

CARACTERIZAÇÃO DE FIBROCIMENTOS COM FIBRA DE BAMBU OBTIDA POR DIFERENTES MÉTODOS DE POLPAÇÃO

CHARACTERIZATION OF FIBERCEMENT REINFORCED WITH BAMBOO FIBERS OBTAINED BY DIFFERENT METHODS

R.B. JACÓE¹, S.P. PEDERSOLI¹ e C.S. RODRIGUES¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Brasil

E-mail: renata.materiais@gmail.com

article info

Article history:

Received 2017-09-04

Accepted 2017-11-20

Available online 2017-12-20

PALAVRAS-CHAVE: Fibrocimentos; Polpa celulósica; Pozolana.

KEYWORDS: Fiber-cement; Cellulose pulp; Pozzolan.

RESUMO: A substituição do amianto por fibras celulósicas é uma alternativa viável na produção de fibrocimentos. O processo de obtenção das fibras celulósicas mais comum é o Kraft, onde as fibras são preservadas e a lignina é eliminada utilizando solventes como Na(OH) e Na₂S. Um método alternativo é o Organossolve, onde são utilizados reagentes orgânicos, como etanol, cujos impactos ambientais são menores que o do Kraft. A durabilidade do fibrocimento esta relacionada a fibra empregada, uma vez que o processo de degradação se dá devido ao ambiente alcalino da matriz, proporcionado pelas quantidades elevadas de Ca(OH)₂. Para mitigação da degradação alguns métodos são propostos, como a modificação da matriz com adições pozolanicas. A avaliação do material se dá pelas alterações estruturais (DRX e termogravimetria) e propriedades mecânicas (ensaios de flexão). Os resultados indicam que há variação das características do fibrocimento de acordo com o tipo de fibra celulósica utilizada.

ABSTRACT: The substitution of asbestos by cellulosic fibers is a viable alternative in the production of fiber cement. The most common cellulosic fiber production process is Kraft, where the fibers are preserved and the lignin is eliminated using solvents such as Na(OH) and Na₂S. An alternative method is Organossolve, where organic reagents such as ethanol are used, whose environmental impacts are smaller than Kraft's. The durability of the fiber cement is related to the fiber used, since the degradation process is due to the alkaline environment of the matrix, provided by the high amounts of Ca(OH)₂. To mitigate degradation some methods are proposed, such as modifying the matrix with pozzolanic additions. The evaluation of the material is due to structural changes (XRD and thermogravimetry) and mechanical properties (flexural tests). The results indicate that there is variation of the characteristics of the fiber cement according to the type of cellulosic fiber used.

1. INTRODUÇÃO

Compósitos à base de cimento reforçados com fibras são amplamente utilizados na construção civil por permitirem a produção de componentes leves, com bom desempenho mecânico, bom isolamento termoacústico, versáteis e viáveis economicamente. O emprego de fibras naturais em materiais à base de cimento é visto como um substituto potencial as fibras de amianto, que desde os anos 70 é conhecido como um material prejudicial a saúde

(PIZZOL, 2014; RHEIN-MAIN-NECKAR, 1996).

A polpa celulósica é uma das alternativas utilizadas como reforço em fibrocimentos dentre as fibras naturais disponíveis. Para obtenção da polpa celulósica é utilizado o processo de polpação, que consiste em eliminar a lignina e demais componentes da fibra vegetal, e pode ser classificada de diferentes maneiras (CORREIA, 2011; GHAREHKHANI, 2015).

O processo de polpação mais comumente utilizado é o químico, sendo o método mais conhecido o Kraft, onde a matéria prima é tratada com hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), sob pressão e temperaturas acima de 150°C (SRIDACH, 2010). Um método alternativo ao Kraft é o organossolve, que consiste em cozinhar a matéria prima em solventes orgânicos, como etanol, com intuito de reduzir ou até eliminar as águas residuais altamente poluente resultante dos outros processos usuais (MUTJÉ, 2005; JOAQUIM, 2009).

Apesar das vantagens a fibra natural tem como inconveniente os problemas causados devido a alcalinidade da matriz cimentícia, diminuindo assim a durabilidade e o desempenho do compósito em longo prazo (PIZZOL, 2014). Para contornar esse problema alguns métodos são propostos, baseados na modificação da matriz para reduzir os compostos alcalinos ou em alterações nas fibras a fim de aumentar sua estabilidade, porém algumas dessas soluções apresentam custos elevados, sendo desvantajosas suas aplicações (MOHR, 2007; ARDANUY, 2015). A modificação da matriz introduzindo adições minerais pozolânicas tem como principal ação a reação com os produtos de hidratação do cimento, principalmente o hidróxido de cálcio, levando a redução da alcalinidade da matriz (AGOPYAN, 2005; CAMARINI, 2014).

As adições minerais pozolânicas são definidas segundo a ASTM C125 – 15 como sendo um material silicoso ou sílico-aluminoso que em si mesmo possui pouco ou nenhum valor cimentício, mas numa forma finamente dividida e na presença de água, irá reagir com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades de cimento. Ou seja, são materiais que possuem um potencial reativo e, em meio alcalino, reagem com o hidróxido de cálcio produzindo novos produtos de hidratação do cimento (silicato de cálcio hidratado), responsável pela resistência. Como consequência, as pozolanas diminuem a alcalinidade da matriz, embora isoladamente não possuam capacidade aglomerante (FREIRE, 2003).

A reação pozolânica entre a sílica e o hidróxido de cálcio pode ser descrita como mostra a equação 1:



A cinza de casca de arroz (CCA), resíduo proveniente de termoelétricas, tem alto potencial pozolânico e concentra a maior parte das pesquisas. Utilizada como substituição parcial do cimento, refina a estrutura dos poros, diminui a porosidade e a permeabilidade e aumenta a resistência mecânica e a durabilidade dos materiais compósitos que utilizam essa cinza, além de diminuir a alcalinidade da matriz (BEZERRA, 2006; RODRIGUES, 2010).

O foco desse estudo é a avaliação da influência do método de obtenção da polpa

celulósica nas propriedades dos fibrocimentos, assim como a influencia da incorporação de adição pozolanica na matriz cimenticia.

2. MATERIAIS E METODOS

A formulação dos compósitos produzidos em laboratório possuem 8% de polpa celulósica de bambu como reforço incorporado em matrizes com a seguinte formulação:

Tabela 1 – Formulação dos compósitos.

Tipo matriz	Cimento (% peso)	Filler (% peso)	CCA (% peso)
Referência	50	50	-
CCA	35	35	30

As polpas de bambu utilizadas foram obtidas através de dois diferentes métodos de polpação, Kraft e Organossolve.

As principais características das matérias primas estão dispostas na Tabela 2 e Figura 1.

Tabela 2 – Propriedades químicas e físicas dos componentes da matriz.

Composição química	Cimento	Filler	CCA
CaCO₃	-----	92,82	-----
SiO₂	18,73	3,67	95,90
Al₂O₃	4,94	2,48	0,26
Fe₂O₃	2,93	0,36	0,03
CaO	62,38	-----	0,43
MgO	0,51	-----	0,36
K₂O	0,82	0,29	1,43
P₂O₅	0,16	-----	0,27
Parâmetros físicos	Cimento	Filler	CCA
S_{BET} (m²/g)	-----	0,743	10,786
Dimensão média (µm)	10,00	-----	11,00
Densidade (g/cm³)	3,10	2,752	2,44

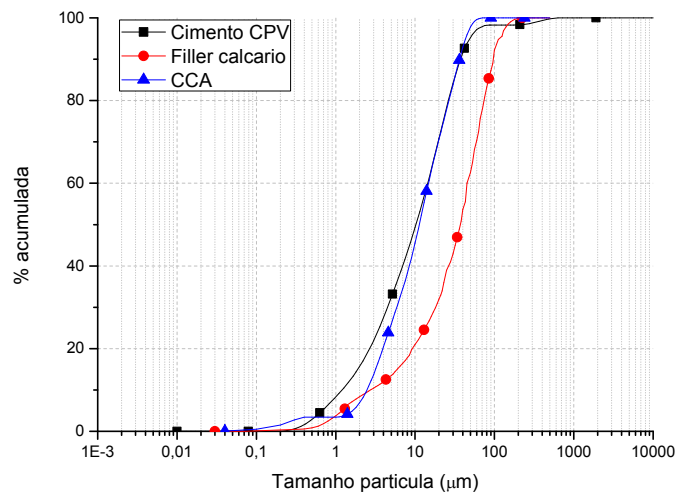


Figura 1 – Distribuição granulométrica dos componentes da matriz.

Os compósitos foram produzidos pelo método de sucção e prensagem, uma variação do método Hatschek para escala laboratorial (PEREIRA, 2011; FIGUEIREDO, 2014). As amostras produzidas possuem 160x160mm², com espessura de cerca de 7mm. Para os ensaios mecânicos, as placas quadradas são cortadas em três amostras de 40x160mm². Após moldados, os compósitos são deixados embalados para cura, até completar o período total de 28 dias para realização dos ensaios mecânicos e análises microestruturais.

Foram moldadas quatro diferentes de amostras, variando entre polpa Kraft e Organossolve e matriz de referência ou com adição pozolânica.

Para caracterização dos compósitos foram realizados ensaios de termogravimetria (TGA), difração de raios-x (DRX) e flexão de três pontos.

A análise térmica, TGA, foi realizada no equipamento DTG-60H (Shimadzu), com uma taxa de aquecimento de 20°C/min, na faixa de temperatura de 25°C a 1000°C, utilizando uma atmosfera de Nitrogênio com fluxo de 50ml/min.

O difratômetro de raios-X utilizado foi o MAXima XRD-7000 (Shimadzu), utilizando-se radiação Cu-K α com voltagem de 40kv e corrente de 30mA. O ângulo de varredura variou entre 15 e 50° 2 θ , com passo de 0,02° 2 θ e uma taxa de 1°/min.

Para os parâmetros mecânicos, foi realizado o ensaio de flexão em 3 pontos, utilizando uma máquina de ensaios mecânicos modelo DL30000 (EMIC), com uma taxa de carregamento de 0,5 mm/min e um defletômetro para medição da flexa durante o ensaio. Foram calculados o módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e energia específica até 40% do MOR. Os ensaios foram realizados sob condição equilibrada, 50% de umidade, com idade de 28 dias.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Com a incorporação de pozolana espera-se que haja uma diminuição da alcalinidade da matriz, uma vez que o hidróxido de cálcio é consumido, como mostrado na equação 1.

A análise termogravimétrica foi utilizada para determinar a quantidade de hidróxido presente nas amostras, aos 28 dias, período em que foi realizado o ensaio. A reação química que ocorre durante a desidratação do hidróxido de cálcio, entre as temperaturas de 400 e 500°C [18, 19], esta representada abaixo.



Na Tabela 3 observamos a quantidade de hidróxido de cálcio presente nas amostras. O cálculo da quantidade foi realizado levando em consideração o balanço molar da equação 2, onde 1 mol de Ca(OH)_2 equivale a 74,09g e leva a desidratação de 1 mol de H_2O equivalente a 18,01g, obtemos assim a equação 3 (CHANG, 2006).

$$\% \text{Ca(OH)}_2 = \frac{74,09}{18,01} \times \left(\frac{P_{ti} - P_{tf}}{P} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde P_{ti} e P_{tf} são os valores do peso referentes a temperatura inicial e final da desidratação do Ca(OH)_2 respectivamente e P é o peso inicial da amostra.

Tabela 3 – Quantidade de hidróxido de cálcio nas amostras com e sem incorporação de pozolana.

Amostra	Ca(OH) ₂ (%)
KRAFT	8,93
KRAFT CCA	11,19
ORG	9,50
ORG CCA	9,54

A quantidade de hidróxido de cálcio é variável dependendo da idade do material, por ser um produto da hidratação do cimento. Como a reação pozolanica ocorre após a hidratação do cimento é esperado que a quantidade de hidróxido de cálcio reduza após um período maior de tempo, o que justifica o valor elevado presente nas amostras CCA na Tabela 3.

De forma semelhante no ensaio de DRX obtemos os principais picos referentes a portlandita, forma mineral do hidróxido de cálcio, que se encontram nos ângulos de 34.09° e 18.09° 2θ (HIME, 2001).

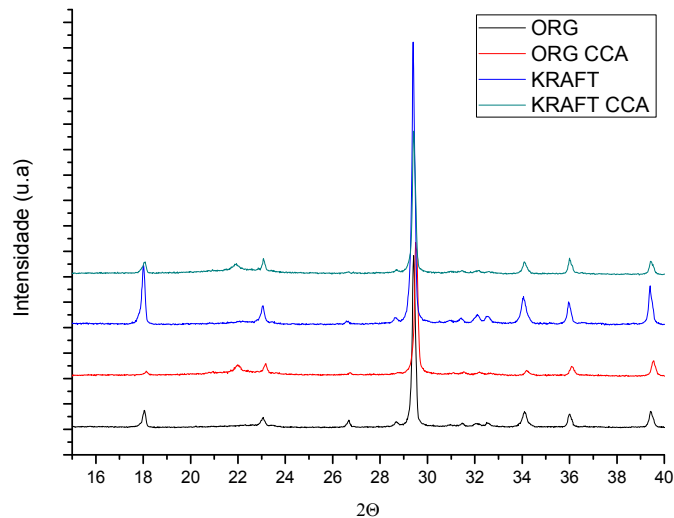


Figura 2 – Difratograma das amostras com e sem incorporação de pozolana.

Na Figura 2 observamos que para as amostras que possuem adição pozolânica em sua composição (ORG CCA e REF CCA) os picos da portlandita são menos pronunciados, porém ainda presentes, corroborando com os resultados do TGA.

Os resultados do ensaio mecânico de flexão são representados na Figura 3 e Figura 4. É possível verificar a influência do método de polpação nos resultados, onde amostras com polpa celulósica Organossolve em sua formulação possui uma resistência maior assim como uma maior tenacidade em relação às amostras com polpa Kraft, alcançando o valor médio de 10,5 MPa para amostra ORG.

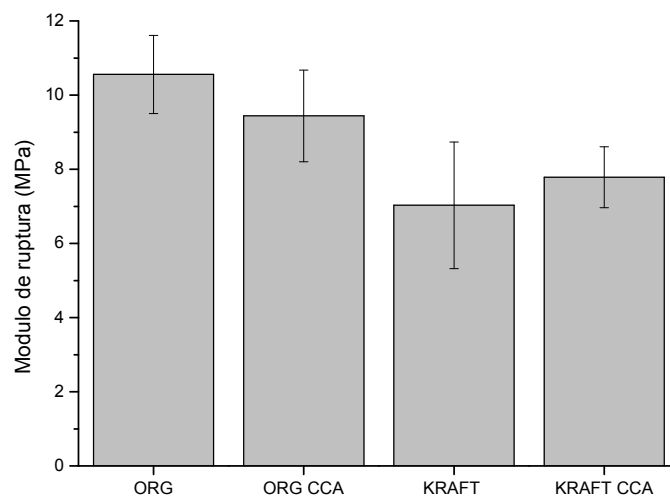


Figura 3 - Módulo de ruptura das amostras.

A incorporação de pozolana não levou a uma melhora significativa da resistência como

era o esperado. Porém deve se investigar a resistência do material com idades superiores há 28 dias, idade a qual as reações pozolanicas já estão em estagio mais avançado.

A resistência a flexão das amostras esta diretamente relacionada com o módulo de elasticidade, amostras com matrizes mais rígidas proporcionaram uma tensão de ruptura maior.

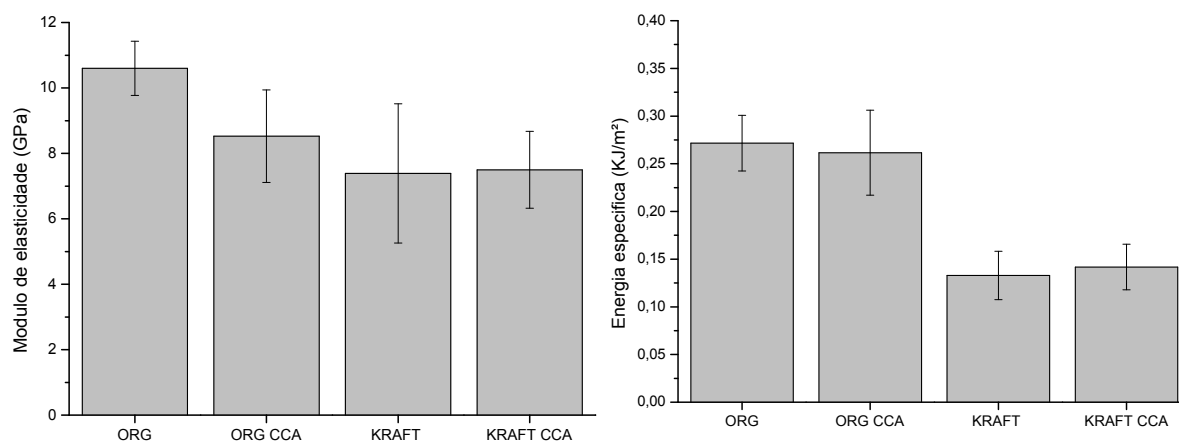


Figura 4 - Módulo de elasticidade e energia absorvida das amostras.

A capacidade de absorção de energia dos compostos (na sua maior parte referente a fase pós fissuração na curva de carregamento) é influenciada pela interação das fibras com a matriz. Na Figura 5 observamos uma comparação das curvas de carregamento das amostras, onde a interação da fibra- matriz é mais eficiente para a polpa obtida pelo método Organossolve.

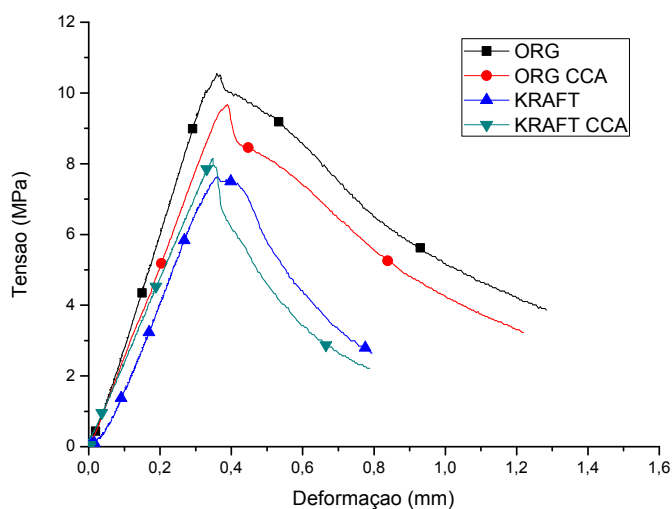


Figura 5 – Curvas de carregamento.

4. CONCLUSÃO

Os ensaios realizados aos 28 dias não nos permite concluir a eficiência da incorporação da adição mineral pozolânica nas amostras, para tanto o ideal é a realização dos ensaios com fibrocimentos em idade mais avançada. A utilização de polpas celulósicas obtidas de métodos diferentes de polpação teve grande influência nos resultados obtidos, principalmente nos ensaios mecânicos. A polpa obtida pelo método Organossolve se mostrou mais eficiente em relação a resistência a flexão e tenacidade em relação a Kraft.

REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V., et al., Developments on vegetable fibre–cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. **Cement and Concrete Composites**, 2005. 27(5): p. 527-536.
- ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R.D.. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and Building Materials**, 2015. 79(0): p. 115-128.
- BEZERRA, E.M., et al., The effect of different mineral additions and synthetic fiber contents on properties of cement based composites. **Cement and Concrete Composites**, 2006. 28(6): p. 555-563.
- CAMARINI, A.L.B.R.H.G.G., Accelerated carbonation in natural fibers reinforced composites, in FIFTH AMAZON GREEN MATERIALS, 2014, Manaus. **Anais...** Manaus, 2014.
- CHANG, C.-F.; CHEN, J.-W.; The experimental investigation of concrete carbonation depth. **Cement and Concrete Research**, 2006. 36(9): p. 1760-1767.
- CORREIA, V.d.C., **Produção e caracterização de polpa organossolve de bambu para reforço de matrizes cimentícias**, 2011. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos) - Universidade de São Paulo: Pirassununga, SP, 2011.
- FIGUEIREDO, S.C., **Efeito da cura em autoclave no desempenho dos fibrocimentos reforçados com polpas celulósicas submetidos à degradação acelerada**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, MG, 2014.
- FREIRE, W.J.; BERALDO, A.L.; **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. 2003: Editora UNICAMP.
- GHAREHKHANI, S., et al., Basic effects of pulp refining on fiber properties—A review. **Carbohydrate Polymers**, 2015. 115: p. 785-803.
- HIME, W.G., 3 - Chemical Methods of Analysis of Concrete, in **Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology**, V.S. Ramachandran and J.J. Beaudoin, Editors. 2001, William Andrew Publishing: Norwich, NY. p. 105-126.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM C125-15**: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. West Conshohocken, PA, 2015.
- JOAQUIM, A.P., et al., Sisal organosolv pulp as reinforcement for cement based composites. **Materials Research**, 2009. 12: p. 305-314.

- MOHR, B.J.; BIERNACKI, J.J.; KURTIS, K.E. Supplementary cementitious materials for mitigating degradation of kraft pulp fiber-cement composites. **Cement and Concrete Research**, 2007. 37(11): p. 1531-1543.
- MUTJÉ, P., et al., A comparative study of the effect of refining on organosolv pulp from olive trimmings and kraft pulp from eucalyptus wood. **Bioresource Technology**, 2005. 96(10): p. 1125-1129.
- PEREIRA, M.A., **Influencia da temperatura e umidade nos ciclos de degradação acelerada de fibrocimentos com cinza de casca de arroz como adição mineral**, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais: Belo Horizonte, MG, 2011.
- PIZZOL, V.D., et al., Effect of accelerated carbonation on the microstructure and physical properties of hybrid fiber-cement composites. **Minerals Engineering**, 2014. 59(0): p. 101-106.
- RAMACHANDRAN, V.S., 4 - Thermal Analysis, in Handbook of Analytical Techniques in **Concrete Science and Technology**, V.S. Ramachandran and J.J. Beaudoin, Editors. 2001, William Andrew Publishing: Norwich, NY. p. 127-173.
- RHEIN-MAIN-NECKAR, E.U.C., et al., **Asbestos: Overview and Handling Recommendations**. 1996: Vieweg.
- RODRIGUES, C.d.S.; GHAVAMI, K.; STROEVEN, P.; Rice Husk Ash as a Supplementary Raw Material for the Production of Cellulose–Cement Composites with Improved Performance. **Waste and Biomass Valorization**, 2010. 1(2): p. 241-249.
- ROSTAMI, V., et al., Microstructure of cement paste subject to early carbonation curing. **Cement and Concrete Research**, 2012. 42(1): p. 186-193.
- SRIDACH, W., The environmentally benign pulping process of non-wood fibers. **Suranaree J. Sci. Technol**, 2010. 17(2): p. 105-123.