A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.
1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO E DE CINZA VOLANTE NO CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO

SANTOS, Ícaro Mariani Ribeiro[1]; RAISDORFER, Janderson William[2]; HOFFMANN, Leonardo[3]; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias[4]

[1] Universidade Federal do Paraná,Mestrando em Engenharia Civil, icaro.santos@cimentoitambe.com.br
[2] Universidade Federal do Paraná,Mestrando em Engenharia Civil, janderwr@gmail.com
[3] Universidade Federal do Paraná,Mestrando em Engenharia Civil, l.hoffmann@plaenge.com.br
[4] Universidade Federal do Paraná, Professor Doutor, medeiros.ufpr@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo estudar o efeito da introdução de nanotubos de carbono (NTC) e de cinza volante na temperatura gerada na hidratação do cimento presente no concreto. Desse modo, foram estudados cinco traços de concreto, como segue: Uma série de referência; duas séries com adição de cinza volante; e duas séries com dois níveis de teores de adição de NTC. Decidiu-se avaliar este parâmetro, pois existem dúvidas se a adição de nanotubos de carbono no concreto gera maior elevação da temperatura e se a utilização de materiais pozolânicos pode mitigar a elevação da mesma. Em todas as séries foram moldados sete corpos de prova cilíndricos para verificação da resistência à compressão, e também foram confeccionados corpos de prova cúbicos com a disposição de termopares tipo "T" em seu interior para medição da temperatura. Foi avaliada a resistência à compressão aos 7, 28, 63 e 91 dias, assim como foi mensurada sua resistividade elétrica; Já o comportamento térmico foi medido no decorrer de três dias numa câmara semi-adiabática de modo avaliar a elevação da temperatura das composições de concreto. Foi constatada diferença entre os resultados tanto na temperatura quanto nas resistências elétricas das composições, fatores que estão ligados a vida útil desses concretos.

Palavras chave: Concreto Massa; Calor de Hidratação; Temperatura; Retração Térmica

ABSTRACT

This work aims to study the effect of the introduction of carbon nanotubes (NTC) and Fly Ash, on the hydration temperature of Portland Cement in Concrete. Thus, five types of concrete were studied as follows: one reference serie; two series with fly addition; and two series with two levels of NTC addition. It was decided to evaluate this parameter because there are doubts wheter the addition of carbon nanotubes in concrete generates higher hydration heat and if the use of pozzolanic materials can mitigate this increase. In all series, seven cylindrical samples were molded, to verify the compressive strength, and cubic samples were made with the arrangement of thermocouples type "T" inside, for temperature measurement. The compressive strength at 7, 28, 63 and 91 days was measured as well its electrical resistivity; The thermal behavior was measured in the course of three days in a semi-adiabatic chamber in order to evaluate the temperature increase of concrete compositions. Difference between the results both in temperature and in the resistance were seen, being explained by their distinct morphologies.

Keywords: Mass Concrete; Hydration Heat; Temperature; Thermal Shrinkage

1. INTRODUÇÃO

Em geral, os sólidos tem o volume alterado conforme a mudança da sua temperatura, expandindo-se com o calor e retraindo com o resfriamento. Quando as variações volumétricas de origem térmica são aplicada a sólidos de grande dimensão essas variações podem causar fissuras caso sejam desconsiderados os efeitos da dilatação térmica (NEVILLE, 1997).

Um dos fatores de maior influência nos efeitos térmicos é a geração do calor interno no concreto. Quando os grãos do cimento entram em contato com a água eles se hidratam e liberam calor. Essa geração de calor provoca tensões térmicas que podem causar danos à estrutura. No entanto, essas tensões são mais significativas quando há um maior gradiente de temperatura, ou seja, quando há maior diferença entre as temperaturas máximas e mínimas no concreto (COELHO *et al*, 2013).

Quanto à seleção de materiais, em casos em que a retração de origem térmica é um fator crítico, recomenda-se o uso de adições minerais em substituição parcial do volume de cimento. A presença das adições reduz o calor gerado nas idades iniciais, uma vez que a quantidade de clínquer presente na mistura é menor e boa parte das reações de hidratação passa a ocorrer em idades mais avançadas (NEVILLE, 1997).

2. CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

O cimento, na reação de hidratação, é responsável por uma grande liberação de calor, que muda de acordo com a idade do concreto, chamada calor de hidratação, medido em calorias por grama. A quantidade de calor desenvolvida depende dos diferentes componentes do cimento e de outros fatores: a finura do cimento, a relação água-cimento, a temperatura inicial (CARVALHO, 2002).

O grau de dependência entre as reações dos minerais de clínquer ainda deixa muitos fatos inexplicados e, até agora, é difícil avaliar quantitativamente as possíveis causas e seus graus de influência. Apesar disso, é de consenso que concretos com cimentos de altos teores de C3S e C3A terão alta resistência inicial por consequência de uma grande liberação de calor durante a sua hidratação. Por outro lado, um concreto com alto teor de C2S irá promover uma baixa

resistência inicial, alta resistência a longo prazo e, ainda, baixa liberação de calor (MAEKAWA et al, 1999).

A Figura 1 mostra dados sobre o efeito da temperatura inicial, durante as duas primeiras horas depois do início da mistura, sobre a evolução da resistência de concretos com relação água/cimento igual 0,53.

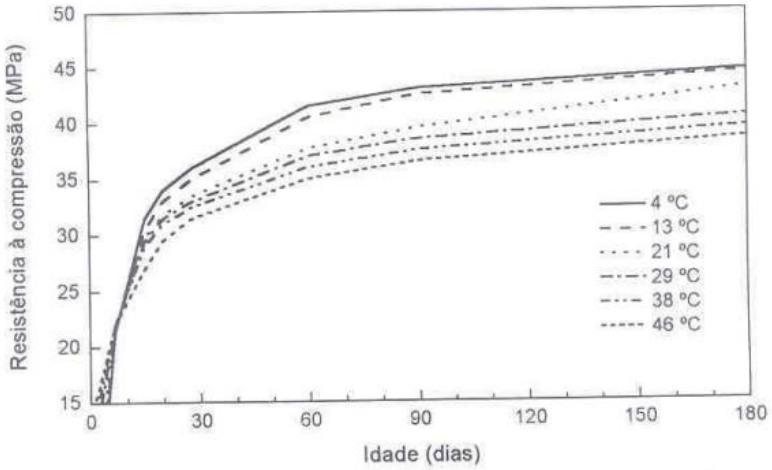


Figura 1 - Efeito da temperatura durante as duas primeiras horas depois do lançamento sobre a evolução da resistência. Fonte: Neville (1997).

As reações químicas de hidratação do cimento são exotérmicas, podendo liberar até 500 J/g. No entanto, conforme Mann *et al* (2013), somente a mudança de CP V-ARI para CP IV-32 (Cimento Portland Pozolânico) diminue em 16 % a produção de calor nas primeiras 168 horas, sem considerar adições. Como a condutividade térmica do concreto é relativamente pequena, o material tem seu comportamento comparável ao de um isolante e, no interior de grandes massas de concreto, a hidratação pode acarretar em grandes elevações de temperatura. Ao mesmo tempo, o exterior da massa de concreto perde calor, de modo que se estabeleça um acentuado gradiente durante o resfriamento subsequente do interior para o exterior, podendo ocorrer fissuração térmica o que reduz a capacidade de carga do concreto e a sua vida útil. (NEVILLE, 1997;)

Mehta e Monteiro (2008), explicam que, quando mistura-se o cimento com a água, ocorre uma rápida evolução de calor durante poucos minutos (pico A, ramo ascendente - Figura 2), provavelmente representando o calor de dissolução de aluminatos e sulfatos. Entretanto, esta evolução de calor inicial termina rapidamente devido ao fato da solubilidade dos aluminatos

ser reduzida na presença de sulfatos em solução (pico A, ramo descendente). O ciclo seguinte, após aproximadamente quatro ou oito horas de hidratação para a maioria dos cimentos Portland, representa a formação de etringita (pico B, ramo descendente Figura 2). Há um consenso entre pesquisadores em que o período de liberação do calor inclui uma parcela significativa das reações exotérmicas do C_3S para a formação do C-S-H. A pasta de um cimento com retardor de pega reterá muito a sua plasticidade antes do começo deste ciclo de calor, e vai enrijecer e mostrar o início de pega antes de atingir o ápice em B, o qual corresponde ao fim de pega. A Tabela 1 apresenta a quantidade de calor que os principais elementos do cimento liberam até 13 anos de idade.

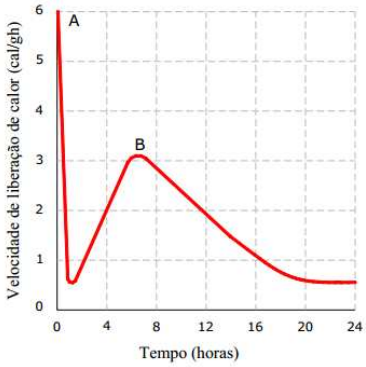


Figura 2 - Taxa de liberação de calor de uma pasta de cimento Portland durante a pega e o período inicial de endurecimento. Fonte Mehta e Monteiro (2008)

Tabela 1 - Calores de hidratação dos compostos de cimento Portland.

CALORES DE HIDRATAÇÃO DOS COMPOSTOS DO CIMENTO PORTLAND			
	Calores de hidratação a uma dada idade (cal/g)		
COMPOSTOS	3 dias	90 dias	13 anos
C3S	58	104	122
C2S	12	42	159
C3A	212	311	324
C1AF	69	98	102

Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

3. EFEITO DE ADIÇÕES NO CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO.

Algumas pesquisas já realizadas comprovaram o bom desempenho das nanopartículas quando adicionadas a argamassas de cimento e a concretos. Devido ao seu tamanho minúsculo, tais partículas contribuem para o preenchimento de vazios e, consequentemente, para a melhoria de diversas propriedades desses materiais (MELO, 2009).

Li et al. (2004) constataram, em seu estudo sobre as propriedades mecânicas em argamassas de cimento com nanomateriais, que a resistência à compressão dessas argamassas aumentou significativamente com a incorporação de nanopartículas. As nanopartículas preencherão os poros da pasta de cimento, tornando-a mais densa e aumentando, assim, a resistência, de modo similar ao efeito da sílica ativa.

Segundo Sobolev et al. (2008) aput MELO (2009), quando se alteram as dimensões de um material do tamanho macro para o nano, ocorrem mudanças significativas em sua condutividade elétrica, absorção ótica, reatividade química e nas propriedades mecânicas. Com a redução no tamanho, mais átomos localizam-se na superfície das partículas, implicando em uma mudança considerável na energia de superfície e na morfologia desta superfície. Como resultado, todos esses fatores alteram as propriedades básicas e a reatividade química dos nanomateriais.

A porosidade é reduzida com a incorporação de nanotubos de carbono na matriz de cimento, bem como há diminuição do volume total de poros. Isso pode ser comprovado por testes realizados, em que argamassas contendo 0,5% de NTC tiveram uma porosidade de 10,8%, aproximadamente 64% menor do que na amostra de controle apenas com cimento. Além disso, os poros com diâmetro d> 50 nm nas argamassas com os nanotubos representaram 1,47% como porosidade, cerca de 82% menor do que na amostra de controle. Tais resultados mostraram que os NTC agem como um fíler nos vazios da matriz (LI et al., 2004).

Segundo MARCONDES (2012), o ensaio de migração de cloretos demonstrou que os NTCs possuem propriedades eletro condutivas. Este fato deve ser explorado de modo mais

amplo para avaliar a resistividade do concreto e sua relação com a velocidade de ocorrência da corrosão das armaduras.

A trabalhabilidade é uma das propriedades que também merece atenção. Nos traços com NTCs observou-se por meio do ensaio de abatimento por tronco de cone, que os NTCs influenciam na reologia do concreto e fazem com que o abatimento seja menor, devido à perda de fluidez. Este fato indica que os NTCs devem ser utilizados com aditivos plastificantes ou super plastificantes para evitar o acréscimo de água no concreto (MARCONDES, 2012).

A cinza volante é uma pozolana silicosa, que não apresenta propriedade cimentícia, mas quando em presença de umidade reage com o hidróxido de cálcio formando compostos cimentantes. Logo, a substituição parcial de cimento por cinza volante reduz a quantidade de cimento utilizada na dosagem para uma mesma resistência, reduzindo a liberação de calor e os efeitos prejudiciais da temperatura nas primeiras horas do concreto. (MATTANA *et al*, 2013; RECENA, 2011).

4. CONCEITOS BÁSICOS SOBRE RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO CONCRETO

A resistividade elétrica do concreto, em conjunto com a preença de oxigênio junto ao aço, tendem a controlar o processo eletroquímico de corrosão de armaduras. Desta maneira, a velocidade de corrosão das armaduras, e por consequência a durabilidade das estruturas, estão diretamente ligadas com a resistividade elétrica do concreto. (CASCUDO, 1997)

Com base nos critérios de avaliação do Comite Euro-Internacional du Beton – CEB, uma resistência abaixo de 5 kohm.cm indica uma probabilidade de corrosão muito alta, entre 5 à 10 kohm.cm de alta probabilidade, entre 10 à 20 kohm.cm baixa probabilidade e acima de 20 kohm.cm torna o risco de corrosão desprezível. Estes índices são altamente aceitos no meio técnico cientifico. (CASCUDO, 1997; MEHTA E MONTEIRO, 2008)

No entanto, a variação da resistividade elétrica do concreto pode estar ligada a vários fatores como: a umidade do concreto; quantidade de poros da sua micro estrutura; teor de cimento e relação água/cimento; quantidade e tipo de adições e aditivos. (ANDRADE, 2004;

HOPPE, 2005). Assim como comprovado em Santos (2006), através da resistividade elétrica do concreto é possível fazer leituras da evolução da atividade pozolâmica, devido ao melhor fechamento dos poros.

A relação água/aglomerante relaciona-se com diversas propriedades do concreto, influenciando a porosidade, a permeabilidade, a resistência mecânica entre outras. No entanto, sua ligação com a resistividade elétrica aparente, determinada pelo método de Werner, está vinculada principalmente a estrutura porosa e a composição da solução aquosa no interior do concreto, o que torna a estrutura porosa a variável mais significante no estudo da resistividade do concreto. (HOPPE, 2005).

5. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Foram confeccionados concretos com diferentes composições para avaliar a resistência à compressão, resistividade elétrica e elevação da temperatura, ensaios estes descritos a seguir.

5.1 MATERIAIS EMPREGADOS

5.1.1 Cimento

O cimento empregado foi um CP-V ARI RS, fabricado pela Cia. de Cimento Itambé, cujas características químicas e físicas estão dispostas na Tabela 2 – Características químicas do cimento

Tabela 2 – Características químicas do cimento

	ENSAIOS QUÍMICOS									
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	P. Fogo	CaO L.	R. Ins.	Eq. Alc.
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
13	6,11	21,34	3,38	55,8	3,52	2,87	3,05	1,35	9,54	0,79

Tabela 3 – Características físicas do cimento

2013	ENSAIOS FÍSICOS										
		Tempo de Pega (h:min)		Cons.	Blaine	200 #	325 #	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
	Exp.	Início	Fim	%	cm²/g	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
13	0	03:20	04:00	29,2	4900	0,6	2,2	19,9	35,3	40,8	50,6

5.1.2 Nanotubos de Carbono

Os NTCs foram adquiridos da empresa nanocyl, com sede na Bélgica. As características do produto encontram-se nas Tabela 4 e

Tabela 5.

Tabela 4 – Propriedades dos NTCs

PROPRIEDADE	UNIDADE	VALOR
Diâmetro médio	Nanômetros	9,5
Comprimento médio	mícron	1,5
Pureza do carbono	%	90
Óxido metálico	%	10
Área superficial	m²/g	250-300
Densidade Média	g/l	60

Tabela 5 – Composição dos NTCs

COMPOSIÇÃO	
COMPONENTES	% (peso)
Grafite sintetizada (NTC)	90%
Óxido de Cobalto	< 1%
Outros	9%

5.1.3 Agregados

Os agregados utilizados correspondem a Brita 1 (diâmetro de 19 mm) de origem basáltica, areia natural de rio com módulo de finura de 1,50 e areia industrial com módulo de finura de 2,90. A mescla dos agregados segue uma granulometria que se encaixa dentro da Zona Ótima, preconizada pela NBR 7211:2009.

5.1.4 Cinza Volante

A cinza volante foi fornecida pela fábrica de Cimentos Itambé, localizada na região de Balsa Nova- PR. Esta cinza volante é utilizada pela cimenteira para adição no Cimento tipo IV – Pozolânico e é proveniente da usina termoelétrica Jorge Lacerda, localizada em Tubarão-SC.

5.2 Dosagem do concreto

O concreto de referência foi confeccionado com consumo de cimento de 308 kg/m³, aepresentando uma resistência característica (fck) de 30 MPa. A segunda e terceira séries de concreto incluem a adição de cinza volante em substituição ao cimento em teores de 15 e 25%, respectivamente. Já a quarta e quinta séries de estudo incluem a adição de nanotubos de carbono dosados a 0,15 e 0,30% da massa de cimento do traço. A partir das dosagens, foram moldados 7 corpos de prova cilíndricos (10x20cm) para cada traço de modo a mensurar sua resistência à compressão, sendo ainda molado corpos de prova cúbicos de modo a avaliar o comportamento térmico de cada tipo de concreto em câmara semi-adiabática, como ilustra a Figura 3.

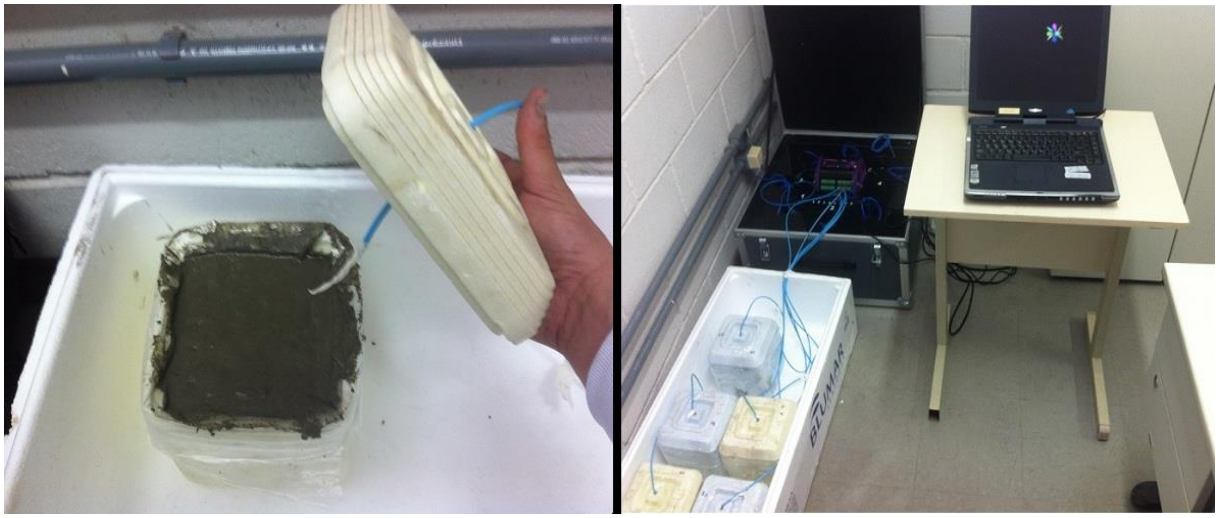


Figura 3 – Detalhe do Corpo de prova com a introdução do termo par (esq); Equipamento montado para monitoramento de comportamento térmico (dir)

De acordo com os trabalhos de Marcondes (2012) e Dranka et al. (2013), os NTCs devem ser adicionados previamente dispersos em solução com o intuito de promover uma distribuição mais homogênea possível na massa de concretos e argamassa de cimento Porland. Desse modo, no caso deste trabalho, foi necessário separar uma parte da água de amassamento, dispor num recipiente de vidro, misturar com os NTCs e submeter o conteúdo em um misturador ultrassônico, como indicado na Figura 4



Figura 4 – Misturador Ultrassônico com NTCs

5.3 Ensaios

Foram realizados ensaios de resistividade elétrica e de resistência à compressão de cada tipo de concreto, possibilitando uma verificação da influência de nanotubos de carbono e da cinza volante, nas propriedades do concreto.

A resistência à compressão foi mensurada através do rompimento de corpos de prova cilíndricos (10x20cm)

A resistividade elétrica foi medida pelo aparelho RESIPOD (Figura 5) fabricado pela PROCEQ AS, que usa o método Wenner de quatro eletrodos para as leituras de resistividade.



Figura 5 – Aparelho Resipod utilizado para determinar a resistividade elétrica

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos possibilitaram um maior entendimento das modificações nas propriedades do concreto.

6.1 Resistência à Compressão

Os rompimentos foram feitos de acordo com a NBR 5739:2007. Os resultados estão contidos no Gráfico 1.

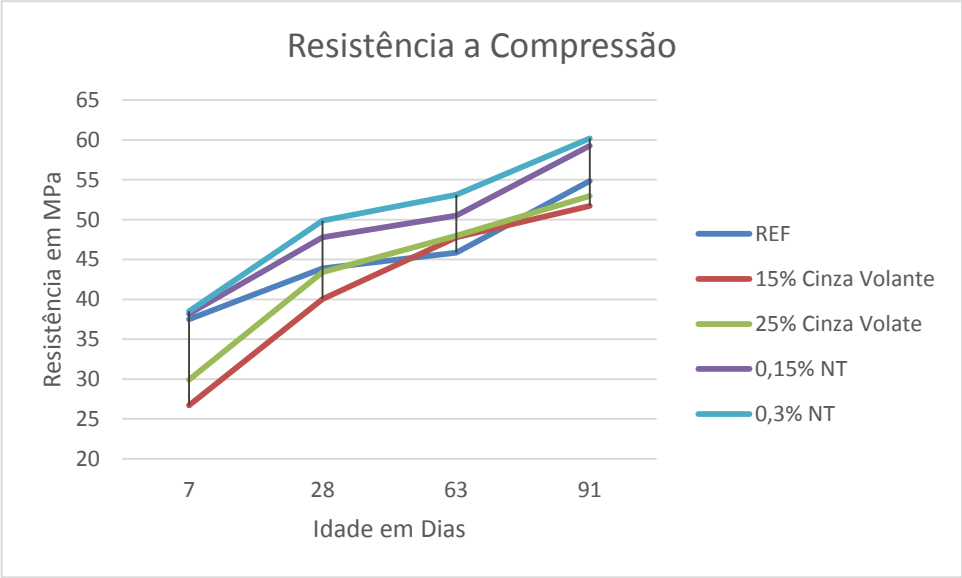


Gráfico 1 – Resistências à compressão das composições

Como pode ser visto o concreto de referência obteve maior resistência aos 7 dias frente às dosagens com cinza volante. Isto pode ser explicado pelo fato da cinza volante ser um material pozolânico, os quais necessitam de maior tempo para sua ocorrência; Quando comparado com os NTCs, estes já nas primeiras idades se mostraram mais eficientes, provavelmente devido ao fechamento granulométrico.

Aos 28 dias o crescimento das composições com cinza volante foi maior, equiparando-se ao concreto de referência, enquanto as composições com NTCs mantiveram-se mais altas. Já aos 63 dias nota-se que as composições com cinza volante superam o concreto de referência, mostrando que a adição pozolânica aumenta a resistência final. As composições com NTCs mantiveram um crescimento até as resistências finais, mostrando-se uma adição que confere maior resistência à compressão para o concreto em qualquer idade.

6.2 Resistividade elétrica

Foi medida a resistividade elétrica de todos os corpos de prova nas idades de 28, 63 e 91 dias. Os resultados estão apresentados no Gráfico 2.

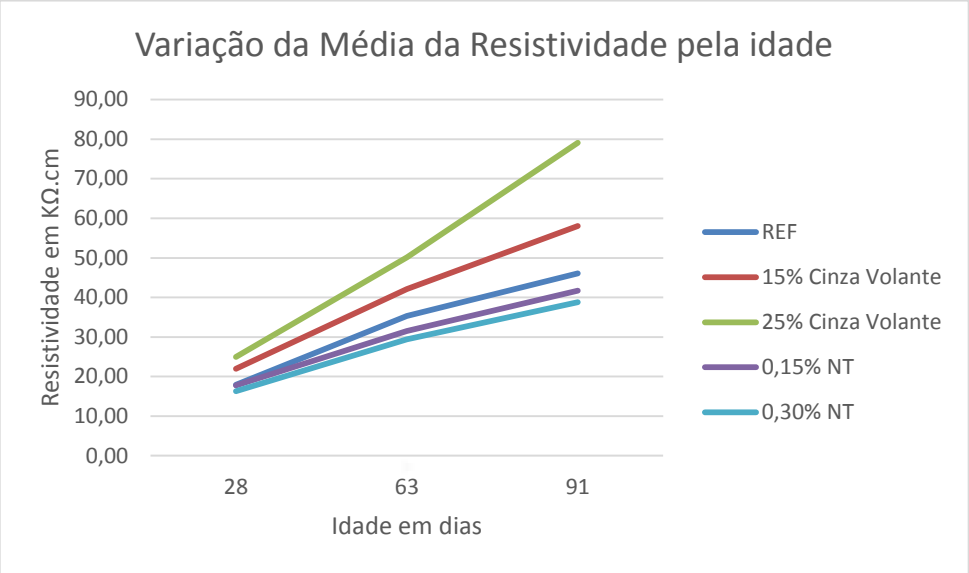


Gráfico 2 – Gráfico com as resistividades medidas em 28, 63 e 91 dias das composições

Nota-se que em todos os casos a resistividade cresceu e manteve um padrão comparativo ao longo do tempo. Comparando com os resultados da série de referência, as composições com cinza volante apresentaram uma maior resistividade elétrica. Provavelmente, isto ocorreu devido à redução da porosidade causada por seu efeito pozolânico, aumentando a sua resistividade. Já as composições com Nanotubos de Carbono, apresentaram menor resistividade elétrica em todas as idades, isto pode ser explicado pelo fato do nanotubo de carbono ser um bom condutor de eletricidade, possibilitando assim uma maior condutividade neste concreto, diminuindo sua resistividade.

6.3 Comportamento térmico

A avaliação do comportamento térmico foi feito através de um aparelho DataTaker, que utiliza termopares como sondas no interior do concreto, para que a temperatura seja medida de forma constante.

O gráfico da elevação adiabática da temperatura está na Figura 6.

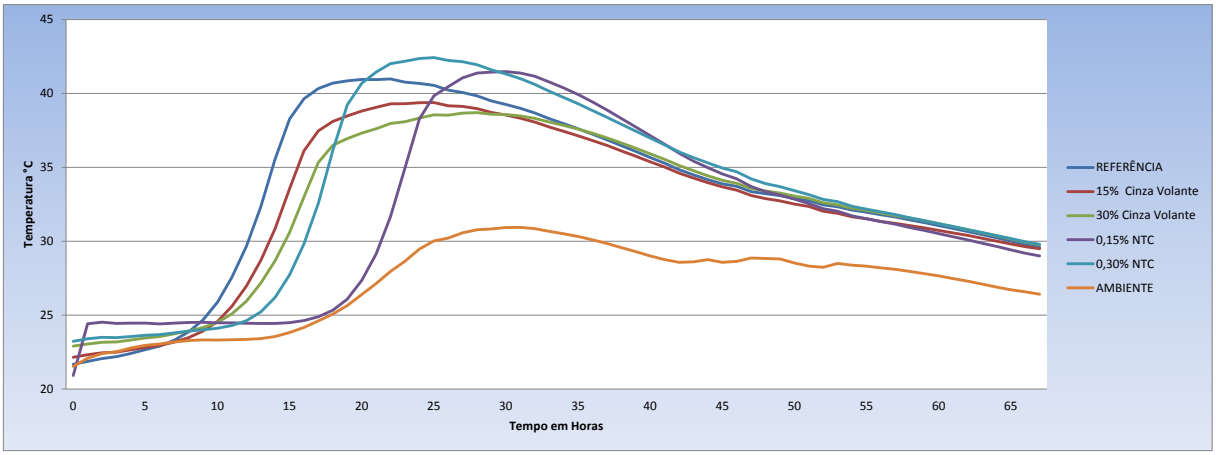


Figura 6 – Evolução da Temperatura nas Primeiras horas de idade

No gráfico é possível verificar que a elevação da temperatura de todas as composições de concreto. A série de referência apresentou um pico máximo de 41°C. Já as composições com 15% e 25% de cinza volante, tiveram picos de 38 e 39°C respectivamente. As composições com NTCs apresentaram os maiores picos, sendo 42°C para 0,15% e 42,5°C para 0,3%.

A redução do calor de hidratação nas composições com cinza volante, é explicada pelas reações mais lentas características da pozolana, conferindo a essas composições uma energia de ativação mais baixa do que o concreto de referência. O aumento do calor de hidratação nas composições com NTCs pode ser explicado pela sua maior condutividade, o que possibilitou que a temperatura aumentasse de forma mais acentuada, gerando um maior pico de calor.

7. CONCLUSÃO

Foi constatado a partir dos estudos feitos que, a adição de NTCs e da substituição de parte do cimento por cinza volante, alteram as propriedades de Resistência à compressão e resistividade elétrica no concreto.

As alterações da resistência se dão pelas reações pozolânicas da cinza volante e provavelmente pelo melhor empacotamento das partículas com o uso de NTCs. Já a resistividade elétrica é alterada pela condutibilidade dos NTCs e pelos subprodutos da reação da pozolana.

Já a diferença nos picos de calor de hidratação gerado nas composições, se deu principalmente pelas reações mais demoradas da pozolana e provavelmente pela maior condutividade dos NTCs, que precisa ser melhor estudado.

Pontos positivos podem ser destacados, como relação à resistência a compressão, os NTC de aumentam, enquanto com a cinza inicialmente é menor, porem com o tempo tende a igualar ou superar o concreto referencia. Como ponto negativo, destaca-se o fato da resistividade diminuir com a adição de NTC, aumento a probabilidade de corrosão das armaduras.

8. Referencias

ANDRADE, C**. Calculaltion of initiation and propagation periods of servisse life of reinforcement by using the eletrical resistivity**. In international symposium on Advances in Concrete througth Science and Engineering, RILLEM, 2004. p. 1-8.

CARVALHO, A. G.; "**Energia de Ativação dos Concretos: Experimentação e Modelagem**". 144 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro: 2002**.**

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto,** Inspeção e técnicas eletroquímicas – editora UFG, Goiânia, Goiás 1997

COELHO, N. A. , PEDROSO, L. J. , RÊGO, J. H. S. , NEPOMUCENO, A, A. **A influência das propriedades térmicas do concreto na construção de barragens de gravidade. XXIX Seminário nacional de grandes barragens, CBB, 2013.**

HOPPE, T, F. **Resistividade elétrica de Concretos Contendo Diferentes Teores de Cinza de Casca de Arroz –** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.

LI, Hui; XIAO, Hui-gang; OU, Jin-ping. **A study on mechanical and pressure-sensitive properties of cement mortar with nanophase materials**. *Cement and Concrete Research*, n. 34, p. 435-438, 2004.

MARCONDES, C. G. N., **Adição de nanotubos de carbono em concretos de cimento portland – absorção, permeabilidade, penetração de cloretos e propriedades mecânicas**, Dissertação apresentada ao PPEGCC da UFPR. – Curitiba, 2012.
MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Estrutura, propriedades e materiais**, 1. ed. São Paulo: PINI, 2008.

MAEKAWA, K., CHAUBE, R. AND KISHI, T.; "**Modeling of Concrete Performance, Hydration, Microstructure Formation and Mass Transport"**. 1ª ed. London: E & FN Spon, 1999.

MANN, M; SANTOS, I. M. R.; DAVIDOVICZ, S.; HIPÓLITO, V. M; CHRISTÓFOLLI, J. L. **Monitoramento da Temperatura – Bloco de Fundação Viaduto Estiado – Curitiba/PR**, Anais do 55º Congresso Brasileiro de Concreto, 2013.

MATTANA, A; PEREIRA, E; COSTA, M. R, M. **Influência dos constituintes do revestimento de argamassa sobre as suas propriedades reológicas** – www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas - DOI: 10.5212 – Ponta Grossa, Paraná, 2013.

MELO, V. S., **nanotecnologia aplicada ao concreto: efeito da mistura física de nanotubos de carbono em matrizes de cimento portland.** Disertação apresentada a PPCC da UFMG, 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Tradução de: GIAMMUSSO, S. E. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

OLIVEIRA, C. A. S. **Avaliação Microestrutural e Comportamento Físico e Mecânico de Concretos de Alto Desempenho Produzidos com Metacaulim –** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007

RECENA, F. A. P; **Método de Dosagem de Concreto pelo Volume de Pasta com Emprego de Cinza Volante** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre 2011

SANTOS, L; **Avaliação de resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto** – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2006