

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE COMPÓSITOS MINERAIS PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE MADEIRA PASSANTE NA PENEIRA 1,2 mm

## Comparative analysis between mineral composites produced with wood particles passing on the size 1,2 mm

Tháisa Mariana Santiago ROCHA<sup>1</sup>, Leonardo Fagundes Rosembach MIRANDA<sup>2</sup>

Recebido em 03 de maio de 2019; aceito em 16 de agosto de 2019; disponível on-line em 03 de junho de 2020.



### PALAVRAS CHAVE:

Compósito de madeira;  
Resíduo de construção e demolição (RCD);  
Cimento Portland;  
Gesso;  
Composição granulométrica;

### KEYWORDS:

Composite wood;  
Construction and demolition waste (CDW);  
Portland cement;  
Gypsum;  
Granulometric composition.

**RESUMO:** Os compósitos de madeira surgiram como alternativa para o aproveitamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) de madeira. O cimento Portland tem sido utilizado como aglomerante conferindo resistência e durabilidade, entretanto a combinação destes materiais pode resultar na inibição da pega. Em contrapartida, poucos estudos têm sido realizados com compósitos de madeira utilizando o gesso como aglomerante. O objetivo deste trabalho consiste em avaliar a influência de dois diferentes aglomerantes (cimento Portland e gesso) nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos produzidos com partículas de madeira (de compensado, eucalipto e pinus), provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), passante na peneira 1,2 mm. Os resíduos de madeira de construção foram moídos, tratados, peneirados e caracterizados através da massa unitária e do teor de umidade. Foi utilizado o cimento CPV-ARI, o gesso de pega lenta, o aditivo acelerador de pega. Foram realizados os ensaios de densidade endurecida, resistência à tração na flexão e resistência à compressão, aos 28 dias. Os resultados indicaram que quanto maior a quantidade de partículas de madeira na composição, menor é a densidade e a resistência à compressão do compósito. Todos os compósitos produzidos com cimento-madeira apresentaram densidade inferior ao estipulado pela NBR 15498. As densidades dos compósitos de gesso-madeira, no teor de 15% de partículas, aproximaram-se dos valores indicados pela NBR 14715.

**ABSTRACT:** Wood composites appear as an alternative for the reuse of construction and demolition waste (CDW) of wood. Portland cement has been used as a binder conferring strength and durability, however the combination of these materials may result in handle inhibition. In contrast, few studies have been carried out with wood composites using gypsum as a binder. In this paper the influence of two binders (Portland cement and gypsum) was evaluated in relation to the physical and mechanical properties of composites produced from wood particles (plywood, eucalyptus and pine) from construction and demolition waste (CDW) passing on the size 1.2 mm. The wood residues were ground, treated, sieved and characterized by unit mass and moisture content. The CPV-ARI cement was used, the slow gypsum plaster, the handle accelerator additive. The tests of hardened specific gravity, flexural and the compressive strength in the hardened stage at 28 days. The results indicated that the higher the amount of wood particles in the composition, the lower hardened specific gravity and the compressive strength of the composite. All composites produced with cement-wood presented a hardened specific gravity lower than that stipulated by NBR 15498. The hardened specific gravity of the gypsum-wood composites, in the content of 15% of particles, approached the values indicated by NBR 14715.

### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup>e-mail: thaisamsrocha@yahoo.com.br (T. M. S. Rocha)

Engenheira Civil, Mestre em Engenharia de Construção Civil, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná,

<sup>2</sup>e-mail: reciclagem.miranda@gmail.com (L. F. R. Miranda)

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil, Professor do Departamento de Construção Civil (DCC) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do setor da construção civil está diretamente relacionado ao avanço tecnológico. Sendo um dos setores mais importantes da economia brasileira, recebendo investimentos próximos a 10% do PIB (DECONCIC, 2015) e empregando 13 milhões de pessoas (ABRAMAT, 2016). Devido à sua magnitude, além de ser capaz de consumir cerca de 50% dos recursos naturais extraídos (CBCS, 2014), e apresentar um consumo per capita de agregados de 3,7 ton/hab.ano (ANEPAC, 2015), produz uma quantidade de resíduos de construção e demolição (RCD) significativa (CBCS, 2014) e apresenta um alto consumo de energia (CHERKI et al., 2014), sendo responsável por, aproximadamente, 40% das emissões de CO<sub>2</sub> no mundo (KILBERT, 2016). Estima-se que a maior parte dos materiais retornem à natureza como resíduos antes de completar o primeiro ano após sua extração (MATTHEWS et al., 2000), seja como resíduos da produção de materiais ou como resíduo resultante da execução inadequada da obra. Em 2014 o consumo de madeira para uso temporário em obras aumentou em torno de 242%, quando comparado com o ano de 2001, chegando a 80% do total da madeira utilizada por este setor (SEBRAE, 2014). Miranda, Angulo e Careli (2009) apontam, ainda, que os resíduos de madeira representam cerca de 31% de todo o volume de resíduo de construção gerado numa obra de um edifício residencial.

Devido ao aumento da geração de resíduos de construção e demolição (RCD), tornou-se necessária a utilização de materiais de construção mais sustentáveis. A indústria de materiais de construção tem sido pressionada a desenvolver produtos de baixo custo, produzidos com baixo consumo de energia e que sejam ecologicamente corretos, devido à escassez das matérias-primas para a produção desses materiais. Por isso, engenheiros têm sido desafiados a converter resíduos industriais em materiais úteis para a construção, principalmente

em países em desenvolvimento, pois eles podem contribuir para o rápido crescimento de sua infraestrutura (SWAMY, 1990; TURGUT, 2007). Pesquisadores têm aprofundado seus estudos na incorporação de resíduos em diversas atividades, como em painéis de madeira aglomerada (IWAKIRI et al., 2000), em compósitos de plástico-madeira (YAMAJI, 2004) e em compósitos de madeira-cimento (LIMA, 2009; PARCHEN, 2012; VILLAS-BÔAS, 2016).

A madeira é um produto renovável capaz de absorver CO<sub>2</sub> através do processo de fotossíntese, além de necessitar de pouca energia nos processos de manufatura, contribuindo indiretamente para a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> (JONES, 1998). A não emissão de carbono tem sido considerada um benefício proporcionado pela madeira ao ser comparada com outros materiais quando utilizados para a mesma função (KHATIB, 2016). A incorporação e/ou a introdução da madeira como material de construção proporciona a redução da emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera (MATOSKI, 2005; GUSTAVSSON, SATHRE, 2006).

Uma alternativa para a utilização da madeira proveniente de resíduos de construção são os compósitos. Compósitos de madeira são considerados materiais com baixa densidade, baixa permeabilidade, bom isolamento termoacústico, baixo custo da matéria-prima, grande disponibilidade (SOUZA, 2006). Esses materiais são geralmente produzidos a partir da mistura de um aglomerante com as partículas de madeira e dentre os aglomerantes, os principais são: o gesso, o cimento de magnésio e o cimento Portland (YOUNGQUIST, 1999). Nos compósitos, o aglomerante atua como ligante, sendo capaz de transmitir os esforços entre as fibras, mantendo-as protegidas do meio e permitindo sua orientação adequada (MATOSKI, 2005).

O cimento proporciona aumento da durabilidade, maior resistência à umidade e a ataques biológicos, alta estabilidade dimensional, e maior resistência ao fogo. Enquanto que a

presença das partículas de madeira propicia maior resistência à matriz cimentícia com relação à ruptura, maior leveza quando comparado às peças de concreto, maior trabalhabilidade e melhores propriedades termoacústicas. Porém, o sucesso desta combinação depende do entendimento de suas interações químicas e das propriedades do material resultante (STOKKE, WU, HAN, 2014). Neste sentido, compósitos com partículas de madeira, envolvidas por um ligante – cimento Portland – apresentam maior resistência quando comparados aos materiais separados, além de baixa densidade (MATOSKI, IWAKIRI, 2007).

No entanto, a utilização de material vegetal em uma matriz de cimento, também, apresenta efeitos deletérios sobre o aglomerante. É possível que ocorra um retardamento significativo ou, até mesmo, o impedimento total do processo de pega do cimento (MACEDO et al., 2011). Cada espécie de madeira possui diferentes tipos e quantidades de extrativos de madeira, provocando diferentes efeitos sobre a hidratação do cimento (NA et al., 2014). A composição granulométrica das fibras vegetais também pode influenciar na compatibilidade entre o cimento e a madeira (KARADE, IRLE, MAHER, 2006).

É possível melhorar a compatibilidade entre a madeira e o cimento através da realização de tratamentos físicos, químicos e biológicos, sendo os mais simples e usuais a remoção dos extrativos utilizando água fria, quente ou extração por solventes orgânicos, como etanol, tolueno e outros (CASTRO, 2015). Alguns métodos são utilizados para minimizar o efeito da incompatibilidade entre o cimento e a madeira, entre eles o uso de preservativos de madeira, o armazenamento prolongado da madeira, a extração dos açúcares solúveis em água quente e fria, a mistura com aditivos químicos ou aceleradores em solução diluída (MOSLEMI, GARCIA, HOFSTRAND, 1983).

Utilizar o gesso, que durante sua produção emite uma quantidade menor de CO<sub>2</sub> quando comparado ao cimento Portland (CARVALHO et al., 2008), como aglomerante é

uma hipótese para tentar obter um compósito com menor custo, maior leveza e com menor impacto ambiental. Diferente do que ocorre em compósitos produzidos com cimento Portland, os extrativos da serragem, por exemplo, que reagem ao entrarem em contato com a água, podem não influenciar, negativamente, no desempenho das propriedades mecânicas do gesso (DAI, FAN, 2015).

Pesquisadores como Tonoli et al. (2010) e Stasiak et al. (2015) avaliaram a influência da utilização de partículas de madeira com diferentes dimensões em compósitos à base de cimento, mas estudos complementares ainda são necessários, principalmente quando são utilizados outros tipos de aglomerantes como, por exemplo, o gesso.

## 2. OBJETIVO

A presente pesquisa tem como objetivo avaliar a influência de dois diferentes aglomerantes (cimento Portland e gesso) nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos produzidos com partículas de madeira (de compensado, eucalipto e pínus), provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), passante na peneira 1,2 mm.

## 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foram produzidos compósitos de cimento-madeira e de gesso-madeira cujas partículas de madeira eram provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD). Os resíduos de compensado, eucalipto e pínus foram moídos e classificados, sendo que as partículas utilizadas foram as passantes na peneira 1,2 mm.

### 3.1 MATERIAIS

Foram utilizados como aglomerantes o cimento Portland (CP V ARI) (Tabela 1) com finura blaine de 4955 cm<sup>2</sup>/g e massa específica de 2,98 g/cm<sup>3</sup>, e o gesso de pega lenta que foi

caracterizado através do ensaio de fluorescência de raios-X (FRX) (Tabela 2). Para os compósitos de cimento-madeira foi utilizado aditivo acelerador de pega (no teor de 5% com relação à massa de cimento) (Tabela 3).

As partículas de madeira são provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), sendo: compensado, eucalipto e pinus. Os resíduos de madeira foram coletados em

canteiros de obra e moídos em um moinho de martelos portátil com potência de 5,0 cv e 1160 RPM. As partículas utilizadas neste estudo são passantes na peneira com abertura de 1,2 mm da série normal NBR NM 248 (ABNT, 2003), e foram caracterizadas quanto à massa unitária NBR NM 45 (ABNT, 2006) e ao teor de umidade NBR 7190 (ABNT, 1997) (Tabela 4).

**TABELA 1: Composição química do cimento Portland.**

Perda ao fogo (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Resíduo insolúvel (%)
3,50	5,50	3,10	11,80

FONTE: O fabricante (2016).

**TABELA 2: Composição química do gesso.**

SO <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SrO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P. F. (%)
51,0	42,7	0,3	0,1	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	5,63

FONTE: LAMIR (2016).

**TABELA 3: Características do aditivo acelerador de pega.**

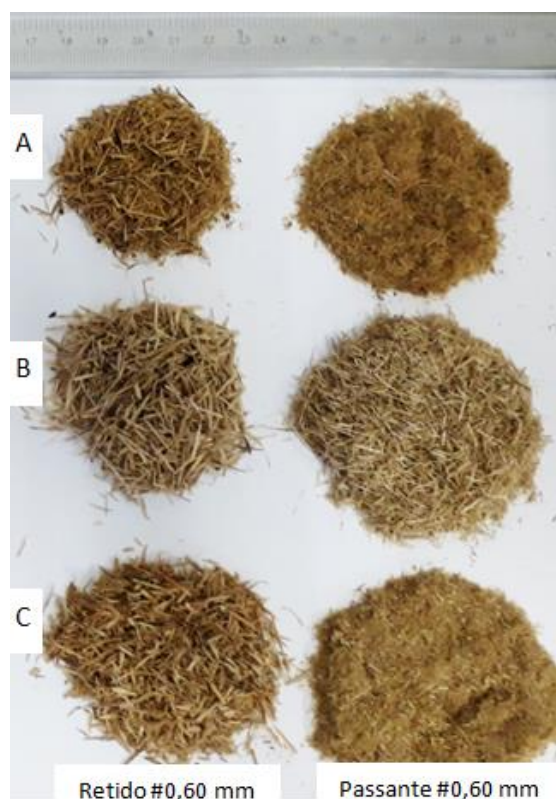
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Estado físico	Cor	Composição química	Dosagem (%)
1,27	Líquido	Incolor	Silicato de sódio	3,0 a 15,0

FONTE: O fabricante (2016).

**TABELA 4: Caracterização das partículas de madeira.**

	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)
Compensado	0,115	12,95
Eucalipto	0,125	13,86
Pinus	0,113	12,40

FONTE: Autoria Própria (2018).



**FIGURA 1:** Partículas de madeira, sendo: [a]. compensado, [b]. eucalipto e [c]. pínus.

**FONTE:** Autoria Própria (2018).

### 3.1 MÉTODOS

Para minimizar a influência das partículas de madeira na cura dos aglomerantes, foi realizado o pré-tratamento das partículas de madeira em água fria por 48h numa proporção de 1:10 (madeira:água) (LIMA, 2009) e, em seguida, foram secas ao ar por 72h, para que então fosse realizada a secagem em estufa a 80°C por 24h. Para a produção dos compósitos, a relação a/c foi fixada em 0,50 e a relação a/g em 0,70 (em massa). Como as partículas encontravam-se secas, foi aplicada a compensação de água proposta por Simatupang (1979) (Equação 1).

$$Ca = R_{a/a} \times A + (PSF - U) \times M \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que: Ca = Consumo de água (g);  $R_{a/a}$  = Relação água/aglomerante; A = Quantidade de aglomerante (g); PSF = Ponto de saturação das fibras (adotado como 30%); U = Teor de umidade da madeira (%); M = Massa de madeira (g).

As proporções de madeira foram definidas a partir de uma relação referência de 1:0,075 (aglomerante:madeira) em massa, conforme proposto por Moslemi, Garcia e Hofstrand (1983), Latorraca, Iwakiri e Lelis (1999), Latorraca (2000), Lima (2009), Lima e Iwakiri (2011). Esta proporção foi considerada de referência, sendo identificada por 7,5%. As demais proporções variaram em +50% e +100% na quantidade de madeira, com relação ao teor de referência, ou seja, 11,3% e 15%. A relação água:cimento foi fixada em 0,50 e a relação água:gesso em 0,70.

Foram produzidos 3 corpos de provas prismáticos (4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup>) para cada composição. Estes foram curados em câmara seca, e, aos 28 dias, foram realizados os ensaios de densidade de massa endurecida NBR 13280 (ABNT, 2005), de resistência à tração na flexão NBR 13279 (ABNT, 2005) e à compressão NBR 13279 (ABNT, 2005).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE DA DENSIDADE DE MASSA ENDURECIDA

Aos 28 dias de idade, foi determinada a densidade de massa endurecida dos compósitos produzidos (Figura 2) em que foi possível identificar que, como esperado, os compósitos com gesso apresentam densidade inferior aos compósitos com cimento Portland. Isto porque, a massa específica do cimento Portland é maior que a do gesso. Os compósitos de gesso-madeira apresentaram densidade de massa endurecida entre  $932 \text{ kg/m}^3$  e  $1051 \text{ kg/m}^3$  enquanto que, para os compósitos de cimento-madeira, entre  $1122 \text{ kg/m}^3$  e  $1438 \text{ kg/m}^3$ .

É importante destacar, também, a influência da quantidade de madeira presente na composição, cujas proporções utilizadas neste estudo variaram entre 7,5%, 11,3% e 15,0% com relação ao aglomerante. Pois é possível verificar que uma maior quantidade de madeira contribui

para a diminuição da densidade de massa endurecida, proporcionando maior leveza dos elementos produzidos com os compósitos em questão (TURGUT, 2007; AIGBOMIAN, FAN, 2013; MORALES-CONDE, RODRIGUEZ-LINAN, PEDRENO-ROJAS, 2016; PEDRENO-ROJAS et al., 2017). Isto porque, a densidade das partículas de madeira é inferior à dos aglomerantes utilizados (AIGBOMIAN, FAN, 2013). Além disso, todas as densidades obtidas para os compósitos produzidos com cimento-madeira apresentaram valores inferiores à estipulada pela NBR 15498 (ABNT, 2016) de  $1700 \text{ kg/m}^3$ . Para os compósitos produzidos com gesso-madeira, apenas as composições contendo 15,0% de partículas de madeira se aproximam dos valores estipulados pela NBR 14715 (ABNT, 2010).

A baixa densidade obtida pelos compósitos neste estudo sugere a viabilidade de produção de elementos para compartimentar ambientes internos (HERNANDEZ-OLIVARES et al., 1999).

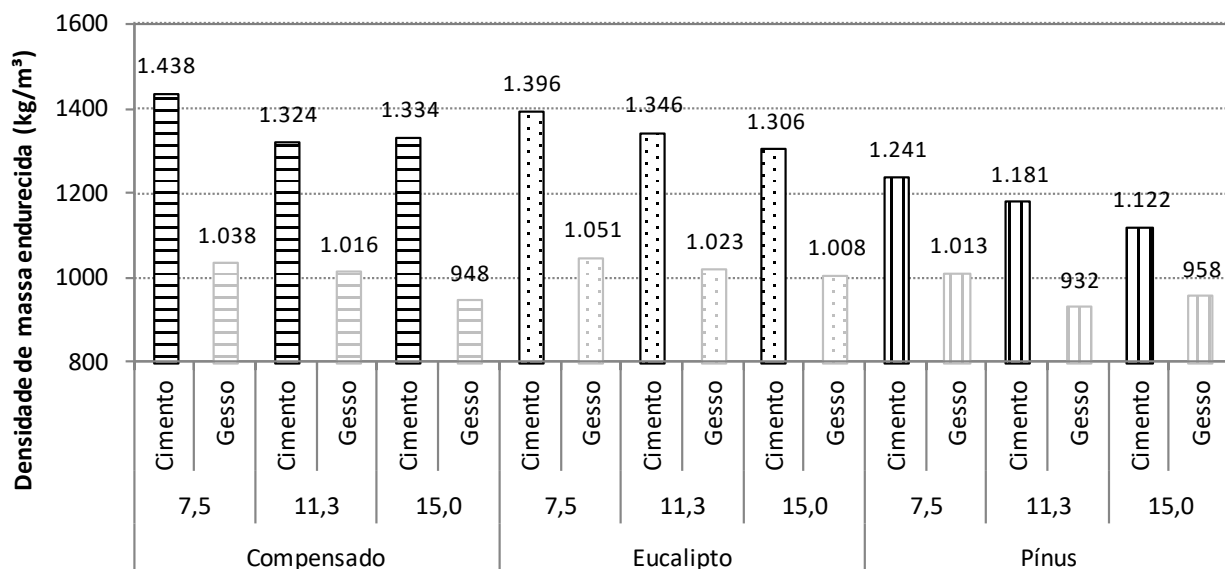


FIGURA 2: Resultados de densidade de massa endurecida aos 28 dias.

FONTE: Autoria Própria.

### 4.2 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados de resistência à tração na flexão aos 28 dias (Figura 3) evidenciam tanto a influência do aglomerante como o tipo de madeira presente na composição. Para os compósitos produzidos com partículas de compensado e eucalipto, os valores de resistência são discrepantes ao considerar os dois diferentes aglomerantes utilizados. Compósitos cimentícios contendo compensado e eucalipto apresentaram valores médios de 4,81 MPa e 4,02 MPa, respectivamente, enquanto que os compósitos produzidos com gesso apresentaram 0,86 MPa e 1,20 MPa.

Pode-se verificar que, para os compósitos cimentícios produzidos com partículas de compensado, a maior quantidade de partículas

de madeira contribuiu para o aumento da resistência. Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que a laminação cruzada realizada no processo de fabricação do compensado é capaz de proporcionar uma melhor distribuição das resistências nos sentidos longitudinal e transversal, além da presença da resina fenol-formaldeído que confere ao produto características de resistência à água (PETRUCCI, 1976; IWAKIRI, 2005) e, conseqüentemente, maior durabilidade.

De qualquer maneira, é importante ressaltar que a dispersão da serragem pode influenciar no desempenho mecânico dos corpos de prova durante a colocação dos compósitos nos moldes, principalmente, na propriedade de resistência à tração na flexão (ÇOMAK, BIDECCI, BIDECCI, 2018).

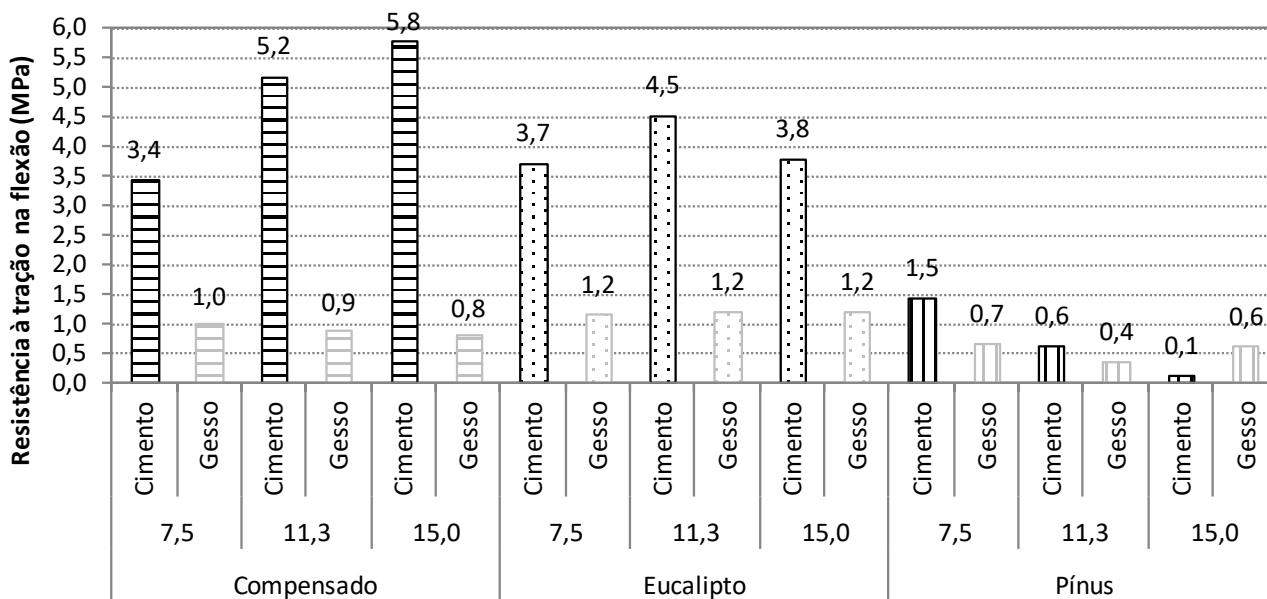


FIGURA 3: Resultados de resistência à tração na flexão aos 28 dias.

FONTE: Autoria Própria.

Dentre os resultados de resistência à tração na flexão, merecem destaque os compósitos produzidos com as partículas de pínus. Isto porque, os compósitos contendo cimento apresentaram resultados inferiores aos compósitos produzidos com os demais tipos de madeira. Diversos pesquisadores relataram que cada espécie de madeira possui diferentes tipos e quantidades de extrativos, provocando diferentes efeitos sobre a hidratação do cimento (NA et al., 2014), e que a composição granulométrica das fibras vegetais também pode influenciar na compatibilidade entre o cimento e a madeira (KARADE, IRLE, MAHER, 2006). E por isso que, a partir dos resultados obtidos e do aspecto dos corpos de prova após o ensaio (Figura 4), acredita-se que as partículas de pínus passante na peneira 1,2 mm contribuíram para inibir a cura do cimento Portland, provocando a diminuição significativa da resistência à tração na flexão.

Diferente do observado nos compósitos cimentícios, os compósitos de gesso-madeira contendo partículas de pínus não indicaram sofrer influência da presença desta espécie de madeira, corroborando com o observado por Dai e Fan (2015). Além disso, o fato do pH do gesso ser próximo a 6,5 é possível que este contribua para a estabilidade e a durabilidade da interface entre a partícula de madeira e o gesso (HERNANDEZ-OLIVARES et al., 1999).

#### 4.3 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias (Figura 5) evidenciam, assim como nos resultados de resistência à tração na flexão, tanto a influência do aglomerante como o tipo de madeira presente na composição. Para os compósitos produzidos com partículas de compensado e eucalipto, os valores de resistência são discrepantes ao considerar os dois diferentes aglomerantes utilizados. Compósitos cimentícios contendo compensado e eucalipto apresentaram valores médios de 20,24 MPa e 15,43 MPa, respectivamente, enquanto que os compósitos produzidos com gesso apresentaram 6,82 MPa e 9,01 MPa.

Diferente do observado com os resultados de resistência à tração na flexão, a maior quantidade de partículas de madeira presente na composição contribuiu para a diminuição da resistência. Isto porque, a estrutura fibrosa das partículas tende a apresentar maior eficácia quando submetidas à tensão de tração (CORINALDESI, MAZZOLI, SIDIQUE, 2016). Além disso, a presença das partículas de madeira tende a prejudicar com maior magnitude a resistência à compressão quando comparado à tração na flexão, pois pode ocorrer o surgimento de microfissuras durante a realização do ensaio de tração além das diferentes orientações e distribuição das partículas nos compósitos (CORINALDESI, MAZZOLI, SIDIQUE, 2016; ÇOMAK, BIDECCI, BIDECCI, 2018).



**FIGURA 4:** Corpos de prova de compósitos cimentícios produzidos com partículas de madeira, sendo: [a]. eucalipto e [b]. pínus.

**FONTE:** Autoria Própria (2018).



Ao observar os compósitos produzidos com as partículas de pinus, verifica-se que, novamente, quando é utilizado o cimento Portland na composição, os resultados são inferiores aos compósitos produzidos com compensado e eucalipto. Isto porque, a presença de extrativos presentes nesta espécie de madeira tende a inibir a cura do cimento Portland, e quando submetido à compressão, pouco resiste aos esforços aos quais é solicitado.

De modo geral, o aumento da quantidade de partículas de madeira presente nas composições contribuiu para a diminuição da resistência à compressão (TURGUT, 2007; TURGUT, ALGIN, 2007; GIL, ORTEGA, PEREZ, 2017). Este efeito pode ter sido provocado pelo fato de que a incorporação de uma maior quantidade de partículas de madeira aumenta significativamente a absorção e os vazios nos compósitos (MADRID et al., 2017), propiciando o enfraquecimento da estrutura interna (USMAN et al., 2018).

Apesar disso, os compósitos produzidos neste estudo, exceto as composições contendo cimento Portland e pinus, podem ser comparados aos materiais e argamassas típicos de construção leve, isto porque, apresentaram valores superiores a 3,5 MPa (AAMR-DAYA et al., 2008; COATANLEM, JAUBERTHIE, RENDELL, 2006).

## 5. CONCLUSÕES

Neste artigo, foi verificada a influência de dois diferentes aglomerantes (cimento Portland e gesso) nas propriedades de compósitos produzidos com partículas de madeira provenientes de RCD. Foi observado, ainda, o efeito de três diferentes tipos de madeira (compensado, eucalipto e pinus) e de três diferentes proporções de madeira na composição (7,5%, 11,3% e 15,0%). Com base nos resultados, as seguintes conclusões foram obtidas:

- Observou-se que quanto maior a quantidade de madeira presente na composição, menor é a densidade de massa endurecida do compósito. Isto porque, a densidade das partículas de madeira é inferior à dos aglomerantes utilizados. Apesar disso, todos os compósitos de cimento-madeira produzidos neste estudo apresentaram densidade inferior ao estipulado pelo NBR 15498 (ABNT, 2016). Entretanto, apenas os compósitos de gesso-madeira produzidos com 15,0% de partículas apresentaram valores próximos ao indicado pela NBR 14715 (ABNT, 2010).

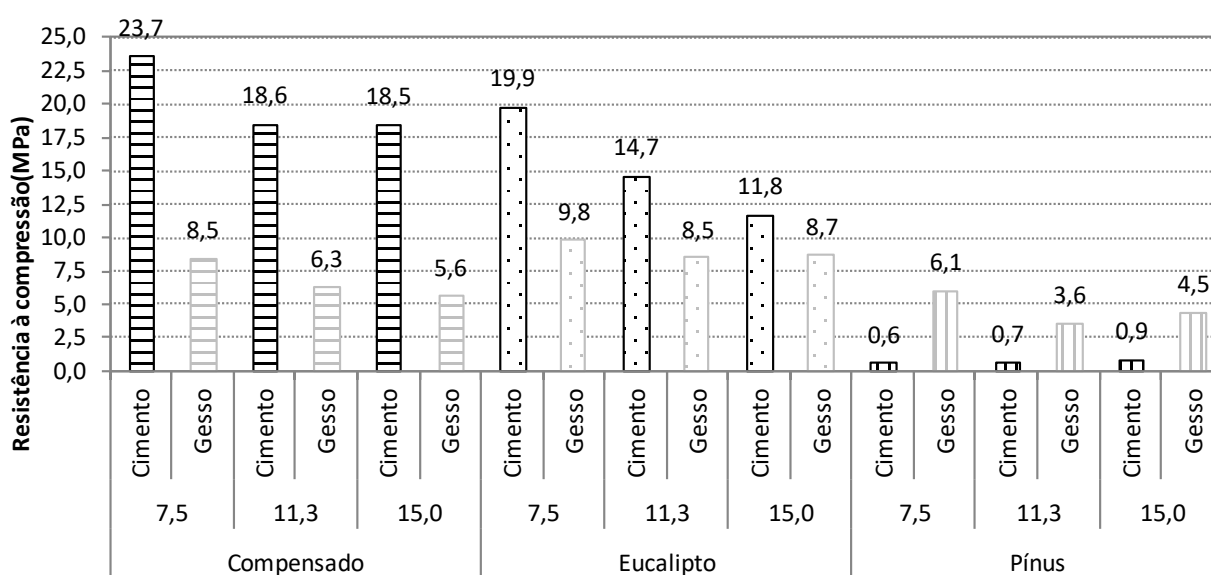


FIGURA 5: Resultados de resistência à compressão aos 28 dias.

FONTE: Autoria Própria.

- Compósitos cimentícios produzidos com partículas de compensado, tendem a apresentar aumento da resistência quanto maior a proporção de partículas de madeira utilizada na composição. Diferente disto verificou-se que as partículas de pínus passantes na peneira 1,2 mm contribuíram para inibir a cura do cimento Portland, provocando a diminuição significativa da resistência à tração na flexão. Apesar disso, os compósitos de gesso-madeira contendo partículas de pínus não indicaram sofrer influência da presença desta espécie de madeira. Isto porque, o pH do gesso pode ter proporcionado maior estabilidade e durabilidade da interface entre a partícula de madeira e o gesso.
- Quanto maior quantidade de partículas de madeira presente na composição, menor tende a ser a resistência à compressão. Isto porque, além de as partículas apresentarem melhor desempenho quando submetidas à tração, o aumento da quantidade de partículas contribui para o aumento de vazios nos compósitos, propiciando o enfraquecimento da estrutura interna.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME/DCC) da Universidade Federal do Paraná pela disponibilização dos laboratórios e dos equipamentos necessários para o desenvolvimento deste estudo, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná e, ao BNDES, à Fundação Araucária e à CAPES pelo apoio financeiro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAMR-DAYA, E.; LANGLET, T.; BENAZZOUK, A.; QUENEUEDEC, M. **Feasibility study of lightweight cement composite containing flax by-product particles: physicommechanical properties**. Cement and Concrete Composites, v. 30, p. 957-963, 2008.
- AIGBOMIAN, E. P.; FAN, F. **Development of Wood-Crete building materials from sawdust and waste paper**. Construction and Building Materials, v. 40, p. 361–366, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (ABRAMAT). **Construção civil emprega 13 milhões de pessoas no país**. Brasília, 2016.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO (ANEPAC). **Perspectivas para o setor de agregados**. São Paulo, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. NBR 7.190: **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_\_. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. NBR 13.280: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. NBR 14.715: **Chapas de gesso para drywall - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2010.
- \_\_\_\_\_. NBR 15.498: **Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.
- CARVALHO, R. C. A.; SILVA, A. A.; CAVALCANTI, G. L.; MIRANDA, L. F. R.; SILVA, J. J. R. **Análise da Gestão Racional de RCD em canteiros de obras da região metropolitana do Recife, RMR**. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 12., Fortaleza. Fortaleza: ANTAC, 2008.

- CASTRO, V. G. **Utilização de espécies da Amazônia na produção de compósitos madeira-cimento por vibro-compactação**. 223 f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- CHERKI, A.; REMY, B.; KHABBAZI, A.; JANNOT, Y.; BAILLIS, D. **Experimental thermal properties characterization of insulating cork-gypsum composite**. *Construction and Building Materials*, v. 52, p. 202-209, 2014.
- COATANLEM, P.; JAUBERTHIE, R.; RENDELL, F. **Lightweight wood chipping concrete durability**. *Construction and Building Materials*, v. 20, p. 776-781, 2006.
- CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas**. São Paulo, 2014.
- ÇOMAK, B.; BIDECCI, A.; BIDECCI, O. S. **Effects of hemp fibers on characteristics of cement based mortar**. *Construction and Building Materials*, v. 169, p. 794–799, 2018.
- CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; SIDDIQUE, R. **Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste**. *Construction and Building Materials*, v. 123, p. 281–289, 2016.
- DAI, D.; FAN, M. **Preparation of bio-composite from wood sawdust and gypsum**. *Industrial Crops and Products*, v. 74, p. 417–424, 2015.
- DEPARTAMENTO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL (DECONCIC). **Cadeia produtiva da construção: estimativas do investimento em obras, do PIB e do emprego**. São Paulo, 2015.
- GIL, H.; ORTEGA, A.; PÉREZ, J. **Mechanical behavior of mortar reinforced with sawdust waste**. *Procedia Engineering*, v. 200, p. 325–332, 2017.
- GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. **Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials**. *Building and Environment*, v. 41, p. 940–951, 2006.
- HERNANDEZ-OLIVARES, F.; BOLLATI, M. R.; DEL RIO, M.; PARGA-LANDA, B. **Development of cork/gypsum composites for building applications**. *Construction and Building Materials*, v. 13, p. 179-186, 1999.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.
- IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B. da; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIAK, E.; MENDES, L. M. **Resíduos de serraria na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto**. *Scientia Agrária*, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.
- JONES, R. M. **Mechanics of composite materials**. 2. ed, 1998.
- KARADE, S. R.; IRLE, M.; MAHER, K. **Influence of granule properties and concentration on cork-cement compatibility**. *Holz als Roh-und Werkstoff*, v. 64, n. 4, p. 281-286, 2006.
- KHATIB, J. M. **Sustainability of aggregates in construction**. *Sustainability of Construction Materials*, Woodhead Publishing, 2016.
- KILBERT, C. **Sustainable construction: green building design and delivery**. Fourth edition, New Jersey: Wiley, 2016.
- LATORRACA, J. V. DE F. **Eucalyptus spp na produção de painéis de cimento-madeira**. 191f. Tese (Doutorado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- LATORRACA J. V.; IWAKIRI S.; LELIS R. C. **Efeito Inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira**. *Floresta e Ambiente*, v. 6, n. 1, p. 76-82, 1999.
- LIMA, A. J. M. **Utilização de resíduo de Pinus spp. e materiais cimentícios alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural**. 281 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S. **Produtos alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural**. *Floresta e Ambiente*, v. 18, n. 3, p. 310-323, 2011.
- MACEDO, A. N.; LIMA, A. M. de; FONSECA, F. de O.; LAVÔR, B. V. de A. **Análise estatística do comportamento mecânico à compressão do compósito cimento-madeira**. *Revista Matéria*, v. 16, n. 2, p. 658 – 667, 2011.
- MADRID, M.; ORBE, A.; ROJÍ, E.; CUADRADO, J. **The effects of by-products incorporated in low-strength concrete for concrete masonry units**. *Construction and Building Materials*, v. 153, p. 117–128, 2017.
- MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada**. *Floresta*, v. 37, n. 2, p. 149-158, 2007.

- MATTHEWS, E.; BRINGEZU, S.; FISCHER-KOWALSKI, M.; HUTTLER, W.; KLEIJN, R.; MORIGUCHI, Y.; OTTKE, C.; RODENBURG, E.; ROGICH, D.; SCHANDI, H.; SCHUTZ, H.; VAN DER VOET, E.; WEISZ, H. **The weight of nations - Material outflows from industrial economies**. World Resources Institute, 2000.
- MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, É. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986–2008**. Ambiente Construído, v. 9, n. 1, p. 57–71, 2009.
- MORALES-CONDE, M. J.; RODRÍGUEZ-LIÑÁN, C.; PEDREÑO-ROJAS, M. A. **Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works**. Construction and Building Materials, v. 114, p. 6–14, 2016.
- 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, v. 15, n. 2, p. 164-176, 1983.
- NA, B.; WANG, Z. Q.; WANG, H. Q.; LU, X. N. **Wood–cement compatibility review**. Wood Research, v. 59, n. 5, p. 813-825, 2014.
- PARCHEN, C. F. A. **Compósito madeira cimento de baixa densidade produzido com método de compactação vibro dinâmica**. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- PEDREÑO-ROJAS, M. A.; MORALES-CONDE, M. J.; PÉREZ-GÁLVEZ, F.; RODRÍGUEZ-LIÑÁN, C. **Eco-efficient acoustic and thermal conditioning using false ceiling plates made from plaster and wood waste**. Journal of Cleaner Production, v. 166, p. 690-705, 2017.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 12ª Edição. São Paulo: Editora Globo, 1993.
- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Utilização da madeira certificada na construção civil: um diferencial**. 2014.
- SIMATUPANG, M. H. **Der Wasserbedarf bei der Herstellung zementgebunder Holzspanplatten**. Holz als Roh-und Werkstoff, v. 27, p. 379-382, 1979.
- SOUZA, A. A. C. **Utilização de resíduos da indústria madeireira para fabricação de chapas cimento-madeira**. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.
- STASIAK, M.; MOLEND, M.; BAÑDA, M.; GONDEK, E. **Mechanical properties of sawdust and woodchips**. Fuel, v. 159, p. 900-908, 2015.
- STOKKE, D. D.; WU, Q.; HAN, G. **Introduction to wood and natural fiber composites**. Wiley, 2016.
- SWAMY, R.N. **Vegetable fiber reinforced cement composites – a false dream or a potential reality?** In: International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials. Salvador, 1990, Proceedings. Chapman and hall, p. 3-9.
- TONOLI, G. H. D.; SAVASTANO, H.; FUENTE, E.; NEGRO, C.; BLANCO, A.; LAHR, F. R. **Eucalyptus pulp fibres as alternative reinforcement to engineered cement-based composites**. Industrial crops and products, v. 31, n. 2, p. 225-232, 2010.
- TURGUT, P. **Cement composites with limestone dust and different grades of wood sawdust**. Building and Environment, v. 42, n. 11, p. 3801-3807, 2007.
- TURGUT, P.; ALGIN, H. M. **Limestone dust and wood sawdust as brick material**. Building and Environment, v. 42, p. 3399–3403, 2007.
- USMAN, M.; KHAN, A. Y.; FAROOQ, S. H.; HANIF, A.; TANG, S.; KHUSHNOOD, R. A.; RIZWAN, S. A. **Eco-friendly self-compacting cement pastes incorporating Wood waste as cement replacement: A feasibility study**. Journal of Cleaner Production, v. 190, p. 679-688, 2018.
- VILLAS-BÔAS, B. T. **Utilização de cimento Portland e resíduos de *Pinus spp* para fabricação de blocos vazados de baixa densidade**. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de ciências agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2016.
- YAMAJI, F. M. **Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira**. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- YOUNGQUIST, J. A. **Wood handbook—Wood as an engineering material: Wood-based composites and panel products**. Forest Products Laboratory, 1999.