INFLUÊNCIA DA FUNCIONALIZAÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO E DO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND

Influence of carbon nanotube functionalization and superplasticizing additive in portland cement pastes

Francine Padilha
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) | Florianópolis, Santa Catarina | francine.padilha1609@gmail.com

Ana Carolina Lozovey
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) | Florianópolis, Santa Catarina | ana.loz@terra.com.br

Bruno Oliveira Bica
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) | Florianópolis, Santa Catarina | brunobica01@gmail.com

Philippe Jean Paul Gleize
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) | Florianópolis, Santa Catarina | p.gleize@ufsc.br

Resumo

Os nanotubos de carbono (NTC) possuem interessante propriedades e elevada resistência mecânica, assim podendo melhorar a capacidade de carga e de deformação das matrizes em que são utilizados. A incorporação desses nanomateriais em matriz cimentícia tem o desafio de sua interação e a sua adequada dispersão. Uma das maneiras mais utilizadas para favorecer a dispersão dos nanomateriais em pastas de cimento Portland tem sido o uso de aditivo superplastificante. Assim, conferindo maior trabalhabilidade e fluidez às misturas, bem como minimizando a aglomeração dos nanomateriais. No presente trabalho, foram avaliadas pastas com relação a/c de 0,4, teor de adição de nanotubo de carbono de 0,3% e dois teores de aditivo superplastificante (0,01% e 0,02%), em relação da massa de cimento. Os resultados da investigação da influência de nanotubos de carbono, funcionalizados e não funcionalizado, sobre as propriedades de pastas de cimento Portland com aditivo superplastificante mostrou relação direta e significativa na consistência das misturas. As pastas com o uso de aditivo superplastificante apresentaram aumento na resistência à compressão. O aumento pode ser indicativo da formação de um maior volume de produtos de hidratação na pasta que, por sua vez, refletem em maiores valores de resistência mecânica, assim como a utilização de nanotubos de carbono funcionalizados.

Palavras-chave: Nanotubos de Carbono (NTC), Pastas de Cimento Portland; Aditivo superplastificante.

ABSTRACT

Carbon nanotubes (CNT) have interesting properties and high mechanical resistance, thus being able to improve the load and deformation capacity of the matrices in which they are used. The incorporation of these nanomaterials into a cementitious matrix poses the challenge of their interaction and adequate dispersion. One of the most used ways to promote the dispersion of nanomaterials in Portland cement pastes has been the use of a superplasticizer additive. Thus, providing greater workability and fluidity to the mixtures, as well as minimizing the agglomeration of nanomaterials. In the present work, pastes were evaluated with a w/c ratio of 0.4, carbon nanotube addition content of 0.3% and two levels of superplasticizing additive (0.01% and 0.02%), in relation to the cement mass. The results of the investigation of the influence of functionalized and non-functionalized carbon nanotubes on the properties of Portland cement pastes with superplasticizer additives showed a direct and significant relationship in the consistency of the mixtures. The pastes using superplasticizing additives showed an increase in compressive strength. The increase may be indicative of the formation of a greater volume of hydration products in the paste which, in turn, reflects in higher values of mechanical resistance, as well as the use of functionalized carbon nanotubes.

Keywords: Carbon Nanotubes (CNT); Portland Cement Paste; Superplasticizer aditive.

1 INTRODUÇÃO

A fim de buscar melhorias nas propriedades de matrizes cimentícias, juntamente com o avanço em nanotecnologia, tem-se a cooperação da adição de nanomateriais em compósitos a base de cimento para obtenção de um desempenho otimizado. (SHUI, et al., 2011; RAHMAN; RASHED, 2014; BAHARI; BERENJIAN; NIK, 2016; AZEVEDO, 2019). Os nanotubos de carbono possuem elevada resistência e módulo de elasticidade sendo até dez vezes e três vezes superiores, respectivamente, às dos aços de alto desempenho, (GLEIZE, 2011), e, por esse motivo, tendem a melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade das matrizes em que são incorporados como reforço.

A incorporação de nanotubos de carbono em matriz cimentícia tem o desafio de sua interação e a sua adequada dispersão (ISFAHANI; LI; REDAELLI, 2016). A pobre dispersão dos NTC pode levar a formação de muitos defeitos no nanocompósito e limitar a sua eficiência de reforço (KONSTA-GDOUTOS; METAXA; SHAH, 2010). Silvestro (2022) cita a dificuldade de dispersão destes nanomateriais e a baixa interação interfacial entre o nanomaterial e a matriz. A tendência desses materiais é de se aglomerarem, prejudicando a dispersão homogênea dos nanotubos de carbono na matriz de cimento e na melhoria desempenho nas matrizes cimentícias (BATISTON, 2007 e KONG, et al., 2012), sendo necessária a utilização de métodos eficientes para conferir sua melhor dispersão na matriz.

Como método de dispersão química costumam ser empregados aditivos superplastificantes, pois a interação entre a superfície dos nanomateriais modificados pelo surfactante e os produtos de hidratação do cimento produzem uma ligação de alta resistência aumentando assim a eficiência de reforço na matriz cimentícia (LI; WANG; ZHAO, 2005; ISFAHANI; LI; REDAELLI, 2016). A combinação de métodos de dispersão química (uso de dispersantes) em consonância com a utilização de nanotubos de carbono já funcionalizados, inclina-se a uma a dispersão efetiva desses nanomateriais em matrizes de cimento, visto que a funcionalização prévia desse material é realizada para facilitar esse processo.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do teor de adição de 0,3% de NTC sobre as propriedades de pastas de cimento Portland, bem como o efeito do aditivo superplastificante nessa interação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para esse estudo, foi utilizado o cimento Portland CP-V ARI, proveniente da *Votorantim*; aditivo superplastificante de base química de policarboxilato de sódio, nos teores de 0,01% e 0,02%, fornecido pela *Grace*; nanotubos de carbono funcionalizados e não funcionalizados, no teor de 0,3%, em relação a massa de cimento; e água proveniente da rede pública de abastecimento de Florianópolis-SC, sendo esta deionizada para sua utilização.

Os nanotubos de carbono funcionalizados sofreram modificação em sua superfície, com a inserção de grupo carboxila (-COOH). Esse processo altera a natureza hidrofóbica dos NTC, tornando-os hidrofílicos. Logo, os nanotubos não funcionalizados, não foram submetidos a esse processo de funcionalização, mantendo suas características originais.

A Tabela 1 mostra a relação de cada traço que foi estudado.

Tabela 1: Relação das pastas avaliadas.

Código	Mistura	Aditivo Superplastificante (%)		Nanotubo de carbono	
1A	REF	1	-	A	-
1B	REF + NTC	1	-	B	funcionalizado
1C	REF + n_NTC	1	-	C	não funcionalizado
2A	REF + SP	2	0,01	A	-
2B	REF + SP + NTC	2	0,01	B	funcionalizado
2C	REF + SP + n_NTC	2	0,01	C	não funcionalizado
3A	REF + SP	3	0,02	A	-
3B	REF + SP + NTC	3	0,02	B	funcionalizado
3C	REF + SP + n_NTC	3	0,02	C	não funcionalizado

Fonte: Autores (2023).

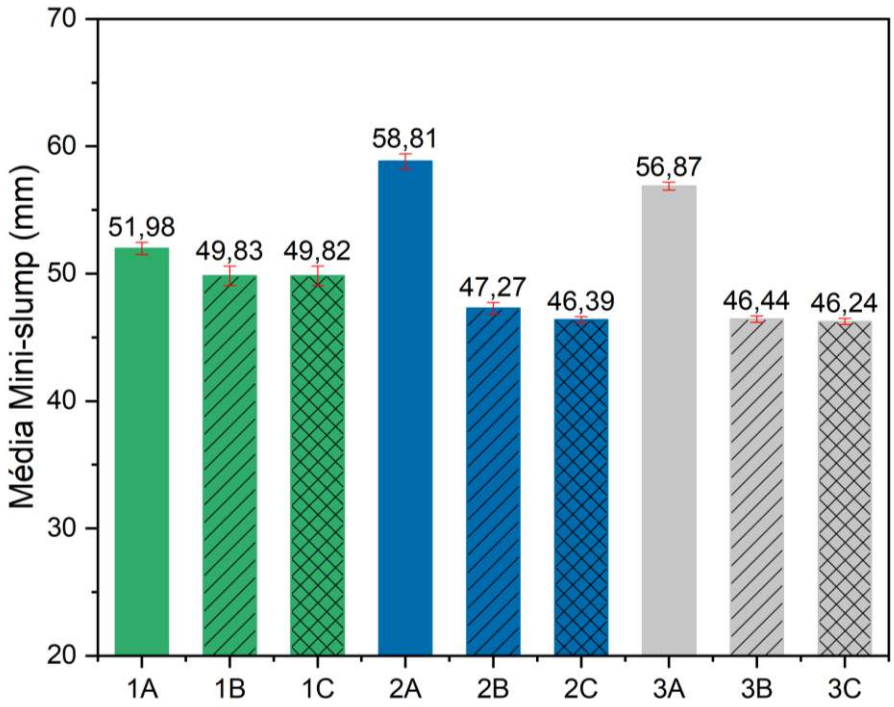
Para a confecção das pastas foi utilizado um misturador mecânico de alta energia (10.000 rpm). O processo de mistura pode ser sucintamente descrito: (i) dissolução do aditivo superplastificante na água da mistura se aplicável); (ii) dispersão manual dos nanotubos de carbono na água com SP (para as misturas com NTC); (iii) incorporação do cimento Portland na água, realizada a mistura manualmente por 1 minuto; (iv) homogeneização da pasta no misturar mecânico por 1 minuto; (v) novamente mistura manual por 1 minuto, para remoção de qualquer conteúdo preso nas laterais e no fundo do copo do misturador; (vi) por fim, retorna a pasta por mais 2 minutos no misturador mecânico.

Com as pastas confeccionados, foram realizados os ensaios de *mini-slump*, no estado fresco, e o ensaio de resistência à compressão, nas idades de 7 dias e 28 dias. Para o ensaio de *mini-slump* foi seguido o método proposto por Kantro (1980), que consiste na determinação da consistência por meio de mini tronco cônico (com diâmetro inferior de 38 mm, diâmetro superior de 19 mm e altura de 57 mm). Para o ensaio de resistência à compressão, baseou-se na NBR 5739 (ABNT, 2018) e foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos (diâmetro de 20 mm e altura de 40 mm) para cada mistura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra a média dos resultados de *mini-slump*. O aumento na consistência das pastas com adição dos nanotubos de carbono, ou seja, menores valores de *mini-slump*, pode ser resultado da elevada área superficial específica que esses materiais possuem, que tende a consumir mais água da mistura da pasta, e consequentemente reduzindo a fluidez. E o inverso acontece com o uso do aditivo superplastificante, que quanto maior a quantidade desse material, mais a plasticidades das pastas.

Figura 1: Média dos resultados de *mini-slump*.

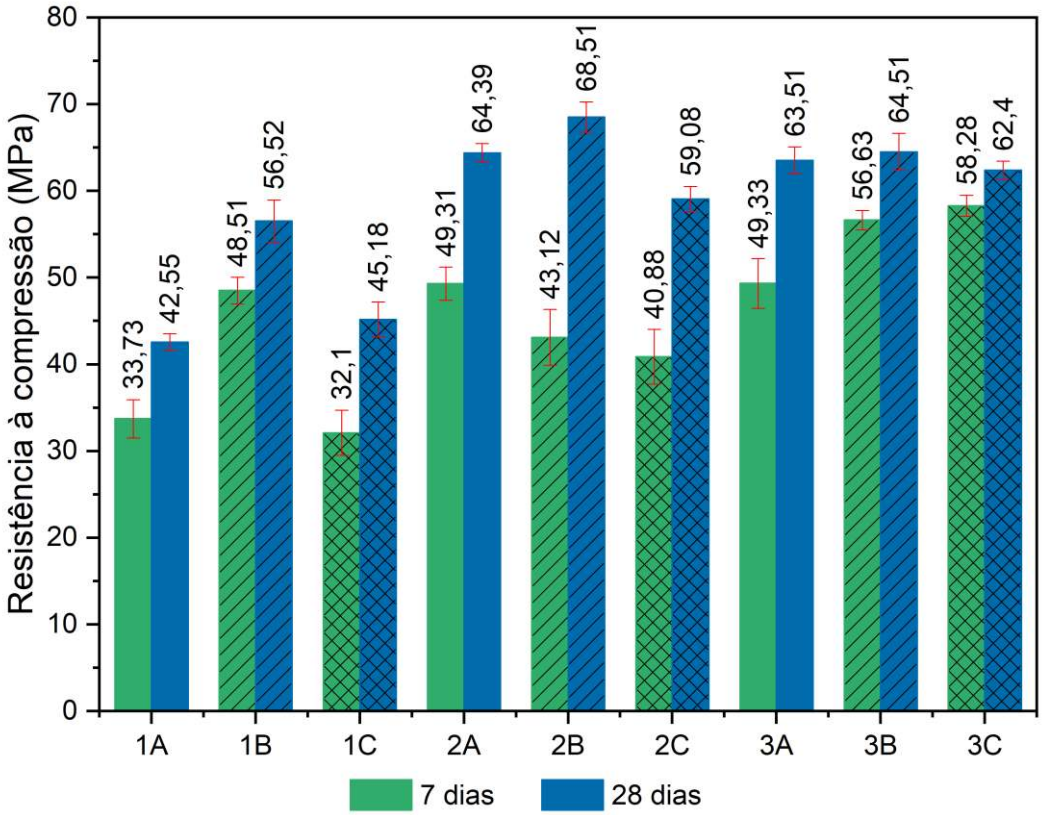


Fonte: Autores (2023).

Segundo Collins, Lambert e Duan (2012), a relação a/c, energia de sonicação, quantidade e fator de forma dos nanotubos de carbono são os principais fatores que influenciam na trabalhabilidade de matrizes cimentícias, assim pode-se justificar essa diminuição no *mini-slump* à quantidade de NTC.

A média dos resultados de resistência à compressão estão apresentados na Figura 2.

Figura 2: Média dos resultados de resistência à compressão.



Fonte: Autores (2023).

Os resultados mostram que a adição dos nanotubos foi benéfica para a resistência das pastas analisadas, principalmente nas que tiveram a adição do aditivo superplastificante e dos nanotubos de carbono funcionalizados. Aos 28 dias, pastas produzidas apenas com os nanotubos funcionalizados e não funcionalizados obtiveram aumento na resistência de 32% e 6%, respectivamente. No mesmo período, pastas com NTC funcionalizados e aditivo superplastificante (ambos os teores) obtiveram aumentos significativos. Por outro lado, as pastas com NTC não funcionalizados, apresentaram pequenos decréscimos na resistência à compressão. O aumento do teor de superplastificante para 0,02% mostrou bons resultados na resistência à compressão das pastas tanto aos 7 dias e aos 28 dias.

As pastas produzidas apenas com a adição dos nanotubos não funcionalizados apresentaram resultados menos expressivos devido à possíveis problemas na sua dispersão na matriz cimentícia. Em virtude disso, destaca-se o efeito positivo da funcionalização do NTC para uma melhor dispersão na matriz. Por sua vez, o superplastificante atuou nas pastas produzindo uma dispersão mais homogênea dos nanomateriais em todos os cenários, diminuindo aglomerações e, assim, reduzindo o número de pontos frágeis que conduzem as fraturas, através da diminuição do atrito entre as partículas que compõem a pasta.

4 CONCLUSÃO

O aumento na consistência das pastas com adição dos nanotubos de carbono, pode ser resultado da adição de um material com uma área superficial específica maior que a dos grãos de cimento, conforme esperado. As pastas produzidas com a incorporação de aditivo superplastificante apresentaram melhores desempenhos, e quando analisada a influência do tipo de nanotubos de carbonos, os funcionalizados se sobressaíram em relação aos não funcionalizados em todas as misturas. Sendo constatado, que o melhor desempenho foi obtido para a pasta 2B, que continha os nanotubos funcionalizados e com o teor de 0,01% de aditivo superplastificante. O aumento pode ser indicativo da formação de um maior volume de produtos de hidratação na pasta em decorrência do superplastificante, que, por sua vez, refletem em maiores valores de resistência mecânica, assim como pode-se atribuir aos NTC uma parcela dessa melhoria em virtude de suas propriedades e da efetiva dispersão dos mesmos.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, N. H. **Avaliação do desempenho de pastas de cimento Portland reforçadas com nanobastões de carbeto de silício após tratamento térmico**. Tese de Doutorado em Engenharia civil. UFSC. Florianópolis, p. 198. 2019.

BATISTON, E. R. **Estudo Exploratório dos Efeitos de Nanotubos de Carbono em Matrizes de Cimento Portland**. UFSC. Florianópolis, p. 80. 2007.

COLLINS, F.; LAMBERT, J.; DUAN, W. H. The influences of admixtures on the dispersion, workability, and strength of carbon nanotube-OPC paste mixtures. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, p. 201 – 207, 2012.

GLEIZE, J. P. **Nanociência e nanotecnologia dos materiais cimentícios**. In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, v. 2, 2011. Cap. 51, p. 1871-1884.

ISFAHANI, F. T.; LI, W.; REDAELLI, E. **Dis**persion of multi-walled carbon nanotubes and its effects on the properties of cement composites. **Cement and Concrete Composites**, 74, 2016. 154-163.

KANTRO, D. L. Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste – a miniature slump test. **Cement, Concrete and Aggregates**, v. 2, n. 2, p. 95-102, 1980

KONG, Deyu; DU, Xiangfei; WEI, Su; ZHANG, Hua; YANG, Yang; SHAH, Surendra; Influence of Nano-silica Agglomeration on Microstructure and Properties of the Hardened Cement-based Materials. **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 707–715, 2012.

KONSTA-GDOUTOS, M. S.; METAXA, Z. S.; SHAH, S. P. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials. **Cement Concrete Research**, 40, 2010. 1052-1059.

LI, G. Y.; WANG, P. M.; ZHAO, X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-trated multi-walled carbon nanotubes. **Carbon**, 43, May 2005. 1239-1245.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018

SILVESTRO, L. **Incorporação de nanotubos de carbono funcionalizados com silano em pastas de cimento Portland**. Tese de Doutorado em Engenharia civil. UFSC. Florianópolis, p. 190. 2022.