

Tijolos leves para alvenaria produzidos a partir de resíduos da indústria madeireira

Lightweight masonry bricks produced from wood industry waste

Monica Regina Garcez^{1*}, Aline Oliveira Machado², Estela Oliari Garcez³, Darci Alberto Gatto⁴

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização de compósitos cimento-madeira na fabricação de componentes leves para alvenaria, visando reduzir os prejuízos ambientais causados pela disposição final da serragem proveniente do desdobro da madeira. Primeiramente foram analisadas as propriedades físicas (teor de umidade, absorção de água, índice de vazios e massa específica) e mecânicas (resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico) de diferentes traços cimento:areia, cimento:areia:serragem e cimento:serragem. A partir de traços selecionados foram fabricados tijolos maciços de alvenaria com dimensões 90 × 90 × 190 mm, submetidos a ensaios para determinação da massa específica, teor de umidade, absorção de água e resistência à compressão. As propriedades físicas e mecânicas desses componentes foram comparadas com as exigências de normas brasileiras prescritivas referentes a componentes de alvenaria. Foram obtidos resultados satisfatórios, indicando que resíduos da indústria madeireira têm potencial para serem utilizados na produção de componentes leves de alvenaria, podendo ser aplicados como material de construção alternativo.

Palavras-chave: serragem; compósito cimento-madeira; *Pinus elliottii*.

ABSTRACT

The main objective of this work was to investigate the use of cement-wood composites to produce lightweight masonry elements, aiming to reduce environmental damages arising from the disposal of the sawdust originated from wood sawing process. Physical (moisture content, water absorption, void ratio and specific gravity) and mechanical (compressive strength and dynamic Young's modulus) properties of different cement:sand, cement:sand:sawdust and cement:sawdust mix proportions were evaluated. Specific gravity, moisture content, water absorption and compressive strength of 90 × 90 × 190 mm bricks, produced from selected mix proportions, were determined and compared to the requirements of the Brazilian standards for masonry elements. The satisfactory results obtained indicate that lightweight masonry bricks produced with wastes from wood industry have the potential to become an alternative for traditional building materials.

Keywords: sawdust; cement-wood composite; *Pinus elliottii*.

INTRODUÇÃO

As indústrias de base florestal, em geral, apresentam baixo rendimento, gerando grande quantidade de resíduos, principalmente no caso das indústrias de transformação primária, como as serrarias. No caso da madeira serrada de *Pinus*, o rendimento pode variar de cerca de 30 a 60%, dependendo da técnica de desdobro utilizada, se convencional ou otimizada (MURARA JR. *et al.*, 2005). Estima-se que 9,17 milhões de m³ de madeira serrada de *Pinus* tenham sido produzidos em 2012 (BRASIL, 2014). Grande parte da serragem originada como resíduo já vem sendo utilizada na produção de cavacos, para geração de energia, painéis, entre outros. Entretanto, como são gerados em grande volume e muitas vezes em locais afastados dos grandes

centros consumidores, geram grandes passivos ambientais devido, principalmente, ao alto custo de transporte (BARBOSA *et al.*, 2014).

Embora seja biodegradável, a deposição da serragem *in natura* pode, devido ao tempo necessário para sua degradação natural e ao grande volume muitas vezes depositado no mesmo local, provocar problemas nas culturas agrícolas e florestais, uma vez que seus extrativos podem atingir níveis tóxicos para as plantas. Por outro lado, se utilizada como um material de construção civil, pode diminuir a demanda por matéria prima e energia, além de auxiliar as empresas do segmento florestal a se adequarem a parâmetros mais sustentáveis no que diz respeito à destinação de resíduos (FAGUNDES, 2003).

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre (RS), Brasil.

²Faculty of Science Engineering & Built Environment - Geelong (VIC), Austrália.

³Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) - Pelotas (RS), Brasil.

⁴Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da UFPEL - Pelotas (RS), Brasil.

*Autor correspondente: monica.garcez@ufrgs.br

Recebido: 01/10/2015 - Aceito: 29/03/2017 - Reg. ABES: 154695

Muitas pesquisas são desenvolvidas atualmente buscando a utilização da serragem para fabricação de compósitos cimentícios (ASHORI *et al.*, 2012; TORKMAN *et al.*, 2014; BERTOLINI *et al.*, 2014). Esses compósitos, denominados cimento-madeira, vêm sendo desenvolvidos cada vez mais com características desejáveis como durabilidade, estabilidade dimensional e resistência contra biodegradação, apresentando ainda vantagens econômicas (FRYBORT *et al.*, 2008).

Componentes de alvenaria fabricados com resíduos da indústria madeireira em diferentes percentuais de substituição parcial de agregados miúdos (TURGUT & ALGIN, 2007; LIMA & IWAKIRI, 2014; SUBRAMANIAN *et al.*, 2015; XING *et al.*, 2015), assim como outros resíduos (CASTRO *et al.*, 2015; GIFFONI & LANGE, 2005), vêm sendo investigados por pesquisadores em todo o mundo, resultando em produtos que satisfazem requisitos de normativas nacionais e internacionais. Como resultado, novos materiais de construção, mais leves e ecologicamente compatíveis com as necessidades ambientais atuais, vêm sendo desenvolvidos, podendo oferecer ainda economia significativa não apenas nas etapas de fabricação e transporte, mas também nas quantidades de material consumido durante a execução das obras, como cimento e aço (TURGUT & ALGIN, 2007).

Além disso, a estratégia de aproveitamento de resíduos é uma parte importante de qualquer programa para uso racional de recursos energéticos. Nesse sentido, a utilização de um resíduo natural com baixa condutividade térmica, como é o caso da serragem, em componentes de alvenaria, melhora o isolamento térmico dos edifícios, fornecendo uma solução energética eficiente (TURGUT & GUMUSCU, 2013).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade de utilização de diferentes traços de compósitos cimento-madeira na fabricação de componentes leves para alvenaria com vias à produção de tijolos que atendam às exigências das normas brasileiras referentes a componentes de alvenaria.

METODOLOGIA

Materiais

O cimento utilizado foi o CP V - ARI - RS, cujas especificações atendem à NBR 5733 (ABNT, 1991). O resíduo, na forma de serragem ($\rho_{un} = 220 \text{ kg.m}^{-3}$; $\rho_{ap} = 230 \text{ kg.m}^{-3}$; $h = 88,89\%$) foi cedido por uma empresa de desdobro primário, secundário e beneficiamento de *Pinus elliottii*. A serragem foi mineralizada ($\rho_{un} = 410 \text{ kg.m}^{-3}$; $\rho_{ap} = 600 \text{ kg.m}^{-3}$; $h = 37,16\%$) na proporção 1:5 (cimento:serragem, em volume), na intenção de que a umidade presente nas paredes da serragem hidratasse o cimento, formando uma película ao redor das partículas de serragem, evitando assim a liberação de substâncias que pudessem eventualmente retardar a pega do cimento (COSTA, 2012). O agregado miúdo, a areia média ($\rho = 2560 \text{ kg.m}^{-3}$; $\rho_{un} = 1.630 \text{ kg.m}^{-3}$; $\rho_{ap} = 1.670 \text{ kg.m}^{-3}$; $h = 0,27\%$) e a serragem foram peneirados para eliminar

particulados de dimensões superiores a 4,8 mm. A Figura 1 mostra a composição granulométrica da areia e da serragem.

Análise dos compósitos cimento-madeira

Foram analisados os comportamentos físico e mecânico de diferentes compósitos cimento-madeira com base nos ensaios prescritos na NBR 9778 (ABNT, 2005a): absorção de água, índice de vazios e massa específica; e na NBR 7215 (ABNT, 1997): resistência à compressão. O módulo de elasticidade dinâmico dos compósitos foi determinado com o aparelho de ultrassom da marca Proceq, modelo Tico, com transdutores de 54 kHz, de acordo com as prescrições da NBR 15630 (ABNT, 2008).

A partir do traço padrão 1:3:0,48 (cimento:areia:água, em massa), definido pela NBR 7215 (ABNT, 1997), que corresponde à proporção 30:70 (cimento:areia, em volume) e ao traço 1:2,3 (cimento:areia, em volume), foram determinados os traços e as dosagens dos compósitos, mostrados na Tabela 1, sendo mantida a relação água:cimento de 0,48.

Produção e avaliação dos componentes de alvenaria

A partir das análises dos compósitos cimento-madeira foram selecionados traços (Tabela 2) para produção em prensa manual, dos componentes de alvenaria (Figura 2).

Foram utilizadas dimensões nominais de tijolos maciços cerâmicos, $90 \times 90 \times 190 \text{ mm}$, visando à possibilidade de utilização do tijolo

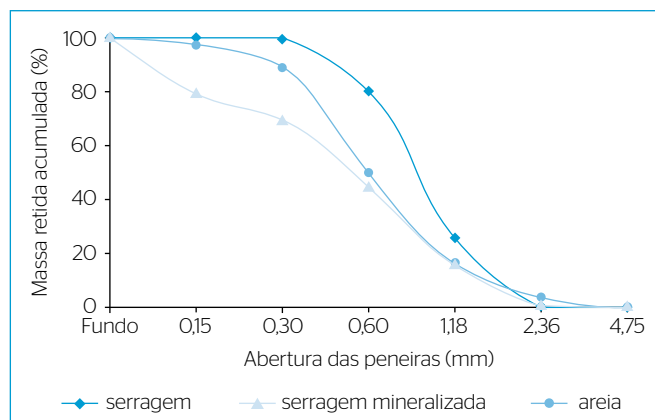


Figura 1 - Composição granulométrica dos materiais.

Tabela 1 - Proporção, traços em volume e massa e dosagem dos compósitos.

Compósitos	Proporção	Traço em volume	Traço em massa	Dosagem em massa (10^{-3} kg)
I	30:70:0	1:2,3:0	1:3:0	624:1872:0:300
II	30:50:20	1:1,64:0,66	1:2,32:0,23	624:1451:147:300
III	30:35:35	1:1,15:1,15	1:1,62:0,41	624:1017:256:300
IV	30:20:50	1:0,66:1,64	1:0,93:0,58	624:584:365:300
V	30:0:70	1:0:2,30	1:0:0,82	624:0:512:300

Proporção e traços (cimento:areia:serragem) e dosagem (cimento:areia:serragem:água).

tanto em alvenaria convencional como alvenaria estrutural, visto que em paredes não estruturais é comum a utilização de blocos com 90 mm de espessura, sendo possível atingir, com as dimensões escolhidas, alturas e comprimentos modulares (Figura 3A). Outra possibilidade é a aplicação dos tijolos como compensadores em alvenaria de blocos, proporcionando a obtenção de medidas não modulares e vãos de esquadrias (Figura 3B).

A variação dimensional dos tijolos foi avaliada com base nas prescrições da NBR 8041 (ABNT, 1983c) e a resistência à compressão, segundo a NBR 6460 (ABNT, 1983a). Também foram determinados: massa específica, teor de umidade e absorção de água após imersão por 24 horas.

Análise dos componentes de alvenaria frente às exigências das normas brasileiras

Os resultados das propriedades dos componentes de alvenaria produzidos foram confrontados com as exigências de normas brasileiras referentes a componentes de alvenaria: NBR 7170 (ABNT, 1983b), NBR 6136 (ABNT,

2014), NBR 15270 (ABNT, 2005b), NBR 8491 (ABNT, 2012) e NBR 10834 (ABNT, 2013b), quanto à resistência à compressão, absorção e teor de umidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento físico e mecânico dos compósitos cimento-madeira

A massa específica aparente, o teor de umidade, a absorção de água e o índice de vazios dos compósitos podem ser visualizados na Tabela 3.

A inserção de serragem nos compósitos ocasionou redução nos valores de massa específica aparente nos seguintes percentuais: 13,69; 17,35; 22,37 e 35,61% para os compósitos II, III, IV e V, respectivamente, em relação ao I (Tabela 3). Em geral, em compósitos cimento-madeira, quanto maior o percentual de substituição de areia por serragem, menor é a massa específica aparente (LIMA & IWAKIRI, 2014; GARCEZ *et al.*, 2013).

O aumento no teor de umidade, absorção de água e índice de vazios, conforme o aumento do percentual de serragem nos compósitos, pode ser visualizado na Figura 4.

O aumento no teor de umidade dos compósitos, conforme o maior percentual de serragem inserido, pode ser explicado, conforme Garcez *et al.* (2013), pelo fato de que a madeira é um material higroscópico, capaz de absorver ou perder água para o meio ambiente, devido a sua

Tabela 2 - Proporção, traços em volume e massa e dosagem dos tijolos.

Compósitos	Proporção em volume	Traço em Volume	Traço em Massa	Dosagem em massa (10 ³ kg)
III'	30:35:35	1:1,15:1,15	1:1,62:0,41	624:1017:256:300
V' e V''	30:0:70	1:0:2,30	1:0:0,82	624:0:512:300

Proporção e traços (cimento:areia:serragem) e dosagem (cimento:areia:serragem:água).

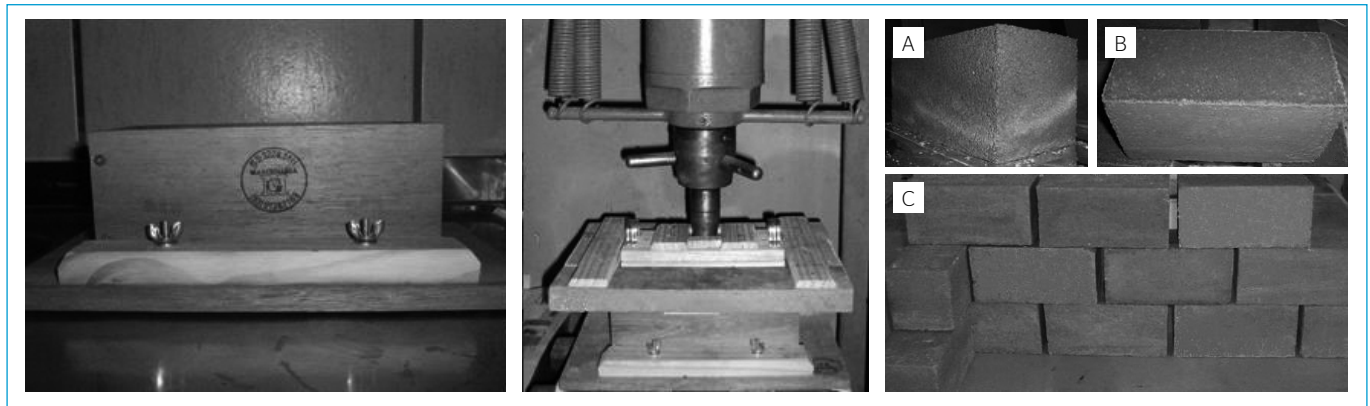


Figura 2 - Produção dos tijolos: fôrma, acessórios, prensa e tijolos após a moldagem.

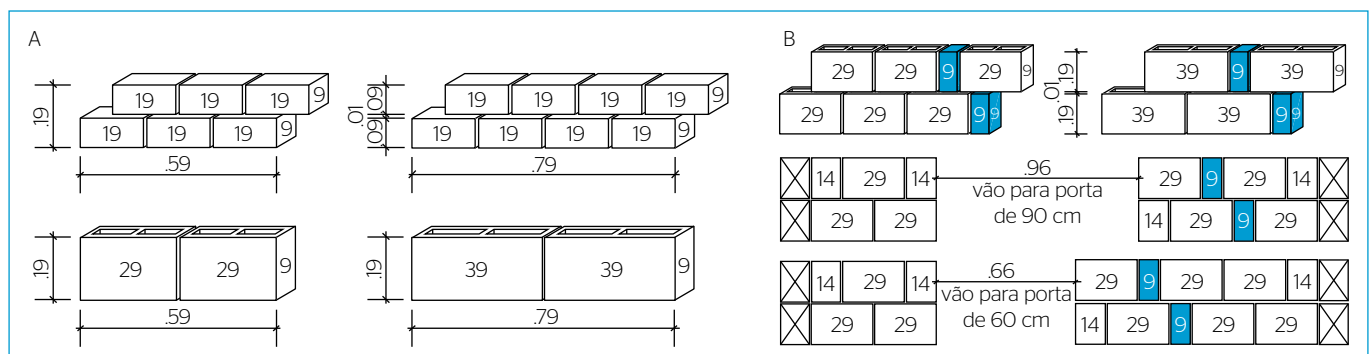


Figura 3 - Substituição de blocos modulares por tijolos (A) e utilização como compensadores (B).

Tabela 3 - Massa específica aparente, teor de umidade, absorção de água e índice de vazios.

	Massa específica aparente ($10^{-3} \text{ kg.m}^{-3}$)		Teor de umidade (%)		Absorção de água (%)		Índice de vazios (%)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
I	2,19 ^a	0,48	4,27 ^a	4,40	7,87 ^a	6,05	16,63 ^a	5,34
II	1,89 ^b	1,22	5,59 ^b	3,69	11,59 ^b	1,44	20,79 ^b	0,81
III	1,81 ^c	1,25	8,41 ^c	2,55	13,15 ^c	3,68	22,30 ^b	2,93
IV	1,70 ^d	0,39	10,91 ^d	2,19	20,47 ^d	6,62	31,66 ^c	5,86
V	1,41 ^e	1,29	17,26 ^e	5,94	38,67 ^e	3,09	47,39 ^d	1,94

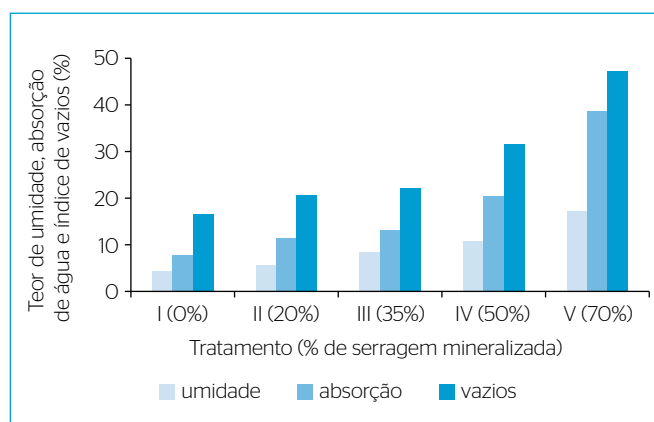
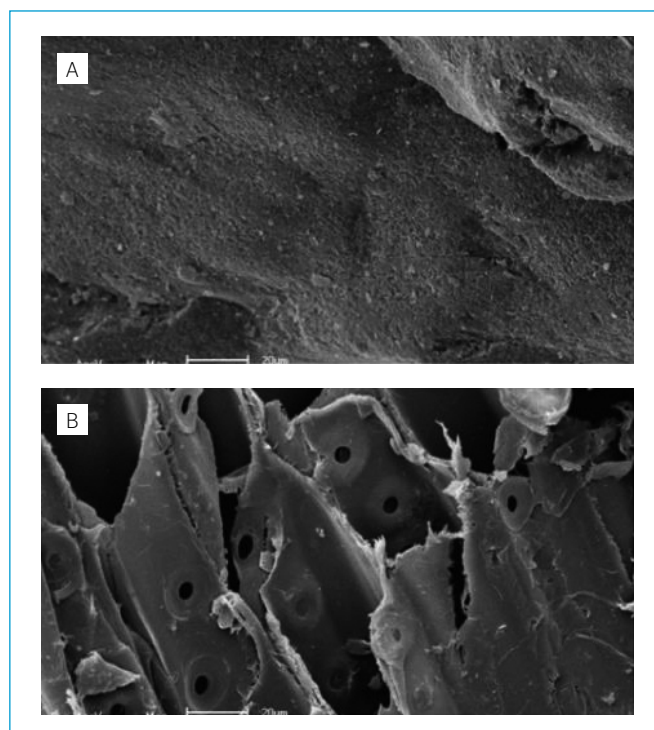
CV: coeficiente de variação; médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente com nível de 5% de probabilidade de erro.

constituição química. Dessa forma, quanto maior o percentual de serragem, maior o teor de umidade do compósito. Os aumentos percentuais no teor de umidade para os compósitos II, III, IV e V, em relação ao I (Tabela 3) foram: 30,91; 96,95; 155,50 e 304,21%, respectivamente.

Lima e Iwakiri (2014) observaram que a substituição de agregado miúdo por serragem em percentuais superiores a 20% aumenta a porosidade e a absorção de água dos compósitos, podendo ser esses valores ainda superiores quando é utilizada serragem sem tratamento, *in natura*. A absorção de água aumentou 47,26; 67,09; 160,10 e 391,35% nos compósitos II, III, IV e V, respectivamente, em relação ao I (Tabela 3).

O índice de vazios aumentou (Tabela 3) com o acréscimo de serragem (25,01; 34,09; 90,97 e 184,96%, respectivamente para os compósitos II, III, IV e V, em relação ao I), porém não houve diferença estatística entre as médias para os compósitos com 2 e 35% de serragem em volume. A Figura 5, que mostra imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para areia e serragem *in natura*, reforça que o efeito da macroporosidade presente nos compósitos cimento-madeira está relacionado às partículas de madeira (BOUGUERRA *et al.*, 1998), enquanto a mesoporosidade está essencialmente relacionada à matriz. Dessa forma, há de se considerar que a porosidade intrínseca das fibras de madeira (TESSARO *et al.*, 2015), mostrada em detalhe na Figura 5, contribui para o aumento no índice de vazios e a consequente redução das propriedades mecânicas desses compósitos.

Comparativamente aos dados de testes de flexão e tração direta, existem poucas fontes que reportam resultados de ensaios à compressão em compósitos cimento-madeira (Torkman *et al.*, 2014). A Tabela 4 mostra os dados de resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico dos compósitos. Houve diferença estatística significativa entre as médias de resistência à compressão (Tabela 4), indicando perda de resistência com o aumento do percentual de serragem: 51,75% (II), 37,16% (III), 56,77% (IV) e 56,91% (V). Entretanto, os compósitos com 50 e 70% de serragem em volume (IV e V) diferem dos demais, mas não entre si. As resistências à compressão dos compósitos com serragem, embora inferiores à do compósito referência, não impedem sua utilização em certas

**Figura 4** - Teor de umidade, absorção de água e índice de vazios.**Figura 5** - Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 500X): areia (A) e serragem *in natura* (B).

aplicações práticas da construção civil (BOUGUERRA *et al.*, 1998), como, por exemplo, a fabricação de blocos de vedação e artefatos de cimento.

A Figura 6 relaciona a resistência à compressão dos compósitos com a massa específica. A importância de se determinar as massas específicas dos compósitos remete ao fato de que reduções na massa específica, conforme a elevação do percentual de substituição da areia por serragem, ocasionam redução no limite de resistência (GARCEZ *et al.*, 2013; JORGE *et al.*, 2004).

Maiores massas específicas resultam em valores superiores de módulo de elasticidade (Tabelas 3 e 4) e, conforme Iwakiri *et al.* (2008), maiores módulos de ruptura em flexão estática. Por outro lado, a diminuição da massa específica, por resultar em peças mais leves, poderia ser uma vantagem em relação a transporte, manuseio e montagem.

De fato (Tabelas 3 e 4), elevados valores de massa específica estão relacionados com mais baixos índices de vazios e, conseqüentemente, com resistências à compressão e módulos de elasticidade mais elevados.

Estudos de Bertolini *et al.* (2014), em compósitos com serragem de *Pinus* sp. na proporção em massa cimento:madeira:água 1:0,21:0,60 resultaram em valores para o limite de resistência de cerca de 5 MPa, para serragem *in natura* e 10 MPa para serragem tratada por banho de imersão. No presente trabalho, embora o tratamento dado à serragem tenha sido por mineralização, observa-se que as médias dos limites de resistência

foram superiores: 17,03 MPa para 1:0,23:0,48; 22,18 MPa para 1:0,41:0,48; 15,26 MPa para 1:0,58:0,48 e 15,21 MPa para 1:0,82:0,48 (Tabelas 1 e 4). Ensaio de Torkman (2014) com proporção 1:0,25:0,55 resultaram em resistências médias de 1,60 MPa. As resistências à compressão superiores foram alcançadas, provavelmente, devido à mineralização da serragem e, certamente, à utilização de um fator água:cimento inferior.

Na Figura 7 se observam as relações entre módulo de elasticidade dinâmico, teor de umidade (Figura 7A) e resistência à compressão (Figura 7B). A determinação do módulo de elasticidade é de fundamental importância (CHRISTOFORO *et al.*, 2013), que remete ao fato dessa propriedade mecânica estar relacionada diretamente com a rigidez dos compósitos cimento-madeira, refletindo também na sua capacidade de deformação e no controle de fissuração.

O módulo de elasticidade dinâmico dos compósitos diminui (Figura 7A) à medida que aumenta o teor de umidade. De fato, o monitoramento do teor de umidade de madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*, sob diferentes temperaturas de secagem (CALEGARI *et al.*, 2007), resulta em velocidades da onda ultrassônica superiores para amostras com menor teor de umidade. Por outro lado, a interface entre a matriz cimentícia e a fibra de madeira é muito influenciada pela presença de água, uma vez que a fibra de madeira úmida apresenta menor resistência à flexão, o que

Tabela 4 - Resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico.

	Resistência à compressão (MPa)		Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
I	35,30 ^a	1,95	30459,10 ^a	2,89
II	17,03 ^c	3,68	18685,70 ^b	4,24
III	22,18 ^b	4,09	17226,30 ^c	4,28
IV	15,26 ^{cd}	6,60	14102,00 ^d	2,87
V	15,21 ^d	6,54	7748,30 ^e	3,29

CV: coeficiente de variação; médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente com nível de 5% de probabilidade de erro.

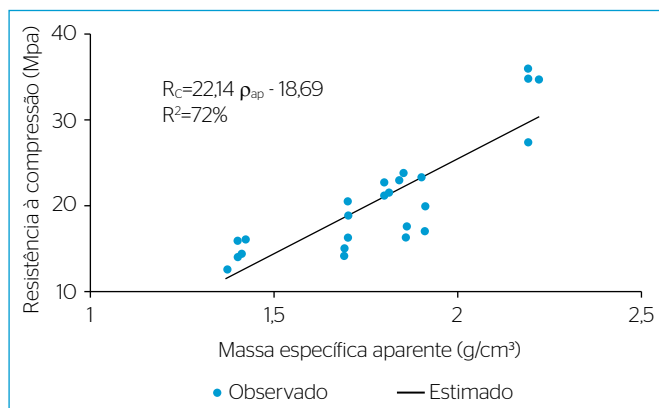


Figura 6 - Resistência à compressão (R_c) em função da massa específica aparente (ρ_{ap}).

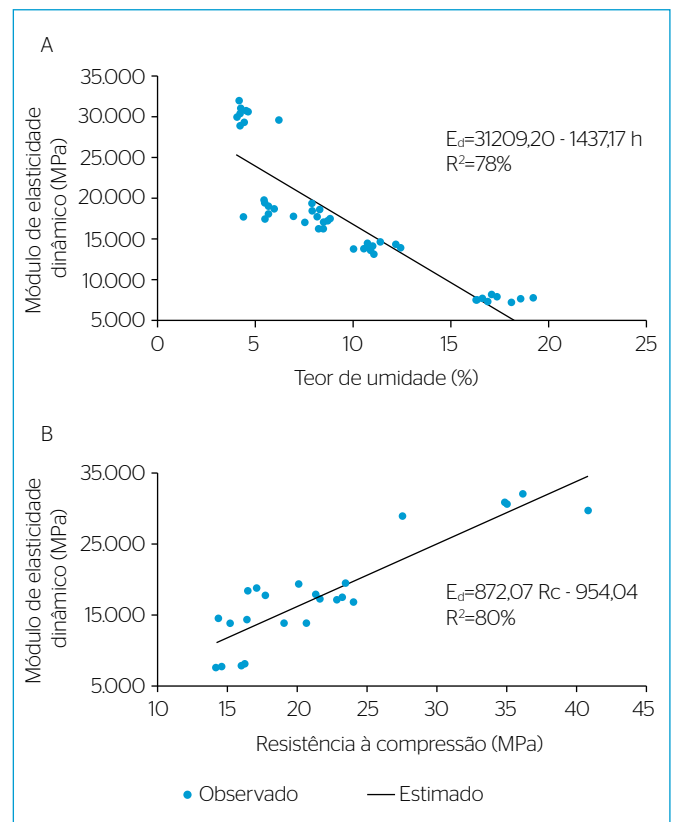


Figura 7 - Módulo de elasticidade dinâmico (E_d) em função do teor de umidade (h) (A) e módulo de elasticidade dinâmico (E_d) em função da resistência à compressão (R_c) (B).

a torna mais flexível e menos capaz de inibir a fissuração da matriz de cimento (FRYBORT *et al.*, 2008). Dessa forma, é esperado que os módulos de elasticidade dos compósitos com cimento-madeira sejam inferiores e diminuam quanto maior o percentual de madeira presente no compósito.

Os percentuais de redução do módulo de elasticidade dinâmico dos compósitos com a inserção de serragem foram: 38,65% (II), 43,44% (III), 53,70% (IV) e 74,56% (V), em relação ao compósito I. Esse comportamento também foi observado por Frybort *et al.* (2008) e Beraldo *et al.* (2012), que verificaram que os valores dos módulos de elasticidade dinâmicos obtidos para os diferentes compósitos reduziram acentuadamente para teores mais elevados de substituição de areia por partículas de palha de cana. Frybort *et al.* (2008) observou que existe uma correlação linear entre a proporção cimento:madeira e o módulo de elasticidade. De fato (Figura 7B), os compósitos com 20% de serragem deste trabalho (1:0,23) resultaram em maiores módulos de elasticidade em relação àqueles com 35% de serragem (1:0,41), 50% de serragem (1:0,58) e 70% de serragem (1:0,82), o que também ocorre com a resistência à compressão (GARCEZ *et al.*, 2013).

Avaliação dos componentes de alvenaria

A partir das análises dos compósitos cimento-madeira, foram selecionados os traços III e V para fabricação dos componentes de alvenaria.

A massa específica aparente seca, o teor de umidade e a resistência à compressão dos componentes de alvenaria podem ser visualizados na Tabela 5.

As massas específicas dos tijolos diferiram estaticamente, reduzindo 37,01% dos traços III' (cimento:areia:serragem) para o V' (cimento:serragem), comportamento que se assemelha ao dos compósitos cimento-madeira ensaiados previamente. Dessa forma, a carga de alvenaria considerada em um projeto estrutural, considerando a construção de 1 m² de parede de tijolos cerâmicos de 9 cm de espessura (massa específica 1,80 x 10⁻³ kg.m⁻³), que seria de 162 kg, reduziria para 139 kg (14,19%) com tijolos do traço III' e para apenas 87 kg com tijolos do traço V' (46,29%).

O percentual de serragem presente nos compósitos influenciou significativamente a resistência à compressão dos tijolos, que diminuiu 51,69% do tijolo III' para o V'; e 53,25% para a média de V' e V'', comportamento que, embora seja mais acentuado, se assemelha ao dos compósitos cimento-madeira ensaiados previamente. Por outro lado,

Tabela 5 - Massa específica aparente seca, teor de umidade e resistência à compressão.

	Massa específica aparente seca (10 ⁻³ kg.m ⁻³)		Teor de umidade (%)		Resistência à compressão (MPa)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
III'	1,54 ^a	1,06	7,30 ^a	5,78	8,28 ^a	8,36
V'	0,97 ^b	1,46	15,27 ^b	5,19	4,00 ^b	16,10
V''	-	-	37,77 ^c	1,41	3,48 ^b	14,62

CV: coeficiente de variação; médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente com nível de 5% de probabilidade de erro; V'' imerso em água por 24 horas, para realização do ensaio de absorção.

a imersão em água por 24 horas não ocasionou diferença estatística entre V' e V''. Estudos de Xing *et al.* (2015) evidenciaram perdas de 50 e 65% na resistência à compressão de blocos de concreto com substituição de 30 e 60% de areia por serragem. A resistência à compressão dos componentes de alvenaria é, portanto, inversamente proporcional ao percentual de serragem inserido (TORKMAN *et al.*, 2014).

A absorção influencia na determinação de propriedades mecânicas e de transporte da maioria dos materiais de construção, influenciando na durabilidade. Em compósitos cimento-madeira, a absorção de água aumenta consideravelmente com o aumento do percentual de serragem que substitui o agregado miúdo, seja pela característica higroscópica da madeira ou pelo aumento da porosidade da matriz, que permite o preenchimento dos vazios existentes pela água (TORKMAN *et al.*, 2014). A análise prévia dos corpos-de-prova cilíndricos comprovou que a absorção de água é mais acentuada quanto maior a inserção de serragem nos compósitos: 13,15% para o traço III e 38,67% para o traço V (Tabela 3). Considerando o elevado valor de absorção de água obtido no traço V, foi determinada a absorção de água nos tijolos fabricados com esse traço, denominados nessa etapa como V'' após 24 horas de imersão, resultando no valor médio de 22,5%.

Os tijolos tiveram comprimento, largura e altura registrados. Não foram encontrados valores fora do intervalo especificado pela NBR 8041 (ABNT, 1983c), de 3 mm para mais ou para menos nas três dimensões, o que indica que são adequados quanto ao quesito variação dimensional.

Análise dos componentes de alvenaria frente às exigências das normas brasileiras

Os tijolos produzidos foram analisados frente às exigências das normas brasileiras para componentes de alvenaria, que constam da Tabela 6.

Os dados obtidos indicam que os componentes de alvenaria produzidos com o traço III poderiam ser utilizados como tijolos maciços tanto com relação à resistência à compressão quanto à absorção, se encaixando nos padrões das normativas NBR 7170 (ABNT, 1983b) e NBR 8491 (ABNT, 2012). Esse traço se encaixa também nos padrões prescritos nas normas referentes a blocos vazados: NBR 6136 (ABNT, 2014) e NBR 15270 (ABNT, 2005b) para as classes 10, 15, 25, 45, 60, 70; e NBR 10834 (ABNT, 2013b).

Quanto à utilização do traço V, no qual a areia é substituída completamente por serragem, o valor médio da absorção de água supera as prescrições das normas brasileiras referidas na Tabela 6, indicando que seria necessário um ajuste no traço.

Cabe ressaltar que as normas apresentadas na Tabela 6, por serem prescritivas, estabelecem apenas parâmetros que devem ser observados nos componentes de alvenaria, alvo deste trabalho, não mencionando o desempenho do sistema de vedação. Entretanto, com a entrada em vigor da NBR 15575 (ABNT, 2013a), os desempenhos estabelecidos para os sistemas de vedação vertical em uma edificação (paredes e esquadrias)

Tabela 6 - Exigências de normas brasileiras para componentes de alvenaria.

Norma (ABNT)	Resistência mínima à compressão (MPa)	Absorção máxima (%)	Umidade máxima (%)
NBR 7170 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria	1,5 a 4,0	-	-
NBR 6136 - Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural	4,5 a 16	convencionais: 10 leves: 13 (média) 16 (individual)	entre 25 e 45
NBR 15270 - Bloco cerâmico para alvenaria de vedação	1,5 (furos na horizontal) 3 (furos na vertical)	entre 8 e 22	-
NBR 8491 - Tijolo de solo cimento	2,0 (média) 1,7 (individual)	20 (média) 22 (individual)	-
NBR 10834 - Bloco de solo cimento sem função estrutural	2,0 (média) 1,7 (individual)	20 (média) 22 (individual)	-

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR: Norma Brasileira.

devem atender também a requisitos como estanqueidade ao ar, à água, a rajadas de ventos e ao conforto acústico e térmico.

CONCLUSÕES

A inserção de serragem nos compósitos influenciou significativamente as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, resultando, à medida em que se aumentou o percentual de serragem, em menor massa específica, maior teor de umidade, maior índice de vazios, maior absorção de água, menor resistência à compressão e menor módulo de elasticidade dinâmico.

Os tijolos fabricados com o traço III, proporção 30:35:35 (cimento:areia:serragem, em volume) apresentaram propriedades físicas e mecânicas compatíveis com as exigências das normas brasileiras prescritivas, relativas a componentes de alvenaria. Estudos complementares

devem ser desenvolvidos para analisar a utilização desses tijolos em sistemas de vedação vertical, verificando se atendem aos requisitos de desempenho como estanqueidade ao ar, à água, a rajadas de ventos e ao conforto acústico e térmico, conforme preconiza a NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Os resultados também indicam que o ultrassom pode ser utilizado, como ensaio não destrutivo, para correlacionar as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos cimento-madeira. O módulo de elasticidade dinâmico, determinado através da velocidade da onda ultrassônica, comprovou que os compósitos cimento-madeira se tornam menos rígidos quanto maior o percentual de serragem inserido.

De forma geral, os resultados mostram que resíduos da indústria madeireira têm potencial para serem utilizados na produção de componentes leves de alvenaria, podendo ser aplicados como material de construção alternativo.

REFERÊNCIAS

- ASHORI, A.; TABARSA, T.; AMOSI, F. (2012) Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood-cement composite materials. *Construction and Building Materials*, n. 27, p. 126-129. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.016>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1983a) *NBR 6460*: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (1983b) *NBR 7170*: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (1983c) *NBR 8041*: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Forma e dimensões - Padronização. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (1991) *NBR 5733*: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (1997) *NBR 7215*: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (2005a) *NBR 9778*: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (2005b) *NBR 15270*: Parte 1 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (2008) *NBR 15630*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (2012) *NBR 8491*: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (2013a) *NBR 15575*: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT.
- _____. (2013b) *NBR 10834*: Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT.

_____. (2014) *NBR 6136*: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT.

BARBOSA, L.C.; PEDRAZZI, C.; FERREIRA, E.S.; SCHNEID, G.N.; WILLE, V.K.D. (2014) Avaliação de resíduos de uma serraria para produção de celulose kraft. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 2, p. 491-500. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509814589>

BERALDO, A.L.; PAYÁ, J.J.; MONZÓ, J.M. (2012) End aplicado a compósito de cimento e resíduo vegetal. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO, 2012. *Anais...* São Paulo: CONAEND&IEV.

BERTOLINI, M.S.; CAMPOS, C.I.; SOUZA, A.M.; PANZERA, T.H.; CHRISTOFORO, A.L.; LAHR, F.A.R. (2014) Wood-cement composites from wastes of *Pinus* sp. wood: Effect of particles treatment. *International Journal of Composite Materials*, v. 4, n. 2, p. 146-149. <http://dx.doi.org/10.5923/j.comaterials.20140402.14>

BOUGUERRA, A.; LEDHEM, F.; BERQUIN, F.; DHEILLY, R.M.; QUENEUEDEC, M. (1998) Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete prepared from clay, cement, and wood aggregates. *Cement and Concrete Research*, v. 28, n. 8, p. 1179-1190. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00075-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00075-1)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (2014) *Panorama Econômico do setor florestal*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 10p.

CALEGARI, L.; STANGERLIN, D.M.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; LONGHI, S.J.; DO CARMO, P.I.O.; SILVA FILHO, L.C.P.; GATTO, D.A. (2007) Monitoramento do teor de umidade de madeiras de *Pinus elliottii* Engelm. e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, sob diferentes temperaturas de secagem, através do ultra-som. *Ciência Florestal*, v. 17, n. 4, p. 399-408. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981971>

CASTRO, T.M.; TAVARES, C.R.G.; LISOT, A.; KAMINATA, O.T. (2015) Caracterização de blocos cerâmicos acústicos produzidos com incorporação de lodo de lavanderia têxtil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 1 p. 47-54. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000088966>

CHRISTOFORO, A.L.; RIBEIRO FILHO, S.L.M.; PANZERA, T.H.; LAHR, F.A.R. (2013) Metodologia para o cálculo dos módulos de elasticidade longitudinal e transversal em vigas de madeira de dimensões estruturais. *Ciência Rural*, v. 43, n. 4, p. 610-615. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013000400008>

COSTA, C.A.S. (2012) *Incorporação de serrim em argamassas cimentícias*. 100f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Guimarães.

FAGUNDES, A.H.V. (2003) *Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul*. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FRYBORT, S.; MAURITZ, R.; TEISCHINGER, A.; MÜLLER, U. (2008) Cement bonded composites - A mechanical review. *BioResources*, v. 3, n. 2, p. 602-626.

GARCEZ, M.R.; SANTOS, T.; GATTO, D.A. (2013) Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados com adição de serragem em substituição ao agregado miúdo. *Ciência & Engenharia*, v. 22, p. 95-104. <http://dx.doi.org/10.14393/198340712013.23666>

GIFFONI, P.O. & LANGE, L.C. (2005) A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 128-136. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000200006>

IWAKIRI, S.; STINGHEN, A.B.M.; SILVEIRA, E.L.; ZAMARIAN, E.H.C.; PRATA, J.G.; BRONOSKI, M. (2008) Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. *Floresta*, v. 38, n. 3. <http://dx.doi.org/10.5380/rfv38i3.12414>

JORGE, F.C.; PEREIRA, C.; FERREIRA, J.M.F. (2004) Wood-cement composites: a review. *Holz Roh Werkst*, v. 62, p. 370-377. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-004-0501-2>

LIMA, J.M. & IWAKIRI, S. (2014) Utilização de resíduos da madeira de *Pinus* spp. como substituição ao agregado miúdo na produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 1, p. 223-235. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509813339>

MURARA JR, M.I.; ROCHA, M.P.; TIMOFEYCZYK JR, R. (2005) Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. *Floresta*, v. 35, n. 3, p. 473-483. <http://dx.doi.org/10.5380/rfv35i3.5186>

SUBRAMANIAM, P.; SUBASINGHE, K.; FONSEKA, R.K. (2015) Wood ash as an effective raw material for concrete blocks. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, v. 4, n. 2, p. 228-233.

TESSARO, A.B.; GONÇALVES, M.R.F.; GATTO, D.A.; POLLNOW, E.N.; CARREÑO, N.L.V.; DELUCIS, R. de A. (2015) Compósitos cimentícios reforçados com fibras de eucalipto puras e tratadas com tetraetilortossilicato (TEOS 98%). *Ambiente Construído*, v. 15, n. 3, p. 47-55. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000300025>

TORKMAN, J.; ASHORI, A.; MOMTAZI, A.S. (2014) Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. *Construction and Building Materials*, v. 50, p. 432-436. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.044>

TURGUT, P.; ALGIN, H.M. (2007) Limestone dust and wood sawdust as brick material. *Building and Environment*, v. 42, p. 3399-3403. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.012>

TURGUT, P.; GUMUSCU, M. (2013) Thermo-elastic properties of artificial limestone bricks with wood sawdust. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, v. 7, n. 4, p. 128-132. <http://scholar.waset.org/1999.2/16951>

XING, Z.; DJELAL, C.; VANHOVE, Y.; KADA, H. (2015) Wood waste in concrete blocks made by vibrocompression. *Environmental Processes*, v. 2, p. S223-32. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0104-4>