PROPRIEDADE DA ARGAMASSA DE CAL-MADEIRA PARA APLICAÇÃO EM REVESTIMENTOS

Tema: Sustentabilidade, vida útil e meio ambiente.
Grupo[1]: 1

MARIA CLARA C. PINTO[1], LETÍCIA CANCELA[2], CARLOS F. A. PARCHEN[3], SARAH H. LOPES[4], MARIENNE R. M. M. COSTA[5]

[1]Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná/UFPR, mclaracavalini@gmail.com
[2]Estudante de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná/UFPR, leticancela@hotmail.com
[3]Prof. Dr., Universidade Federal do Paraná/UFPR, parchen.ufpr@gmail.com
[4]Profª. Msª, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR, sarahhlds@gmail.com
[5]Profª. Drª., Universidade Federal do Paraná/UFPR, mariennemaron@gmail.com

RESUMO

A escassez de recursos minerais e a expressiva geração de gases causadores do efeito estufa tem impulsionado o setor da construção civil a buscar materiais substitutos para o agregado mineral e cimento Portland. Visando reduzir o consumo desses materiais, o atual trabalho apresenta o desenvolvimento de argamassas de revestimento produzidas com cal e serragem de madeira. Os materiais empregados nas argamassas foram a cal hidratada do tipo CH-III e a serragem de madeira de *Pinus spp.*, obtida em serraria localizada na região metropolitana de Curitiba. A relação água/cal foi mantida constante igual a 0,8 e as partículas de serragem foram utilizadas em duas granulometrias: passante em peneira com abertura # 4,8 mm e # 1,2 mm. Foram produzidas argamassas com traços 1:0,5 e 1:0,75 (cal: madeira), em massa. Os corpos de prova foram moldados em formas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm e curados durante 28 dias em ambiente de laboratório. No estado fresco foram medidas as densidades das argamassas e os comportamentos reológicos foram avaliados utilizando os métodos de mesa de consistência e *squeeze-flow*. No estado endurecido foram desenvolvidos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão. A argamassa que apresentou melhor resistência à compressão foi a contendo maior teor de serragem e com partículas passantes em peneira # 4,8 mm.

Palavras-chave: argamassa de revestimento, serragem, cal, propriedades.

[1] **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

LIME SAWDUST MORTARS PROPERTIES FOR COATING APPLICATION

ABSTRACT
The mineral resources scarcity and the considerable generation of greenhouse gases has promoted the civil construction sector to search for new materials to substitute mineral aggregate and Portland cement. Aiming to reduce those materials consumption, this work presents the development of coating mortars made by hydrated lime, type CH-III, and *Pinus spp* wood sawdust, obtained in a sawmill located in Curitiba's metropolitan region. The water/lime ratio was kept the same as 0,8 and the sawdust was sifted in two different gradations: particle size smaller than # 4,8 mm and # 2,4 mm sieve opening. The mortars were produced with 1/0,5 and 1/0,75 (lime/sawdust), by weights. The samples were placed into molds of 4 cm x 4 cm x 16 cm and cured on laboratory environment for 28 days. The mortar's density was measured on fresh stage and the reological behavior was measured using the flow-table and squeeze-flow method. The compressive strength and the tensile strength were developed on mortar's hard stage. The mortar with higher compressive strength was the one with more sawdust and with the bigger particle sizes.

Key-words: coating mortar, sawdust, lime, properties.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e social de uma nação está conectado ao setor da construção civil. O setor da construção, por sua vez, depende da disponibilidade de certos insumos para produção dos compósitos empregados nas edificações. Basicamente, os insumos mais utilizados são cimento e agregados minerais. A exploração dos minerais consumidos na produção desses insumos acarreta em diversos danos ambientais. Um tipo de areia comumente empregado na construção é a proveniente da extração de leitos de rio. A retirada dessa material pode provocar a degradação e alteração de cursos de rio, afetando o ecossistema de espécies animais e vegetais. O mesmo ocorre com a exploração de areia em jazidas, no qual a flora e a fauna são diretamente afetadas pela devastação do habitat natural. A fim de conter o impacto humano no meio ambiente, órgãos ambientais como Organização das Nações Unidas (ONU) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) controlam a extração mineral (KUBICKI; MANSO; DIESING, 2007; LIMA, 2017).

A produção de materiais para construção civil impactam não só o ecossistema terrestre e marinho, mas também geram gases causadores de efeito estufa. A produção do cimento é responsável por emitir expressivos teores de CO_2, que aceleram o processo de degradação da camada de ozônio. Em contraste ao cimento, a cal é um aglomerante que reabsorve parte do dióxido de carbono emitido durante seu processo de fabricação, apresentando-se como um aglomerantes menos poluente do que o cimento (CIZER et al., 2008; JOHN; PUNHAGUI; CINCOTTO, 2014; FREITAS JUNIOR, 2017).

Ao longo dos anos, pesquisas vêm sendo desenvolvidas a fim de se reduzir o impacto ambiental gerado pelas construções. Trabalhos apontaram que a substituição de produtos “convencionais”, como concreto, aço, blocos cerâmicos, por produtos proveniente de madeira tornariam as novas construções menos poluentes, uma vez que a madeira, durante seu desenvolvimento, absorve o gás carbônico do meio ambiente. Além disso, a madeira também apresenta-se como uma fonte renovável de matéria-prima. O Brasil, por apresentar vasta extensão territorial e variedade climática, é um país que possui vantagens no cultivo de florestas. Por esses motivos, trabalhos foram desenvolvidos produzindo compósitos cimentícios no qual o agregado mineral foi substituído parcialmente ou totalmente por material vegetal. Parchen (2012) e Villas-Bôas (2016) produziram blocos de vedação utilizando como agregado resíduo de *Pinus spp*, enquanto Bilcati (2018) produziu compósitos utilizando fibras de curauá como reforço. Seguindo essa linha de desenvolvimento ambiental dos materiais empregados na construção civil, esta pesquisa objetiva verificar as propriedades reológicas e mecânicas de argamassas de revestimento produzidas com cal hidratada e serragem de madeira (NEMRY et al., 2008; PARCHEN, 2012; FREITAS JUNIOR, 2017).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

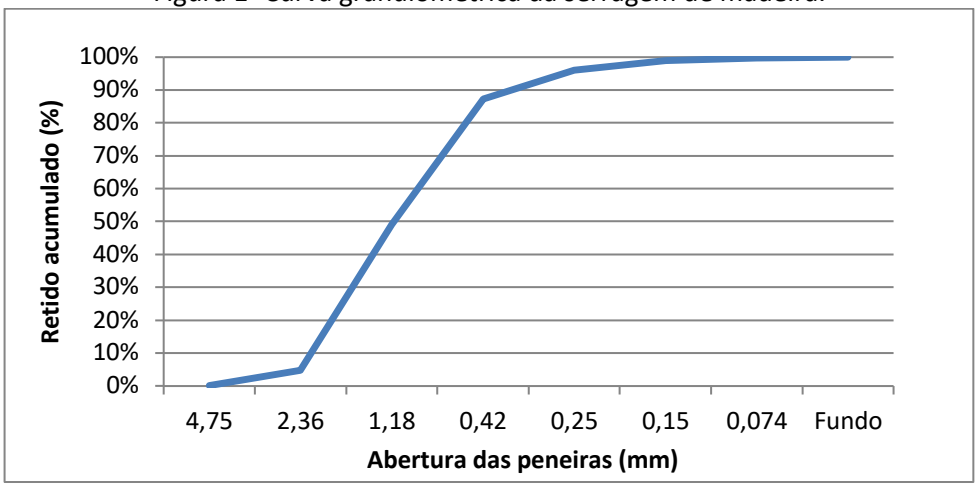
Para o desenvolvimento da pesquisa, os materiais empregados foram a cal hidratada, do tipo CH-III, e serragem de madeira de *Pinus spp*. Os materiais utilizados foram submetidos à caracterizações físicas. A cal utilizada apresentou massa unitária igual a 0,6 g/cm^3 (NM 45:2006) e massa específica de 2,78 g/cm^3 (NBR 16605:2006).

A serragem de madeira utilizada na pesquisa como agregado foi proveniente do resíduo do processo de beneficiamento das toras de madeira para obtenção de lâminas. O material foi caracterizado fisicamente, conforme apresentado na Tabela 1. A madeira utilizada não passou por nenhum processo de tratamento ou secagem prévia, portanto além de determinar a massa unitária seca, como é prescrito pela NBR NM 45:2006, também se determinou a massa unitária da serragem de forma úmida, bem como foi coletada na serraria.

Tabela 1 – Caracterização da serragem de madeira.

Ensaios	Resultados	Normas:
Massa unitária (seca):	0,175g/cm³	NBR NM 45:2006
Massa unitária (úmida):	0,25g/cm³	
Teor de umidade:	78,83%	NBR 7190:1997
Coeficiente de inchamento:	0,647	NBR 6467:2006
Umidade crítica:	10,80%	
Absorção:	82,87%	NBR NM 30:2000

Figura 1- Curva granulométrica da serragem de madeira.



Fonte: acervo do autor.

Também se determinou a curva granulométrica das partículas de madeira, apresentada na Figura 1. A fim de se comprar a influência do tamanho das partículas no comportamento da argamassa de cal, adotou-se duas diferentes granulometrias para a serragem, sendo elas # 2,4 mm e # 4,8 mm.

2.2. Produção das argamassas

Como informado anteriormente, as argamassas foram produzidas utilizando serragem em duas diferentes granulometrias, não passando por nenhum processo de pré-tratamento. Para a pesquisa foram produzidas argamassas com dois traços de cal: madeira, sendo eles 1:0,5 e 1:0,75, ambos em massa. A relação água: cal foi de 0,8, também em massa. As argamassas foram misturadas conforme norma NBR 13276:2002 e moldadas em formas prismáticas de dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm (NBR 13279:2005), e desformadas após uma semana. Para cada amostra de argamassa no estado endurecido foram produzidos três corpos de prova, possibilitando a análise estatísticas dos resultados. Dessa maneira os resultados foram comparados entre si utilizando-se análise de variância e Teste t, ambos com 5% de nível de significância. As amostras foram mantidas em ambiente de laboratório durante os 28 dias de cura para então, serem ensaiadas no estado endurecido. É sabido que com o avança da idade, o hidróxido de cálcio contido na matriz da argamassa reage com o dióxido de carbono promovendo a carbonatação e, consequentemente, aumentando a resistência mecânica da argamassa de cal. Sendo assim, é possível afirmar que para idades mais avançadas que aos 28 dias a resistência mecânica da argamassa irá aumentar até a completa carbonatação do compósito.

2.3. Ensaios realizados

No estado fresco determinou-se a densidade de massa (NBR 13278:1995), o índice de consistência (NBR 13276:2002) e também o comportamento reológico pelo método do *sqeeze-flow* (NBR 15839:2002). No estado endurecido foram realizados ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão (NBR 13279:2005).

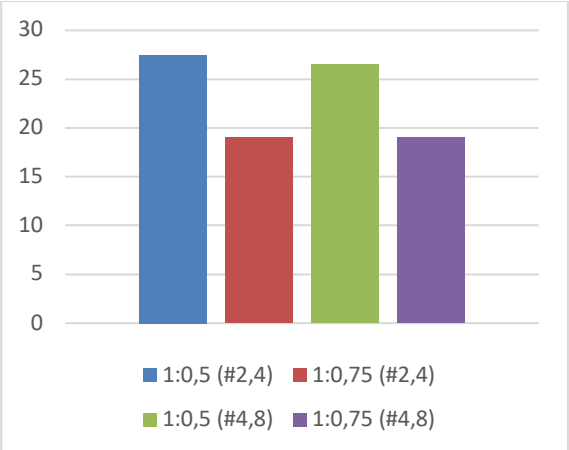
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos contidos nas Figura 2 e Figura 3 apresentam os resultados de índice de consistência e de densidade de massa, obtidos na argamassa no estado fresco. Analisando-se a Figura 2 é possível verificar que as argamassas com maior teor de agregado madeira apresentaram menor abertura em comparação às argamassas contendo maior teor de aglomerante. Isto se deve ao fato da madeira ser um material com alto poder de absorção de água, tal qual apresentado na Tabela 1. A morfologia das partículas de madeira também é outro fator que causa interferência na consistência da argamassa, uma vez que as partículas de madeira apresentam formato irregular, provocando o embricamento das partículas que, por sua vez,

aumenta a consistência da argamassa no estado fresco. Além da madeira, a cal também é responsável por interferir na consistência da argamassa. As pequenas partículas de cal são responsáveis por lubrificar o compósito e, dessa maneira, as argamassas com maiores teores de aglomerante apresentaram maiores aberturas ao final do ensaio de consistência. Comparando-se as argamassas contendo as diferentes serragens, foi possível verificar que a variação na granulometria da madeira exerceu pouca influência sobre a consistência das argamassas para o ensaio de mesa de consistência.

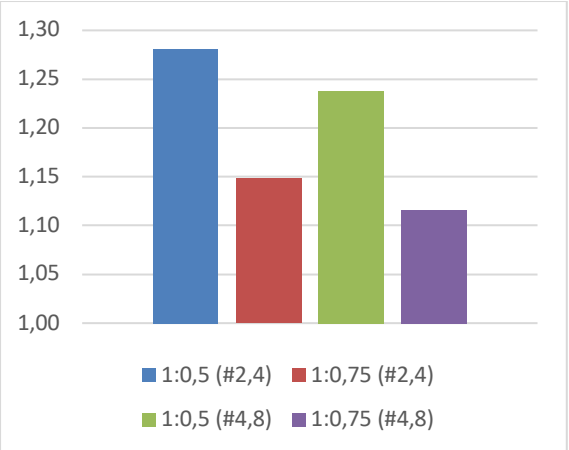
Assim como a consistência, a densidade de massa da argamassa contendo serragem foi influenciada pela variação no traço. Argamassas contendo maiores teores de madeira apresentaram menores densidade de massa. Comparando-se a massa unitária de cada material pode-se verificar que a madeira, mesmo em seu estado úmido, apresenta massa unitária menor que a cal, refletindo no resultado da densidade de massa. Sendo assim, a argamassa contendo maior proporção de agregado madeira apresentou a densidade reduzida em função de características intrínsecas aos materiais empregados na produção da argamassa. Quanto à variação na granulometria do agregado madeira é possível verificar, analisando-se o gráfico, que as argamassas contendo material passante em peneira de abertura # 4,8 mm apresentaram densidade menor. A hipótese que explicaria essa suave distinção de resultados poderia ser em função das partículas maiores de madeira demorarem mais tempo para absorver a água do sistema, consequentemente a estrutura das partículas maiores apresentaria mais vazios retido, reduzindo a densidade de massa. Contudo esta hipótese pode ser questionável já que não foi realizada análise estatística para confirmar se realmente houve diferença significativa entre os resultados.

Figura 2- Índica de consistência (cm).



Fonte: acervo do autor.

Figura 3- Densidade de massa (g/cm^3).

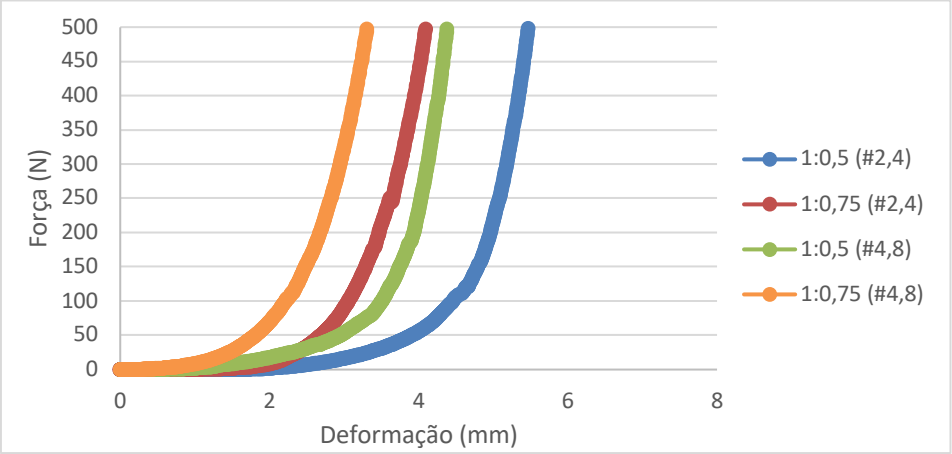


Fonte: acervo do autor.

A Figura 4 apresenta o gráfico contendo as curvas de *sqeeze-flow*. Verificando-se as curvas que apresentaram maior deslocamento, constata-se que estas foram as de traço 1:0,5. Isto

ocorreu devido ao fato da cal apresentar-se como um aglomerante que promove a trabalhabilidade em argamassas. Além disso, a serragem apresenta morfologia desforme, prejudicando assim a trabalhabilidade das argamassas de traço 1:0,75. Estes resultados estão em congruência com os obtidos na análise de índice de consistência, uma vez que ambos são ensaios aplicados para se determinar padrões reológicos dos compósitos. Enquanto que a análise de índice de consistência apresentou resultados similares para as argamassas contendo o mesmo tipo de serragem, o ensaio de *queeze-flow* foi capaz de demonstrar diferença reológica entre as argamassas analisadas. Sendo assim, foi possível verificar que as argamassas contendo serragem passante em peneira de abertura # 4,8 mm apresentaram menor deslocamento que as argamassas contendo serragem passante em peneira # 2,4 mm. Isto ocorre devido as partículas menores de madeira presentaram menor intertravamento entre si, promovendo a melhor trabalhabilidade. Por esses motivos é possível verificar que a argamassa que apresentou o pior comportamento foi a 1:0,75 #4,8, uma vez que ela apresenta o menor teor de cal, consequentemente menor teor de pasta para lubrificar a argamassa, e partículas maiores que também prejudicaram a trabalhabilidade do sistema fresco.

Figura 4- Curvas de *squeeze-flow*.



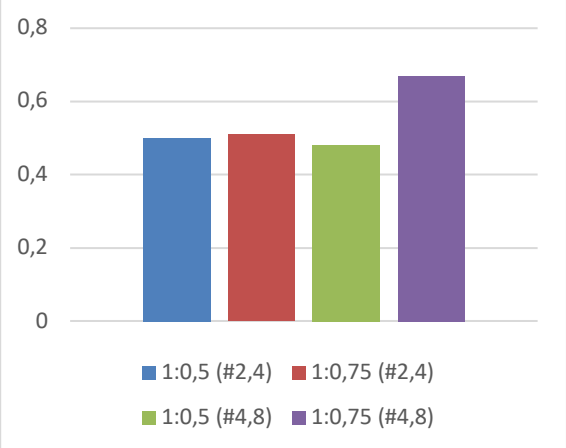
Fonte: acervo do autor.

Analisando-se a Figura 5 é possível verificar os resultados de resistência à compressão obtidos para as argamassas contendo serragem. Utilizando-se do Teste t, foi possível verificar que não há diferença significativa entre os resultados obtidos, com exceção da argamassa de traço 1:0,75, com serragem passante em peneira # 4,8 mm. Por possuírem alto teor de cal, as partículas de madeira contidas nas argamassas de traço 1:0,5 não são capazes de interferir na resistência à compressão. Portanto, independentemente do tamanho das partículas de madeira, as resistências à compressão das argamassas 1:0,5 mantiveram-se estatisticamente iguais em função de seus altos teores de cal. Em contrapartida, as argamassas de traço 1:0,75 sofrem mais influência da madeira, uma vez que apresentam maior teor de agregado. Estatisticamente, a argamassa de traço 1:0,75 contendo serragem passante em peneira # 2,4

mm apresentou a mesma resistência à compressão que as argamassas de traço 1:0,5. Este fato pode ter ocorrido por causa do tamanho das partículas de madeira. Provavelmente, as partículas de menor tamanho não promoveram a distribuição e absorção de cargas na estrutura. Sendo assim, a ruptura provavelmente ocorreu na matriz de cal. A argamassa de traço 1:0,75 contendo serragem passante em peneira # 4,8 mm apresentou estatisticamente maior resistência em função do tamanho das partículas. Provavelmente, as partículas de madeira de maior dimensão se intertravaram mais com a matriz de cal carbonatada, distribuindo melhor as tensões pela estrutura e, consequentemente, aumentando a resistência à compressão da argamassa "1:0,75 (#4,8)".

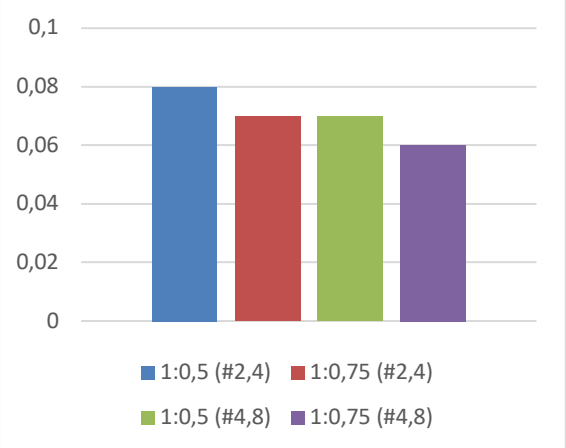
Realizando análise de variância para os resultados de resistência à tração na flexão, apresentados na Figura 6, foi verificado que os resultados não apresentaram diferença significativa entre si. Logo, independente do teor de aglomerante ou da granulometria da serragem, as argamassas apresentaram estatisticamente as mesmas resistências entre si. Diferente do resultado obtido para resistência à compressão, as partículas de madeira não foram capazes de promover a resistência à tração. A madeira é um material que apresenta significativa resistência à tração quando a carga é solicitada no sentido da fibra. Porém, quando a carga é solicitada em sentidos diferentes, a resistência à tração é decrescida. Como as partículas de madeira estão dispostas na matriz da argamassa em sentidos aleatórios, é possível que a madeira não tenha resistido à tração pelo fato de estar sentido solicitada em sentidos diversos.

Figura 5- Resistência à compressão (MPa).



Fonte: acervo do autor.

Figura 6- Resistência à tração na flexão (MPa).



Fonte: acervo do autor.

4. CONCLUSÕES

Ao final dessa pesquisa é possível identificar que mesmo as argamassas tendo apresentado comportamento adequado no estado fresco, no estado endurecido elas não apresentaram resistência mecânica satisfatória. A argamassa que apresentou o melhor resistência à

compressão foi a que conteve maior teor e tamanho de partículas de madeira. Isso ocorreu porque a madeira possivelmente apresenta maior resistência à compressão que a cal carbonatada. No estado fresco as argamassas que apresentaram melhor desempenho foram as que contiveram maior teor de cal em sua mistura em função das propriedades físicas da cal. A pesquisa ainda deve ser avançada para se ajustar o comportamento mecânico das argamassas, todavia os resultados demostraram que a argamassa de revestimento feita com cal e serragem apresenta potencial para aplicação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) e ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelo apoio prestado para o desenvolvimento desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBRNM 45: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2006.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2006.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBRNM 6467: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBRNM 30: Agregados miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2006.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRO DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.839: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.

10. BILCATI, G. K.; MATOSKI, A.; TRIANOSKI, R.; LENGOWSKI, E. Potential use f curaua fiber (*Ananas erectifolius)* for cementitious production composite. **Revista Ingeniería de Construcción.** . 33, nº 2, p. 155-60, 2018.

11. CIZER, O.; VAN BALEN K.; ELSEN J.; VAN GEMERT, D. Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. Proceedings ACEME08, 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, p. 149-158, Rome, Italy, October 2008.

12. FREITAS JUNIOR, J. A. Materiais de construção com madeira para mitigação de gases de efeito estufa na execução de edificações. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

13. JOHN, V. J; PUNHAGUI, K. R. G.; CINCOTTO, M. A. Produção de cal - relatório final. Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. EBC - Economia de Baixo Carbono, Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto - SP, dezembro de 2014. 76 p.

14. KUBICKI, A.; MANSO, F.; DIESING, M. Morphological evolution of gravel and sand extraction pits, Tromper Wiek, Baltic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science. v. 71, p. 647-656, 2007.

15. LIMA, J. D. O mundo enfrenta falta de areia. Quais os efeitos dessa escassez. Nexo, 2017. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/expresso/2017/09/10/O- mundo-enfrenta-falta-de-areia.-Quais-os-efeitos-dessa-escassez>. Acesso em: 6 jun. 2018.

16. NEMRY, F.; UIHLEIN, A.; COLODEL, C. M.; WITTSTOCK, B.; BRAUNE, A.; WETZEL, C.; HASAN, I.; NIEMEIER, S.; FRECH, Y.; KREIßIG, J.; GALLON, N. Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO- Building) EUR 23493 EN - 2008. JRC - Joint

Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, European Commission, Luxembourg, 2008. 395 p.

17. PARCHEN, C. F. A. Compósito madeira cimento de baixa densidade produzido com compactação vibro dinâmica. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

18. VILLAS-BÔAS, B. T. Utilização de cimento Portland e resíduos de Pinus spp para fabricação de blocos vazados de baixa densidade para alvenaria. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.