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, jun./abr. 2012.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 137-142, jan./dez. 2001.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 99, p. 10-14, set. 2006.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melanina-ureia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

IWAKIRI, S. et al. Propriedades tecnológicas de painéis cimento-madeira produzidos com partículas de eucalipto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 14, n. 3, p. 217-223, nov. 2015.

IWAKIRI, S. et al. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 1, n. 1/2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis de cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 68-74, jan./mar. 2008.

JUN, Z. et al. Optimization of processing variables in wood-rubber composite panel manufacturing technology. **Bioresource Technology**, Barking, v. 99, n. 7, p. 2384-2391, May 2008.

KRÜGER, E. L. et al. Thermal analysis of wood-cement panels: heat flux and indoor temperature measurements in test cells. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 23, n. 6, p. 2299-2305, June 2009.

LATORRACA, J. V. F. ***Eucalyptus spp.* na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas de painéis de cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 84-93, jan./dez. 2001.

LIMA, C. S. **Caracterização de ligantes asfálticos modificados com borracha de pneu e aditivo**. 2008. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MACEDO, D. G. **Compósitos de serragem de madeira e resíduos de recauchutagem de pneu**. 2008. 144 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26, Feb. 1993.

MATOSKI, A. et al. Influence of accelerating admixtures in wood-cement panels: characteristics and properties. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 35, n. 4, p. 655-660, Oct./Dec. 2013.

MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 149-158, maio/ago. 2007.

MATTOS, R. L. G. et al. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MAURER, J. J. **Thermal characterization of polymeric materials**. New Jersey: Academic Press, 1981. 571 p.

MENDES, L. M. et al. Potencial de utilização da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* na produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 69-75, jan./mar. 2011.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S. Perspectivas para o uso da madeira de eucalipto para produção de OSB (Oriented Strand Board). In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras, 2002. p. 156-165.

MENDES, L. M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, R. F. et al. Qualidade de painéis aglomerados produzidos na China utilizando bagaço de cana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina, 2008. p. 261-262.

MESQUITA, R. G. A. et al. Inclusão de feixes de sisal na produção de painéis MDP de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 75-82, mar. 2015.

MODESTO, C. et al. Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 14-18, jul./ago. 2003.

MORI, F. A. **Caracterização parcial dos taninos das cascas de Eucalyptus para produção de adesivos**. 2000. 73 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F.; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood-portland cement water systems. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 15, n. 2, p. 164-176, Apr. 1983.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 912 p.

NOHARA, J. J. et al. GS-40 - Resíduos sólidos: passivo ambiental e reciclagem de pneus. **Thesis**, São Paulo, v. 1, v. 3, p. 21-57, 2005.

OLIVEIRA, O. J.; CASTRO, R. Estudo da destinação e da reciclagem de pneus inservíveis no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: ABEP, 2007. p. 1-9. Disponível em:  
<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007\\_tr650481\\_0291.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr650481_0291.pdf)>. Acesso em: 06 ago. 2015.

OLIVEIRA, S. L. **Painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar:** caracterização visando ao uso na indústria moveleira. Lavras: Editora da UFLA, 2013. 141 p.

PEDROSA, A. de L. et al. Produção de vigas estruturais em perfil “I” com painéis de madeira reconstituída de *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 3, p. 443-449, set./dez. 2005.

RODRIGUES, M. R. P. **Caracterização e utilização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compósitos aplicáveis na construção civil.** 2008. 290 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

RODRIGUES, M. R. P.; FERREIRA, O. P. Compósito cimentício com adição de partículas de borracha de pneus inservíveis. **Minerva: Pesquisa e Tecnologia**, São Carlos, v. 6, n. 3, p. 255-261, 2006.

SANTOS, R. C. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas.** 2008. 159 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SANTOS, R. C. et al. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 149-158, jan./mar. 2011.

SÁ, V. A. et al. Manufatura de painéis cimento-madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) de diferentes procedências e idade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 559-566, dez. 2010.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Zona de transição entre fibras e a pasta de cimento Portland:** caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito. 1992. 209 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

SAWSEN, C. et al. Effect of flax fibers treatments on the rheological and the mechanical behavior of a cement composite. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 79, p. 229-235, Mar. 2015.

SEGRE, N. C. et al. Tire rubber-cement composites: effect of slag on properties. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, n. 324, p. 283-292, Oct./Dec. 2006.

SEGRE, N. C.; JOEKES, I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 30, n. 9, p. 1421-1425, 2000.

SEGRE, N. C. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento**. 1999. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

SELLIN, N. **Análise da superfície de polímeros pós-tratamento corona**. 2002. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SIBILIA, J. P. **A guide to materials characterization and chemical analysis**. New York: VCH Publishers, 1988. 408 p.

SILVA, G. A. et al. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 51-60, 2006.

SILVA, M. L. C. P. et al. Análise composicional de borracha de pneu desvulcanizada por microondas utilizando termogravimetria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 8., 2005, Águas de Lindóia. **Anais...** São Carlos, 2005. p. 101-102.

SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ, G. H.; BROKER, F. W. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8., 1978, Jakarta. **Proceedings...** Jakarta, 1978. p. 98-120.

SOUZA, K. B. et al. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de pinus de origem industrial e laboratorial. **Scientia Plena**, Aracajú, v. 8, n. 4, p. 1-5, 2012.

STROBEL, M. et al. Analysis of air-corona-treated polypropylene and poly (ethylene terephthalate) films by contact angle measurements and X-ray photoelectron spectroscopy. **Journal of Adhesion Science and Technology**, Utrecht, v. 6, n. 4, p. 429-443, 1992.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 2008. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

VIROC. **Características Viroc**. Lisboa, 2004. Disponível em: <[http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Nova\\_Gama\\_Viroc/Viroc\\_Fichas\\_de\\_Produto\\_PT\\_EN\\_FR.pdf](http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Nova_Gama_Viroc/Viroc_Fichas_de_Produto_PT_EN_FR.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2016.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WEI, Y. M.; BUNICHIRO, T. Effects of five additive materials on mechanical and dimensional properties of wood cement-bonded boards. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 47, n. 6, p. 437-444, Dec. 2001.

WILLIAMS, P. T.; BESLER, S.; TAYLOR, D. T. The pyrolysis of scrap automotive tyres. **Fuel**, London, v. 69, n. 12, p. 1474-1482, Dec. 1990.

WITMANN, G. C. P. Tratamento superficial de filmes plásticos. **Revista Tecnologia Gráfica**, São Paulo, n. 75, 2010. Disponível em: <[http://www.revistatecnologiagrafica.com.br/index.php?option=com\\_content&id=1481:tratamento-superficial-de-filmes-plasticos&Itemid=183](http://www.revistatecnologiagrafica.com.br/index.php?option=com_content&id=1481:tratamento-superficial-de-filmes-plasticos&Itemid=183)>. Acesso em: 06 ago. 2015.

ZHAO, J. et al. Optimization of processing variables and mechanical properties in rubber-wood particles reinforced cement based composites manufacturing technology. **Composites Part B: Engineering**, Oxford, v. 50, p. 193-201, July 2013.

ZHAO, J. et al. Sound insulation property of wood-waste tire rubber composite. **Composites Science and Technology**, Oxford, v. 70, n. 14, p. 2033-2038, Nov. 2010.

ZHOW, D. A. Study of oriented structural board made from hybrid poplar. Physical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7/8, p. 293-296, Aug. 1990.