

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E TÉRMICO DE ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÃO DE NANOTUBO DE CARBONO

S.P.S. Lemes¹; J. P. Felix²

Programa de Pós-Graduação em Engenharia (PPEng) – Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete

¹E-mail: s.pry@hotmail.com

RESUMO

A nanotecnologia tem proporcionado inovações significativas na ciência e na engenharia. Um material novo que vem se destacando nessa área é o nanotubo de carbono (NTC). A presente pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento mecânico e térmico de argamassas com adição de NTC. Os NTC foram adicionados às argamassas nos teores de 0,20%, 0,30% e 0,50% em relação à massa de cimento. Foram determinados o índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado. Para a avaliação das propriedades mecânicas, foram determinadas as resistências à tração na flexão, à compressão e absorção de água. As propriedades térmicas foram analisadas através de termogravimetria e condutividade térmica. As argamassas com adição, quando comparadas com a argamassa de referência, apresentaram melhorias nas propriedades de resistência à tração na flexão e absorção de água por imersão. Os resultados obtidos na resistência à compressão e nas propriedades térmicas não foram significativos.

Palavras-chave: Nanotubo de carbono, argamassa, propriedades mecânicas, propriedades térmicas.

1 – INTRODUÇÃO

Após grandes descobertas na área de materiais, de métodos construtivos e de tecnologia, o mundo científico busca resultados inovadores a partir de duas áreas recentes: a Nanociência e a Nanotecnologia (1). Pesquisas realizadas nas áreas de cimento e nanotecnologia têm demonstrado que algumas adições de nano compósito ao cimento permitem modificações importantes na sua microestrutura, o que proporciona a produção de argamassas e concretos mais resistentes, menos porosos e mais duráveis (2).

O nanotubo de carbono (NTC), é uma das mais novas descobertas neste meio, foram descobertos no início da década de 90 por Sumio Iijima, são macromoléculas de átomos de carbono em um arranjo hexagonal periódica com uma concha

cilíndrica e caracterizada como nanotubos de parede única e os nanotubos de paredes múltiplas (3). A estrutura de um NTC de parede única pode ser conceituada envolvendo uma folha de grafeno em um cilindro transparente enquanto NTC de paredes múltiplas consiste em várias folhas de grafeno enrolado sobre si mesmas formando um tubo (4). Este material apresenta extraordinárias propriedades mecânicas, elétricas e térmicas, propriedades de extrema importância para argamassas e concretos. Por se tratarem de partículas manométricas, os NTC também representam a possibilidade de um aumento da variabilidade granulométrica e consequente efeito fíler na composição de argamassas, melhorando as propriedades mecânicas, difusidade térmica e diminuindo a porosidade, fatores que aumentam a durabilidade das argamassas e concretos (3).

A hipótese que gerou esta pesquisa foi a de verificar se a adição de nanotubos de carbono propicia efeitos benéficos às argamassas. O estudo inclui uma análise comparativa de argamassas fabricadas com cimento Portland de alta resistência inicial, levando-se em conta o desempenho mecânico e térmico das misturas elaboradas.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com o objetivo proposto neste trabalho, foi desenvolvido um programa experimental buscando comparar mecanicamente e termicamente o desempenho de argamassas com e sem adição de nanotubo de carbono.

2.1 – Materiais

Os materiais utilizados na confecção das argamassas consistem em: cimento Portland CP V-ARI de alta resistência inicial, areia natural média de origem quartzosa, água proveniente da rede pública, aditivo superplastificante com base de éter policarboxílico e nanotubo de carbono (NTC).

O nanotubos de carbono utilizado nesta pesquisa foi adquirido da empresa Timesnano, localizado na China. Trata-se de NTC de paredes múltiplas, conforme ilustra a Figura 1, sintetizados pelo método de deposição química a vapor ou também chamada CVD – Chemical Vapor Deposition. Comercialmente o produto é especificado com o nome de TNIM4.



Figura 1 – Nanotubo de carbono

Suas características e sua composição constam nas Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1 – Caracterização do NTC

Propriedades do Nanotubo de Carbono	
Pureza (%)	90
Diâmetro Externo (nm)	10 a 30
Diâmetro Interno (nm)	5 a 10
Comprimento (μm)	10 a 30
Densidade (g/cm^3)	2,1
Fator de Forma (L/d)	300 a 1000
Área Superficial (m^2/g)	>140
Condutividade Elétrica (s/cm)	>100
Coloração	Preto

Fonte: Fabricante

Tabela 2 – Composição do produto

Componentes	Composição				
	C	Al	Fe	Ni	S
Peso (%)	88,33	4,21	0,18	0,97	0,16

Fonte: Fabricante

2.2 – Dosagem das argamassas

Para o programa experimental foi fixado um traço de referência de argamassa (sem adição de NTC), para permitir a comparação deste com argamassas com adição de NTC. As dosagens estabelecidas seguem as prescrições da (5), que estabelecem o traço de argamassa padrão, em peso, de 1:3 (cimento:areia) e relação água/cimento de 0,48. O teor de NTC utilizado foi de 0,25%, 0,30% e 0,50% e aditivo de 0,7% em relação à massa de cimento. A relação a/c foi fixada em 0,48

para todos os traços, para que a quantidade de água não interfira na futura comparação dos traços. O traço utilizado, bem como a porcentagem de nanotubo correspondente, podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Nomenclatura das dosagens de argamassas

Nomenclatura	Cimento	Areia	NTC (%)	a/c	Aditivo (%)
AR (Referência)	1	3	-	0,48	0,7
AN25	1	3	0,25	0,48	0,7
AN30	1	3	0,30	0,48	0,7
AN50	1	3	0,50	0,48	0,7

Fonte: Elaboração própria

2.3 – Mistura das argamassas

Para a mistura da argamassa de referência (AR) seguiu-se as recomendações da (5). Já para as argamassas com adição de NTC, é necessário que os nanotubos sejam adicionados às argamassas em forma de dispersão aquosa para aumentar sua eficiência. Para a dispersão dos nanotubos de carbono, foi utilizado um aparelho de ultrassom de imersão.

A metodologia e procedimentos de dispersão foi baseada nos estudos de (2) e (3), que consiste em adicionar água no equipamento e acondicionar béqueres com a solução a ser dispersa no seu interior. Primeiramente, é calculado a porcentagem de água, aditivo e NTC a ser utilizado na solução a ser dispersa. Após, mistura-se os componentes em um béquer, em seguida o béquer com a mistura foi colocado no aparelho de ultrassom de imersão (Figura 2a).

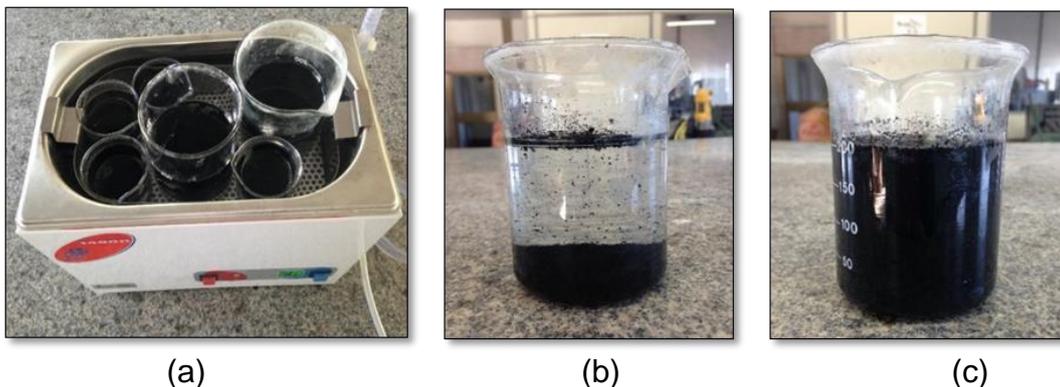


Figura 2 – Componentes e processo de dispersão da solução

O tempo de aplicação das ondas foi de 2 horas. A imagem da Figura 2 (b) apresenta o momento antes da realização do processo de dispersão e a imagem da Figura 2 (c), após as 2 horas do processo de dispersão. É possível notar que após o

término da dispersão, a solução apresenta aspecto mais homogêneo. Após a dispersão da solução, os procedimentos para a produção das argamassas com NTC foram os mesmos utilizados nas argamassas de referência.

2.4 – Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a realização dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão foram utilizados moldes prismáticos metálicos com as seguintes dimensões de (4x4x16) cm. A moldagem dos CP's foi realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos pela (6). Para o ensaio de absorção de água foram utilizados moldes cilíndricos com dimensões de (5x10) cm, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela (5). Para o desenvolvimento dos ensaios de condutividade térmica, foram moldadas placas com dimensões de (30x30x5) cm, o processo de moldagem utilizado, foram os mesmos para os corpos de prova prismáticos.

A desforma dos corpos de prova foram realizadas após 24 horas. Posteriormente, os corpos de provas foram curados em uma câmara úmida à temperatura de (23+/- 2) °C e umidade relativa do ar superior a 95%, conforme a (7).

2.5 – Caracterização das argamassas

As argamassas foram caracterizadas no seu estado fresco, quanto ao índice de consistência e ao teor de ar incorporado, e estado endurecido, quanto a resistência à tração na flexão e à compressão, absorção de água por imersão, condutividade térmica e termogravimetria. A descrição da metodologia aplicada a cada ensaio encontra-se descrita nos itens subsequentes.

2.5.1 – Caracterização das argamassas no estado fresco

O índice de consistência das argamassas foi determinado segundo recomendações da (8). O ensaio foi utilizado para avaliar à influência da incorporação dos nanotubos de carbono nas argamassas no estado fresco, portanto, a relação água/cimento foi fixada em 0,48 para não influenciar nos resultados.

Os teores de ar incorporado das argamassas foram determinados de acordo com (9). Os resultados são referidos na forma de densidade de massa considerando o volume de vazios e densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios.

2.5.2 – Caracterização das argamassas no estado endurecido

Os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão nas argamassas foram realizados de acordo com (6). Primeiramente, os corpos de prova foram rompidos a tração na flexão e, na sequência, fazendo-se o uso das suas metades, os mesmos foram rompidos à compressão axial. Os corpos de provas foram ensaiados nas idades de 7, 14 e 28 dias onde, foram rompidos 3 corpos de prova em cada idade.

A absorção de água das argamassas, foi obtido por meio de imersão, conforme (10). Para a realização deste ensaio foram utilizados três corpos de prova para cada traço, ensaiados aos 28 dias. Visou obter com esse ensaio, um indicativo quanto à durabilidade das argamassas estudadas.

Na sequência foram determinadas algumas propriedades térmicas das argamassas como, condutividade térmica e análise termogravimétrica. O ensaio da condutividade térmica foi realizado de acordo com os procedimentos estabelecidos pela (11). Foram ensaiadas três placas por traço, aos 28 dias de idade. Os valores da condutividade térmica foram obtidos com recurso a um aparelho do tipo Laser Comp modelo Fox 300, à temperatura de 20°C e 45°C. De maneira a auxiliar nas análises da condutividade térmica, as argamassas foram caracterizadas através das curvas de termogravimetria. Para a realização deste ensaio, foram coletadas amostras após os ensaios de compressão, na idade de 28 dias, e as mesmas foram moídas. A curva de TGA foi obtida utilizando equipamento, modelo TGA 50H acoplado com analisador térmico TA60WS, ambos da marca Shimadzu. As amostras de argamassa foram aquecidas a uma taxa de 10 °C/min, iniciando na temperatura ambiente até atingir a temperatura de 1000 °C, em atmosfera de nitrogênio.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de caracterização das argamassas no estado fresco e estado endurecido, encontram-se apresentados nas subseções a seguir.

3.1 – Índice de consistência

A Tabela 4 apresenta os valores do índice de consistência das argamassas. Conforme o esperado, quanto maior a quantidade de finos proporcionados as

argamassas, menor o índice de consistência e, por consequência, menor a sua trabalhabilidade.

Tabela 4 - Índice de consistência das argamassas

Traços	Relação a/c	Teor de Aditivo (%)	Índice de consistência (mm)
TRAÇO AR	0,48	0,70	248
TRAÇO AN25	0,48	0,70	236
TRAÇO AN30	0,48	0,70	232
TRAÇO AN50	0,48	0,70	226

A perda de consistência nas argamassas com incorporação de finos está ligada ao fato de que a quantidade de água e aditivo para amassamento permaneceu constante. Para manter a trabalhabilidade seria necessário aumentar o consumo de água ou aditivo devido à elevada superfície específica dos nanotubos de carbono.

3.2 – Densidade de massa e teor de ar incorporado

Os resultados da densidade de massa e do teor de ar incorporado das argamassas estão apresentados na Tabela 5. Verifica-se que ocorre uma diminuição no valor da densidade de massa, conforme se adiciona nanotubo de carbono. Este material possui a granulometria mais fina que o cimento, preenchendo assim, os vazios entre o cimento.

Tabela 5 - Densidade de massa das argamassas

Argamassas	AR	AN25	AN30	AN50
Densidade de massa (g/cm ³)	2,138	2,084	2,092	2,075
Teor de Ar Incorporado (%)	7,30	9,60	9,27	9,98

Nota-se também, que conforme se adiciona maiores porcentagens de nanotubos de carbono às composições, obtém-se um maior percentual de teor de ar incorporado em relação à mistura sem nanotubo, o que já era igualmente esperado.

3.3 – Resistência à tração na flexão

Na Figura 3 são mostrados os dados da resistência média à tração na flexão,

distribuídos em um histograma. Nota-se, a evolução da resistência à tração na flexão ao longo do tempo. Onde nas idades de 14 e 28 dias, as argamassas com nanotubos apresentaram valores superiores à de referência. Na idade de referência (28 dias), a amostra AN30 apresentou maior ganho de resistência à tração na flexão – em torno de 20%.

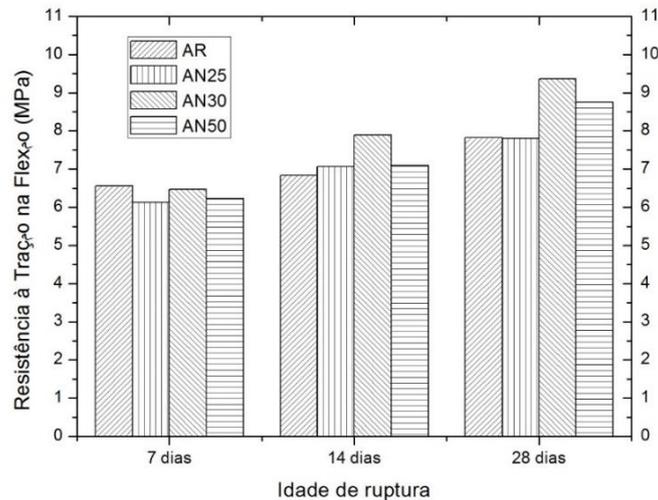


Figura 3 - Resistência média à tração na flexão

Portanto, a argamassa AN30, foi a que apresentou melhor desempenho nas idades estudadas. Reforçando assim, o índice apresentado por (1), um faixa “ótima” para inserção de nanotubos em matrizes de cimento, faixa esta que deve estar próxima aos 0,30% de nanotubo. De acordo com análise estatística, houve diferença significativa na inclusão de NTC na argamassa de referência.

3.4 – Resistência à compressão

Na Figura 4 são mostrados os dados da resistência média à compressão, distribuídos em um histograma. Ao analisar, é possível notar que, de maneira geral, a resistência das amostras com adição de NTC, nas idades estudadas, foram inferiores a amostra AR. Porém, de acordo com a análise estatística, não houve diferença significativa entre as misturas com NTC e a referência. (12), em sua pesquisa sobre incorporação de NTC em matriz de cimento Portland, ao realizar o ensaio de compressão, também não obteve diferença significativa entre as misturas com NTC e a referência, onde apresentaram um decréscimo na resistência quando se aumentou o teor de nanotubos, indicando que a maior concentração de nanotubos reduz a dispersão e promove a heterogeneidade da matriz, propiciando a formação de zonas mais frágeis que facilitam a ruptura do material.

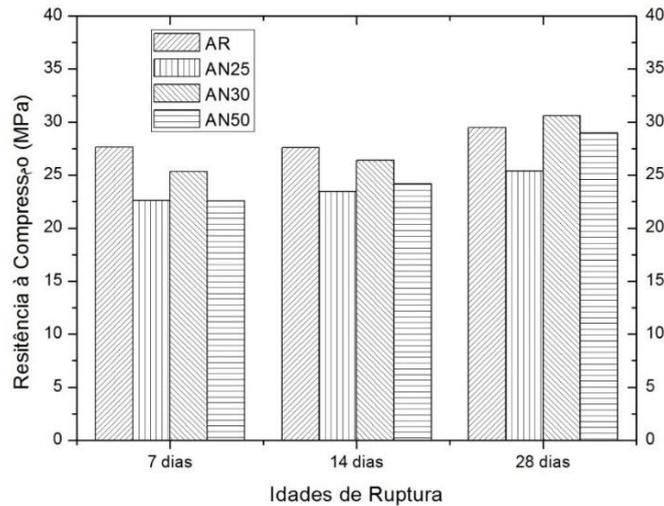


Figura 4 - Resistência média à Compressão

3.5 – Absorção de água por imersão

Os resultados médios da absorção de água, para os traços estudados, estão representados na Tabela 6. Onde, observa-se uma pequena melhora na propriedade para as argamassas com adição de NTC, chegando até 3,18% menor que a amostra de referência.

Tabela 6- Absorção de água das argamassas

Argamassas	AR	AN25	AN30	AN50
Absorção de água (%)	8,80	8,60	8,52	8,68

(2) desenvolveu um estudo sobre absorção de concretos com adição de NTC, o autor realizou este mesmo ensaio e constatou que houve uma melhora nesta propriedade para as amostras com adições, o mesmo relatou que este fato pode estar relacionado ao aumento de poros capilares ou a uma melhora na distribuição dos poros, reduzindo a macro porosidade e aumentando a micro porosidade, devido ao nanotubo possuir uma granulometria mais fina que o cimento, ocasionando uma matriz cimentícia mais compacta.

3.6 – Condutividade térmica

Através do método fluxométrico foi determinado a condutividade térmica das argamassas com e sem adição de nanotubo de carbono, cujos valores constam na

Tabela 7.

Tabela 7 - Condutividade e Resistência Térmica das argamassas				
Material	Condutividade Térmica (λ) W/mK	% ganho/redução	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão (%)
AR	0,5407 \pm 0,0272	-	2,385	0,013
AN25	0,5665 \pm 0,0223	4,77	1,847	0,011
AN30	0,5652 \pm 0,0232	4,53	1,877	0,011
AN50	0,5824 \pm 0,0091	7,71	0,701	0,0041

Nota-se que os resultados do ensaio de condutividade térmica para as argamassas com adição de NTC obtiveram valores superiores que a amostra de referência. Importante salientar que conforme se aumentou a porcentagem de NTC na argamassa, a condutividade térmica também aumentou, o que já era esperado. Porém, de acordo com análise estatística, não houve diferença significativa entre as amostras com adição de NTC e a amostra de referência.

3.7 – Análise termogravimétrica (TGA) das argamassas

A termogravimetria foi utilizada para verificar a estabilidade térmica e a degradação das argamassas. A Figura 5 apresenta o perfil das curvas das análises térmicas das argamassas com e sem adição de nanotubo de carbono. As curvas de TGA e DrTGA mostram reações típicas que ocorrem na matriz de cimento quando sujeita a um aumento de temperatura progressiva desde a temperatura ambiente até 1000 °C.

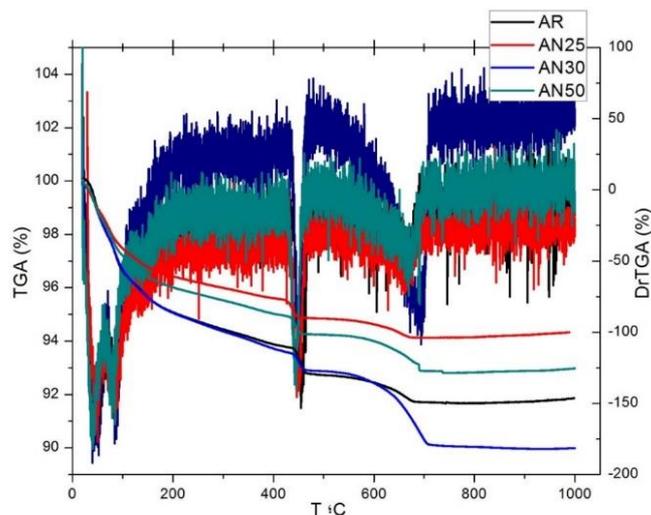


Figura 5 - Curvas de TGA e DrTGA das argamassas

Observa-se que as curvas termogravimétricas das argamassas apresentaram

três principais picos endotérmicos. O primeiro pico ocorre entre a temperatura ambiente e aproximadamente 95°C, correspondendo a perda de massa na decomposição de alguns hidratos como silicato de cálcio (C-S-H) e etringita. O segundo pico situa-se entre 435 °C de 450 °C, essa perda corresponde à hidratação de um grupo de CH como a portlandita. Entre as faixas de temperatura de 650 °C e 700 °C, temos o terceiro pico, esta perda está associada a decomposição do carbonato de cálcio como calcita. Ao comparar as curvas de TGA e DrTGA das argamassas com adição de NTC com a argamassa de referência, pode-se observar que praticamente não há diferença qualitativa entre as mesmas. Onde não foi possível identificar perda de massa correspondente ao NTC.

4 – CONCLUSÕES

As argamassas de cimento Portland com adição de nanotubos de carbono na porcentagem de 0,30%, foi a que apresentou melhor desempenho mecânico e térmico, entre as argamassas fabricadas, mostrando que as adições de nanotubos são eficientes no reforço de argamassas de cimento Portland. Podendo concluir também, que pode haver uma faixa ótima para incorporação de nano partículas nos compósitos a base de cimento Portland.

REFERÊNCIAS

- (1) MELO, V. S. **Nanotecnologia aplicada ao concreto: efeito da mistura física de nanotubos de carbono em matrizes de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.
- (2) MARCONDES, C. G. N. **Adição de nanotubos de carbono em concretos de cimento Portland – Absorção, permeabilidade, penetração de cloretos e propriedades mecânicas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.
- (3) BORBA, A. P. B.; MATSUNAGA, A. S.; FRAN CZAK, L. R. **Uso de nanotubos de carbono na confecção de argamassas de reparo: Efeito nas propriedades mecânicas e absorção de água**. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.
- (4) COLLINS, F.; LAMBERT, J.; DUAN, W. H. **The influences of admixtures on dispersion, workability, and strength of carbon nanotube – OPC paste mixtures**. Cement & Concrete Composites, v. 34, p. 201-207, 2012.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão: NBR 7215. Rio de Janeiro, 1997.

- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: NBR 5738. Rio de Janeiro, 2003.
- (7) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência: NBR 13276. Rio de Janeiro, 2005.
- (8) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado: NBR 13278. Rio de Janeiro, 2005.
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão: NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005.
- (10) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica: NBR 9778. Rio de Janeiro, 2005.
- (11) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Desempenho térmico de edificações – Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico: NBR 15220. Rio de Janeiro, 2003.
- (12) BATISTON, E. R. **Incorporação de nanotubos de carbono em matriz de cimento Portland**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

CHARACTERISATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOUR AND THERMAL OF MORTAR OF CEMENT PORTLAND WITH CARBON NANOTUBE ADDITION

ABSTRACT

Nanotechnology has provided significant innovations in science and engineering. A new material that has stood out in this area is the carbon nanotube (CNT). This research aims to analyze the mechanical and thermal behavior of mortars with addition of CNT. The CNT were added to mortars in amounts of 0.20%, 0.30% and 0.50% relative to the cement mass. It was determined the consistency index, mass density and entrained air content. For evaluation of mechanical properties were determined tensile strength in bending, compression and absorption of water. Thermal properties were analyzed by thermogravimetry and thermal conductivity. The mortars with addition compared with the reference mortar, showed improvement in tensile strength in bending properties and water absorption. The results of the compressive strength and the thermal properties were not significant.

Keywords: Carbon Nanotube, mortar, mechanical properties, thermal properties.