

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CELULOSE NANOFIBRILADA NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

ARTHUR BEHENCK ARAMBURU¹; GUILHERME HÖEHR TRINDADE²; RAFAEL
DE AVILA DELUCIS³

¹Universidade Federal de Pelotas – arthuraramburu@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – guihoehr@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – r.delucis@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Devido à necessidade da redução da geração de CO₂ e exploração de matérias-primas não renováveis, nas últimas décadas houve um aumento de interesse em materiais energeticamente eficientes e sustentáveis (SAVASTANO et al., 2016). A sustentabilidade de um material é medida pela sua taxa de regeneração, assimilação com o meio ambiente e os impactos de seu processo de extração (SAVASTANO; WARDEN; COUTTS, 2000).

Dentro do âmbito da construção civil, a introdução de fibras vegetais em materiais compósitos cimentícios teve grande desenvolvimento na década de 1940, quando houve a necessidade de substitutos para a fibra de amianto em decorrência da Segunda Guerra Mundial, que demandou que a indústria de guerra absorvesse essa fibra mineral (RUERS; SCHOUTEN, 2005). Já nas últimas décadas do século XX, diversos países proibiram o uso de amianto devido às suas propriedades cancerígenas, aumentando novamente o interesse em fibras vegetais em artigos cimentícios (ARDANUY et al., 2011).

O Brasil possui um grande potencial nesse setor pois, atualmente, é o maior exportador de celulose do mundo, possuindo grande variedade e abundância de fontes de produtos celulósicos, incluindo fibras vegetais, madeiras, resíduos florestais, resíduos agrícolas, entre outras biomassas. Assim, fibras celulósicas produzidas no Brasil têm um baixo custo de produção e uma grande atratividade, especialmente se comparadas às fibras sintéticas disponíveis no mercado (carbono e aramida) que não são produzidas em território nacional e, devido a isto, possuem alto valor agregado (MACHADO, 2019).

Essas matérias-primas vegetais são basicamente compostas por celulose, hemicelulose e lignina, e podem ser desconstruídas até a escala nanométrica para a obtenção de materiais nanocelulósicos, uma das mais visadas bases de inovação dos últimos anos. Esses produtos celulósicos possuem empregabilidade em diversas áreas, como na engenharia, indústria alimentícia e farmacêutica (KHALIL et al., 2014; NASIR et al., 2017). O processo de desconstrução das matérias-primas vegetais pode ocorrer por meio de métodos mecânicos, enzimáticos e químicos, ou uma combinação de métodos. Em termos gerais, são chamados de nanoceluloses os produtos celulósicos que possuem uma de suas dimensões entre 1-100 nm, um desses é a celulose nanofibrilada (CNF).

Dentro desse contexto, a empregabilidade de CNF em compósitos cimentícios possui um grande atrativo, visto que já existem trabalhos que relatam a melhora de propriedades mecânicas devido à sua adição (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016; MOHR; NANKO; KURTIS, 2005). Atualmente a mais promissora empregabilidade para compósitos cimentícios reforçados com nanoceluloses são materiais não estruturais, como painéis de vedação, revestimentos, telhas de fibrocimento e elementos pré-fabricados (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015).

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão de literatura sobre materiais compósitos reforçados com celulose nanofibrilada, com o objetivo de identificar os efeitos desta adição na microestrutura, reologia, propriedades mecânicas e durabilidade do material.

As bases de dados usadas na busca das produções científicas foram o ScienceDirect, Springer Link, Taylor & Francis Online e SAGE Journals. Foram buscadas palavras-chave relacionadas com o tema do trabalho, sendo o critério de seleção a leitura dos títulos, dos resumos e do texto integral. Foram incluídos artigos originais que tratassem de compósitos reforçados com celulose nanofibrilada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A CNF vêm sendo utilizada na produção de compósitos cimentícios em concentrações que variam 0,1 wt% a 4 wt%, o que parece estar relacionado à elevada área superficial desse material celulósico, a qual dificulta sua homogeneização e pode causar prejuízos importantes relacionados à necessidade de modificação na relação água/cimento (MALLADI et al., 2018). Um grande empecilho na fabricação desses compósitos é garantir a distribuição uniforme das fibras na pasta. As estratégias mais utilizadas são os usos de misturadores mecânicos e aditivos plastificantes (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015).

O teor de dosagem da CNF mostrou-se um fator muito relevante nas propriedades finais do compósito, em pequenas dosagens (< 0,2 wt%), a CNF se adsorve à superfície do cimento, melhorando a dispersão uniforme das fibras na matriz cimentícia, o que beneficia a microestrutura do compósito, levando a um aumento tanto nos módulos de elasticidade quanto em sua resistência mecânica em geral (MONTES et al., 2020; TONOLI et al., 2007; HOYOS et al., 2019; ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016).

Em dosagens superiores a 0,5%, os produtos nanocelulósicos se comportam como modificadores de viscosidade, deixando o compósito cimentício no estado fresco mais viscoso e dificultando a trabalhabilidade do material (FILIPAK VANIN et al., 2020; CLARAMUNT et al., 2011). Dentro desta faixa de dosagem, os produtos nanocelulósicos ainda melhoram a hidratação, a resistência à flexão e o módulo de elasticidade do compósito. Essa melhora se dá principalmente nas primeiras idades, entretanto, Filipak Vanin et al. (2020) afirmaram que essa melhora não é significativa aos 28 dias de hidratação, mostrando que o CNF aumenta a velocidade de hidratação do cimento nas idades iniciais, porém não altera significativamente a taxa de hidratação em idades avançadas.

Em concentrações maiores, a adição de nanocelulose aumenta a formação de produtos de hidratação do cimento, porém, possivelmente devido ao fenômeno de aglomeração das nanofibras e a criação de regiões acumuladoras de tensões, ocorre a redução do módulo de elasticidade e da rigidez (ARDANUY et al., 2012; FILIPAK VANIN et al., 2020; TONOLI et al., 2007).

A literatura afirma que o elevado grau de refinamento da CNF aumenta significativamente o limite elástico e o módulo de ruptura da matriz cimentícia,

porém reduz sua tenacidade, isto é, a ruptura ocorre de maneira mais frágil, com menor deformação (ARDANUY et al., 2012; CLARAMUNT et al., 2019; FILIPAK VANIN et al., 2020).

Hoyos et al. (2019) produziram compósitos cimentícios com a incorporação de CNF e reportaram resultados que indicaram um grande aumento na tensão de escoamento, módulo de elasticidade e taxa de hidratação nas primeiras idades, quando ela é mais intensa. Também foi reportado um decréscimo na taxa de formação de microfissuras em altas temperaturas.

Quanto a microestrutura do material, a grande área específica dos produtos nanocelulósicos permite um melhor empacotamento das partículas da matriz do compósito, entretanto Correia et al. (2018), que confeccionaram fibrocimentos híbridos com 1%wt de celulose nanofibrilada e 8%wt de polpa de bambo, afirmam que o volume de vazios e a absorção de água do material não mudam significativamente aos 28 dias de hidratação quando comparados aos compósitos convencionais.

A maior empregabilidade de nanoceluloses em compósitos cimentícios é atualmente limitada pela degradação hidrolítica ocorrente durante a hidratação do cimento, que forma uma matriz altamente alcalina devido à presença do hidróxido de cálcio em diferentes configurações (portlandita, etringita e etc.) (WEI; MEYER, 2015; NASIR et al., 2017). Devido a isso, há a necessidade do desenvolvimento de métodos para a proteção da celulose, além do estudo de seus possíveis benefícios para as propriedades dos compósitos cimentícios (CLARAMUNT et al., 2011).

Para mitigar esses efeitos, Claramunt et al., (2011) argumentam que há duas possibilidades para melhorar a durabilidade de compósitos cimentícios reforçados com fibra vegetal. A primeira estratégia é mitigar os efeitos de degradação das fibras por tratamentos físicos e/ou químicos das mesmas, com o intuito de melhorar sua adesão à matriz (para prevenir o desprendimento das fibras) e torná-las menos sensíveis à composição da matriz cimentícia e à umidade ambiente dos poros. (ARDANUY et al., 2012).

A segunda maneira de mitigação do efeito de degradação da celulose é a modificação da matriz do compósito com o intuito de remover ou diminuir a presença dos compostos alcalinos por meio de uma adição pozolânica. A adição pozolânica reage com o hidróxido de cálcio originado nas reações de hidratações do cimento, formando silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Com isso, o pH mais neutro da pasta poupa a integridade da fibra vegetal e ainda confere resistência ao compósito (WEI; MEYER, 2015). Desta forma, o hidróxido de cálcio (especialmente a portlandita), não é mais precipitado na superfície do lúmen da fibra (WEI; MA; THOMAS, 2016).

4. CONCLUSÕES

Nos últimos anos vários estudos tem obtido com sucesso compósitos cimentícios reforçados com celulose nanofibrilada de boas propriedades mecânicas. Os métodos mitigadores utilizados para reduzir a degradação celulósica no meio cimentício também têm apresentado bons resultados. Os principais desafios para o futuro próximo são melhorar ainda mais a durabilidade e o desempenho mecânico desses compósitos sem aumentar os custos de produção, ao mesmo tempo em que desenvolve tecnologias ecologicamente corretas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDANUY, M. et al. Fiber-matrix interactions in cement mortar composites reinforced with cellulosic fibers. *Cellulose*, v. 18, n. 2, p. 281–289, 2011.
- ARDANUY, M. et al. Nanofibrillated cellulose (NFC) as a potential reinforcement for high performance cement mortar composites. n. February 2015, 2012.
- ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and Building Materials*, v. 79, p. 115–128, 2015.
- CLARAMUNT, J. et al. Effect of nanocelluloses on the microstructure and mechanical performance of CAC cementitious matrices. *Cement and Concrete Research*, v. 119, n. December 2018, p. 64–76, 2019.
- CORREIA, C. et al. Nanofibrillated cellulose and cellulosic pulp for reinforcement of the extruded cement based materials. *Construction and Building Materials*, v. 160, p. 376–384, 2018.
- FILIPAK VANIN, D. V. et al. Cement pastes modified by cellulose nanocrystals: A dynamic moduli evolution assessment by the Impulse Excitation Technique. *Materials Chemistry and Physics*, v. 239, n. August 2019, p. 122038, 2020.
- HOYOS, C. G. et al. Cellulose nanofibrils extracted from fique fibers as bio-based cement additive. *Journal of Cleaner Production*, v. 235, p. 1540–1548, 2019.
- KHALIL, H. P. S. A. et al. Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: A review. *Carbohydrate Polymers*, v. 99, p. 649–665, 2014.
- MACHADO, P. J. C. Estudo da durabilidade de compósitos cimentícios com polpa de eucalipto modificados com microssílica e látex. 2019.
- MALLADI, R. et al. Importance of agriculture and industrial waste in the field of nano cellulose and its recent industrial developments: a review abstract: 2018.
- MOHR, B. J.; NANKO, H.; KURTIS, K. E. Durability of kraft pulp fiber-cement composites to wet/dry cycling. *Cement and Concrete Composites*, v. 27, n. 4, p. 435–448, 2005.
- MONTES, F. et al. Rheological impact of using cellulose nanocrystals (CNC) in cement pastes. *Construction and Building Materials*, v. 235, p. 117497, 2020.
- NASIR, M. et al. 11. Nanocellulose: preparation methods and applications. [s.l.] Elsevier Ltd, 2017.
- ONUAGULUCHI, O.; PANESAR, D.K; SAIN, M.; Properties of nanofibres reinforced cement composites. *Constr. Build. Mater.* v.63 p. 119–124, 2014.
- RUERS, R.F, SCHOUTEN, N; The tragedy of asbestos: eternit and the consequences of a hundred years of asbestos cement, *Socialistische Partij*, 2005.
- SAVASTANO, H. et al. Sustainable use of vegetable fibres and particles in civil construction. Second Edi ed. [s.l.] Elsevier Ltd., 2016
- SAVASTANO, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, v. 22, n. 5, p. 379–384, 2000.
- TONOLI, G. H. D. et al. Performance and durability of cement based composites reinforced with refined sisal pulp. *Materials and Manufacturing Processes*, v. 22, n. 2, p. 149–156, 2007.
- WEI, J.; MA, S.; THOMAS, D. G. Correlation between hydration of cement and durability of natural fiber-reinforced cement composites. *Corrosion Science*, v. 106, p. 1–15, 2016.
- WEI, J.; MEYER, C. Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. *Cement and Concrete Research*, v. 73, p. 1–16, 2015.