ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

AVALIAÇÃO DO SISTEMA COMBINADO DE MICROFIBRA DE CELULOSE E MICROCELULOSE CRISTALINA EM PLACAS CIMENTÍCIAS

Evaluation of combined cellulose microfiber and crystalline microcelulose systems in cement boards

Géssica Katalyne Bilcati
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Guarapuava, Paraná | gessicak@utfpr.edu.br

Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa
Universidade Federal do Paraná | Curitiba, Paraná | mariennemaron@gmail.com

Resumo
Nesta pesquisa, objetivou-se avaliar o potencial de utilização da microfibra de celulose combinada com a microcelulose cristalina para produção de placas cimentícias. Foram preparadas placas cimentícias com adição combinada de celuloses MFC-MCC. Corpos de prova foram confeccionados por prensagem e suas propriedades físicas e mecânicas foram avaliadas após 28 dias. Os resultados indicaram que o inchamento em espessura não foi afetado pela adição combinada de celuloses MFC-MCC, promovendo estabilidade dimensional. Os resultados de módulo de ruptura indicaram que a formulação combinada MFC 0,5-MCC 0,6 apresentou melhoria significativa quando comparadas as placas cimentícias de referência. Os resultados de inchamento em espessura e módulo de elasticidade das placas cimentícias com adição combinada de MFC-MCC, atendem os requisitos mínimos da norma para placas de cimento-madeira comerciais.

Palavras-chave: Micromateriais; Painéis cimento-madeira; Construção civil.

Abstract
The aim of this research was to evaluate the potential for using cellulose microfiber combined with crystalline microcellulose to produce cementitious slabs. Cementitious slabs were prepared with the combined addition of MFC-MCC cellulose. The specimens were pressed and their physical and mechanical properties were evaluated after 28 days. The results indicated that swelling in thickness was not affected by the combined addition of MFC-MCC cellulose, promoting dimensional stability. The modulus of rupture results indicated that the combined MFC 0.5-MCC 0.6 formulation showed a significant improvement when compared to the reference cementitious slabs. The results for swelling in thickness and modulus of elasticity of the cement boards with combined MFC-MCC addition meet the minimum requirements of the standard for commercial wood-cement boards.

Keywords: Micromaterials, Wood cement boards; Building construction.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil procura técnicas construtivas que desenvolvam materiais com elevado desempenho e mais duráveis. Assim os materiais alternativos vêm sendo apresentados como uma solução tecnológica, econômica e ambiental de grande importância. A presença de resíduos em componentes de construção, tais como materiais cimentícios suplementares, que são subprodutos de indústrias siderúrgicas, como também adição de microfibras ou partículas de celulose, subprodutos da indústria de papel, são estudados e geralmente contribuem para o desempenho de sistemas cimentícios (FU *et al*., 2017, LIMA *et al*., 2021; LIU *et al*., 2020).

Com a finalidade de minimizar a pegada de carbono dos materiais de construção civil, tem-se buscado elementos construtivos com baixo impacto ambiental, como por exemplo, produtos biodegradáveis, não derivados de petróleo e materiais feitos a partir de recursos renováveis. Outra alternativa na redução de impactos ambientais em sistemas cimentícios é o aumento do desempenho e durabilidade dos materiais de construção e assim reduzir o consumo dos materiais utilizados, diminuindo a demanda por matérias-primas não renováveis (CAO *et al*., 2015). Nesta conjuntura, o estudo combinado dos materiais renováveis, as celuloses empregadas nessa pesquisa podem minimizar o impacto ambiental que geralmente apresentam propriedades satisfatórias para inúmeras finalidades.

A partir do conhecimento do efeito das microfibras de celulose em matrizes cimentícias poderá analisar o efeito de um terceiro constituinte o emprego da microcelulose cristalina, como um microaditivo, para melhorar a interface das matrizes cimentícias e fibras de celulose. O emprego de micropartículas e nanopartículas de celulose são de grande relevância do ponto de vista tecnológico, econômico e ambiental, contudo bastante desafiadora (BALEA *et al*., 2019).

Compósitos podem conter reforços em escalas variadas, permitindo o efeito combinado de dois ou mais materiais empregados como reforço em diferentes escalas (micro e macro). O uso de compósitos multi-escala tem chamado atenção no campo de materiais avançados (ALSHAGEL *et al*., 2018). Com isso, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o efeito combinado de fibra de celulose e microcelulose cristalina em placas cimentícias, para a consolidação em materiais para a construção civil.

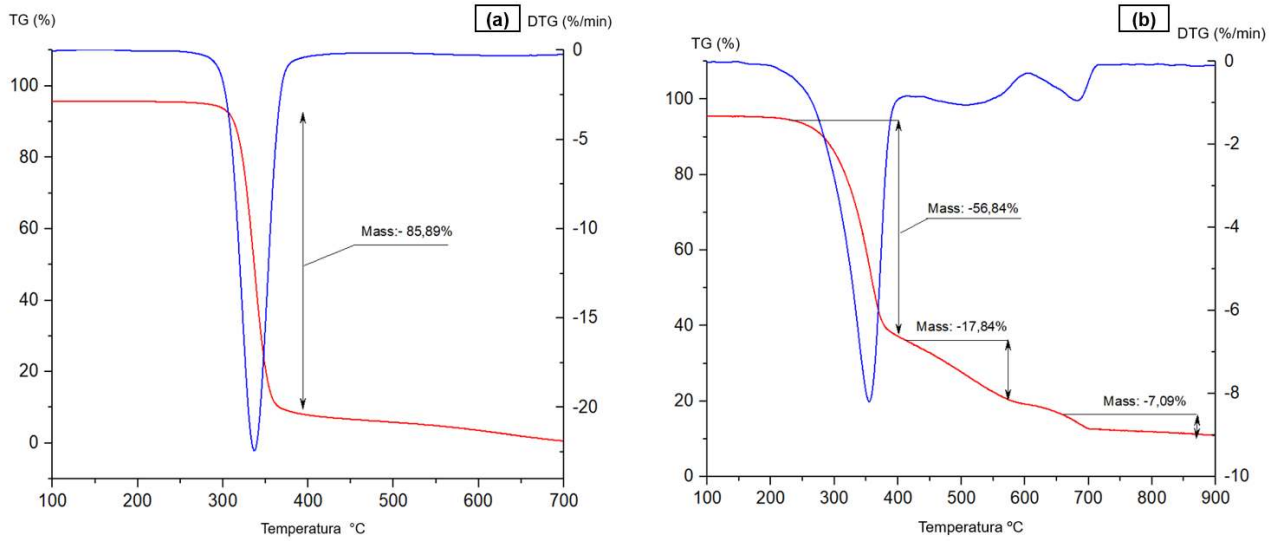
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Os materiais empregados na pesquisa (microceluloses cristalinas, microfibras de celulose e cimento) são produtos comerciais. As variáveis da pesquisa são: teores da microfibra de celulose (0,5%; 1%) + microcelulose cristalina (0,4%; 0,6%) e fatores fixos são: tipo de cimento (CP V ARI) e relação água/cimento (0,45). Os teores avaliados de microfibras de celulose e microceluloses cristalinas empregadas nessa pesquisa foram baseados em trabalhos anteriores (FAN *et al*., 2010; BEZERRA *et al*., 2006; ARDANUY *et al*., 2015; SILVA *et al*., 2018; MORAES *et al*., 2018). Na Figura 1 são apresentadas a caracterização das celuloses através das curvas de TG/DTG.

Nas curvas de TG/DTG observa-se que até 340 ºC a amostra de microcelulose cristalina apresenta estabilidade térmica. A decomposição térmica da microcelulose cristalina exibiu um único evento de decomposição principal com uma temperatura máxima de decomposição de 340 ºC. A decomposição observada é atribuída a processos de degradação da celulose, como despolimerização, desidratação e decomposição de unidades de glucose seguido pela formação de um resíduo carbonizado (ZOHURIAAN; SHOKROLAHI, 2004). Já a decomposição térmica da microfibra de celulose exibiu três eventos de decomposição. O primeiro, de maior intensidade, iniciou-se a 250 ºC atingindo o máximo a 360 ºC, o segundo começou imediatamente após o primeiro evento a 360 ºC terminando a 575 ºC. Geralmente, as reações térmicas acima de 200 ºC das microfibras de celulose podem ser agrupadas em diferentes reações complexas relacionadas com a decomposição das unidades de glucose de celulose por evolução de água, dióxido de carbono e monóxido de carbono (SUNOL et al., 2005). O segundo evento de perda de massa entre 350 ºC a 550 ºC está associada a decomposição dos componentes inorgânicos presentes na microfibra de celulose. O terceiro evento onde a perda de massa se deu entre 650 ºC e 700 ºC acontece o processo de carbonização da microfibra de celulose. A partir da análise térmica, pode-se afirmar que as microceluloses cristalinas são mais estáveis termicamente quando comparadas com as microfibras de celulose, pois uma temperatura inicial de decomposição mais alta está associado a uma maior estabilidade térmica.

Figura 1. Curva TG/DTG da microcelulose cristalina (a) e microfibra de celulose (b)

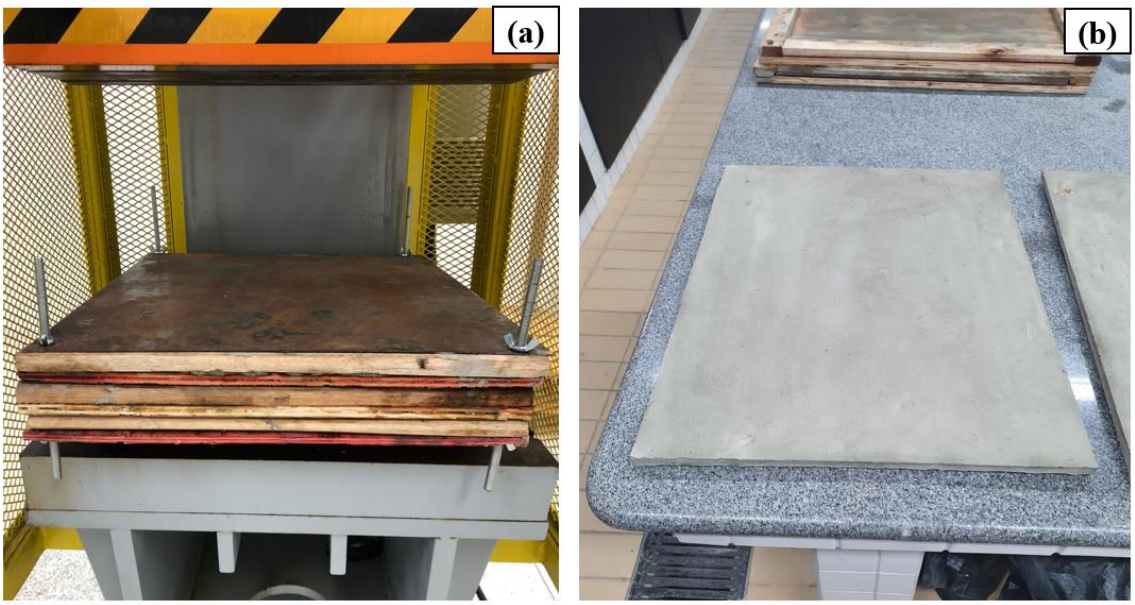


2.2 METODOLOGIA DA PESQUISA

As placas cimentícias com adição das celuloses MFC-MCC foram moldadas em escala laboratorial usando a técnica de conformação por prensagem. Foram confeccionadas três placas para cada formulação. Após a preparação, a mistura foi pesada e distribuída para uma caixa de madeira. Separada por chapas de alumínio, um segundo e um terceiro colchão foram sobrepostos. Foi efetivado o grampeamento por 24 horas. Para tal, foram colocados parafusos e roscas ligando todo colchão.

As placas cimentícias foram prensadas à temperatura ambiente e pressão constante de 4,0 MPa por aproximadamente 5 minutos (Figura 1-a). Após a prensagem, as placas foram retiradas da prensa (Figura 1-b) e imediatamente levados à cura, assim permanecendo por 7 dias. O procedimento de cura foi realizado a partir da imersão em água alcalina. Posteriormente a cura, as placas preparadas foram levadas a câmara interna em temperatura ambiente por 21 dias (BILCATI *et al.*, 2018).

Figura 1. Processo de prensagem (a) placas com celuloses FC-MCC após a desforma (b)



As placas cimentícias preparadas foram cortadas em serra diamantada em três corpos de provas por painel com dimensões nominais de 50 mm de largura, 15 mm de espessura e 370 mm de comprimento para a flexão estática (EN 310) e cinco corpos de prova com 50 mm de largura, 50 mm de comprimento e 15 mm de espessura para ensaio de massa específica aparente (ME) e inchamento em espessura (IE) (EN 317).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS PLACAS

No quadro 1 é apresentado os valores médios das propriedades físicas de massa específica aparente das placas cimentícias com e sem adição das celuloses MFC-MCC, respectivamente.

Quadro 1: Valores médios, em porcentagem, de massa específica, após 2 e 24 horas de imersão

FORMULAÇÃO	ME 2H (g/cm^3)	ME 24H (g/cm^3)
Referência	1,48 a (9,77)	1,52 a (9,53)
MFC (0,5) + MCC (0,4)	1,60 a (3,52)	2,643 a (11,31)
MFC (1,0) + MCC (0,4)	1,18 c (6,56)	3,483 b (4,69)
MFC (0,5) + MCC (0,6)	1,93 b (2,88)	2,666 a (11,94)

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Onde (a) se refere a médias iguais a referência, (b) médias diferentes a referência com valores superiores estatisticamente e (c) = médias diferentes a referência com valores inferiores estatisticamente. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.
Onde: MFC = Microfibra de celulose; MCC = microcelulose cristalina.

Observando os dados do quadro 1, verifica-se que houve um efeito significativo do tipo e do conteúdo celuloses MFC-MCC aplicado como adição nas placas cimentícias. A formulação MFC 0,5-MCC 0,6 apresentou maiores valores médios de massa específica aparente diferindo significativamente das demais formulações. Nota-se ainda, que os menores valores médios de massa específica aparente foram registrados quando foi empregado maior teor de microfibra de celulose, sendo estatisticamente diferentes. Pode-se concluir que o alto teor de microfibra de celulose proporcionou um aumento de vazios no momento da prensagem, enquanto o alto teor de microcelulose cristalina tende a produzir materiais mais compactos, de maior densidade.

No Quadro 2 é mostrado os valores médios de inchamento em espessura das placas cimentícias com e sem adição das celuloses MFC-MCC, respectivamente.

Quadro 2: Valores médios, em porcentagem, de inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão

FORMULAÇÃO	IE 2H (%)	IE 24H (%)
Referência	0,661 a (15,38)	0,826 a (2,99)
MFC (0,5) + MCC (0,4)	0,596 a (31,87)	0,809 a (30,88)
MFC (1,0) + MCC (0,4)	0,774 a (33,32)	1,687 a (22,44)
MFC (0,5) + MCC (0,6)	0,626 a (4,25)	1,117 a (27,73)

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Onde (a) se refere a médias iguais a referência. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.
Onde: MFC = Microfibra de celulose; MCC = microcelulose cristalina.

As variáveis inchamento em espessura de 2 e 24h, não foram afetadas pela adição combinada de microfibra de celulose e microcelulose cristalina. Os resultados de inchamento em espessura de imersão em água indicaram menor variação dimensional no qual às 2h de imersão todas formulações estudadas variaram de 0,59% a 0,77% e as 24h variaram de 0,8% a 1,68%, esse fator pode ser relacionado com a regularidade das placas de cimentícias por prensagem. Nos tratamentos realizados, é indicado que as formulações não promovem uma variação dimensional significativa.

Todas as placas cimentícias avaliadas neste estudo apresentaram um inchamento em espessura abaixo do valor de referência máximo de 0,8% em 2h de imersão e 1,8% em 24h de imersão, indicado como requisito para placas cimentícias reforçadas com madeira comerciais exigidas pela ISO 8335.

3.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS PLACAS

No Quadro 3 é apresentado os valores médios e análise estatística dos módulos de elasticidade (MOE) e módulos de ruptura (MOR) de todas as formulações estudadas.

Quadro 3: Valores médios, em MPa, do módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR)

FORMULAÇÃO	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Referência	2313 a (16,67)	4,907 a (6,19)
FC (0,5) + MCC (0,4)	3374 a (25,54)	6,110 a (27,81)
FC (1,0) + MCC (0,4)	3585 a (11,42)	6,753 a (8,93)
FC (0,5) + MCC (0,6)	5438 a (45,42)	9,230 b (16,18)

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Os valores médios do módulo de elasticidade (MOE) das placas cimentícias com e sem adição combinada de celuloses MFC-MCC, demonstram que não houve diferença significativa entre as formulações estudadas. Os módulos de elasticidade variaram na faixa de 2313 a 5428 MPa. Os valores apresentados nessa pesquisa foram similares aos resultados encontrados por Çavdar *et al*. (2022) para placas cimentícias reforçadas com microceluloses cristalinas, cujos os valores foram de 2294 a 6106 MPa. Por outro lado, quando comparado com painéis de cimento reforçados com partículas de madeira os valores máximos de MOE obtidos por Iwakiri *et al*. (2012) foram 3586 MPa para partículas de paricá e 3539 MPa para partículas de embaúba, e Mendes *et al*. (2011) encontraram valor máximo de 1665,73 MPa de clones de eucalipto, sendo inferior ao valor máximo encontrado nessa pesquisa.

De acordo com a ISO 8335 as placas de cimento-madeira comerciais devem apresentar valores padronizados de 3000 MPa. Todas as adições de celuloses MFC-MCC combinadas nas placas cimentícias atingiram os requisitos mínimos da ISO 8335.

Tendo em vista os resultados apresentados no Quadro 3, nota-se que as todas as adições combinadas apresentaram um incremento no MOR, porém não foram diferentes estatisticamente, com exceção da formulação MFC 0,5-MCC 0,6 que apresentou um aumento que foi significativo estatisticamente.

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) obtidos neste estudo, variaram na faixa de 4,90 a 9,32 MPa. Na comparação com os dados apresentados na literatura, os valores de MOR dessa pesquisa foram similares aos encontrados por Çavdar *et al*. (2022) onde os valores médios das placas cimentícias com adição de microcelulose cristalina variaram na faixa de 3,40 a 10,55 MPa. Tonoli *et al*. (2010) obtiveram um módulo de ruptura aos 28 dias da polpa de celulose de 9,9 MPa, valor semelhante ao máximo módulo de ruptura obtido nesse trabalho. Já Iwakiri *et al*. (2012) e Castro *et al*. (2014) obtiveram valores médios máximos de 8,32 e 4,02 MPa, respectivamente, com partículas de madeira nos painéis cimento-madeira, sendo inferiores aos encontrados nessa pesquisa.

Foi possível observar que a adição combinada MFC 0,5-MCC 0,6 atende o requisito mínimo exigida pelo ISO 8335 para placas de cimento-madeira comerciais, que estabelecem valores superiores à 9,0 MPa para o módulo de ruptura (MOR). Já as demais adições de celuloses MFC-MCC combinadas testadas, não atingiram o requisito mínimo padronizado pela ISO 8335.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados dessa pesquisa, foi possível obter as seguintes conclusões:

- Quanto as propriedades físicas das placas cimentícias, o inchamento em espessura, não foi afetado pela adição combinada de microfibra de celulose e microcelulose cristalina, promovendo estabilidade dimensional.
- Quanto as propriedades mecânicas dos painéis, a formulação combinada com maior teor de microcelulose cristalina MFC 0,5-MCC 0,6, apresentou um aumento dos valores médios do módulo de ruptura, que foi significativo estatisticamente, diferente das demais formulações.
- Todos resultados de inchamento em espessura e módulo de elasticidade na flexão obtidos para placas cimentícias com adição combinada de MFC-MCC, atendem aos requisitos mínimos estabelecidos pela ISO 8335 para placas cimentícias comerciais.

REFERÊNCIAS

ALSHAGEL, A.; PARVEEN, S.; RANA, S.; FANGEIRO, R. Effect of multiscale reinforcement on the mechanical properties and microstruture of microcrystalline cellulose-carbon nanotube reinforced cementitious composites. **Composites Part B Engineering**, 2018, v. 149, p. 122-134.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J. TOLEDO FILHO, R.D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composite: A review of recent research. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 115-128, 2015.

BALEA, A.; FUENTE, E; BLANCO, A.; NEGRO, C. Nanocelluloses: Natural-Based Materials for Fiber-Reinforced Cement Composites. A critical Review. **Polymers**, 2019, v. 11.

BEZERRA, E. M.; JOAQUIM, A. P.; SAVASTANO Jr., H.; JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. The effect of diferente mineral additions and synthetic fiber contentes on properties of cement based composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 28, p. 555-563, 2006.

CAO Y.; ZAVATERRI, P.; YOUNGBLOOD, J.; MOON, R.; WEISS, J. The influence of cellulose nancrystal additions on the performance od cement paste. **Cement and Concrete Composites**, 2015, v. 56, p. 73-83.

ÇAVDAR A. D.; YEL, H.; TORUN, S. B.; Microcrystalline cellulose addition effects on the properties of wood cement boards. **Journal of Building Engineering**, 2022, v. 48.

CORREIA, V.C.; SANTOS, S.F.; TEIXEIRA, R.S.; SAVASTANO, H. Nanofibrillated cellulose and cellulosic pulp for reinforcement of the extruded cement based materials. **Construction and Building Materials**, 2018, v. 160, p. 376-384**.**

EUROPEAN STANDARD. **EN 494**: Fibre-cement profiled sheets and fittings – Product specification and test methods, 1998.

FAN, M. Sustainable fibre-reinforced Polymer composites in construction. **In: Management, recycling and reuse of waste composites**, 2010.

FU, T.; MOON, R.J.; ZAVATTIERI, P.; YOUNGBLOOD, J. WEISS, W. J. Cellulose nanomaterials as additives for cementitious materials. **Cellulose-Reinforced Nanofibre Composites**, 2017, v. 20, p. 455-482.

IWAKIRI, S. SILVA, L. S. TRIANOSKI, R. BONDUELLE, G. M. ROCHA, V. Y. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, 2012, v. 18, p. 303-308.

ISO 8335:1987 – **Cement-bonded particleboards** – Boards of Portland or equivalent cement reinforced with fibrous wood particles.

LILGE, D. S.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Avaliação do desempenho de painéis cimento-madeira fabricados com duas espécies florestais em combinação com casca de arroz. **Ciência Florestal**, 2021, v. 31, n. 1.

LIU, K.; CHENG, X.; MA, Y.; GAO, X.; ZHANG, C.; LI, Z.; ZHUANG, J. Analysis of interfacial nanostruture and interction mechanisms between cellulose fibres and calcium silicate hydrates using experimental and mocelular dynamics simulation data. **Applied Surface Science,** 2020, v. 506.

MENDES, L. M.; LOSCI, F. A. P.; PAULA, L. E. R.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES, J. B. MORI, F. A. Potencial de utilização da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* na produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, 2011, v. 17, p. 69-75.

MORAES, K. K.; VANDERELEI, R. D.; SANTOS, V. C.; ZAMPIERI, J. P.; CAPELIN, L. Avaliação das propriedades mecâncias de compósitos de matriz cimentícia com microcelulose cristalina. **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, 2018.

SANTOS R. C.; MENDES L. M.; MORI F. A.; MENDES, R. F. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, 2008, v. 14, p. 241-250.

SUNOL, J. J.; MIRALPEIX, D.; SAURINA, J.; CARRILLO, F.; COLOM, X. Thermal behavior of cellulose fibers with enzymatic or Na_2CO_3 treatment. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 80, p. 117-121, 2005.

TONOLI G. H. D.; SANTOS S. F.; JOAQUIM A. P. SAVASTANO, H. Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre. **Construction and Bulding Materials**, 2010, v. 24, p. 193-201.

ZOHURIAAN, M. J.; SHOKROLAHI, F. Thermal studies on natural and modified gums. **Polymer Testing**, v. 23, p. 575-579, 2004.