



ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE NANOSÍLICA

DIAS, Alexandre Rodrigues¹

PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento²

RESUMO: O desempenho do concreto depende do seu comportamento nos estados fresco e endurecido. Geralmente, estudos de mistura com nanosílica são voltados para análise do desempenho no estado endurecido e são fundados no uso da adição mineral em grãos secos. Diante disso, este artigo tem o objetivo de avaliar os efeitos do uso de adição da nanosílica quanto à consistência e resistência à compressão do concreto aos 28 dias. Nesse artigo, foram dosadas quatro misturas com os mesmos materiais e traços idênticos diferenciando apenas a porcentagem de nanosílica na mistura. A mistura sem adição de nanosílica, nomeada como concreto convencional (CC) foi utilizada como referência para análise com as outras misturas de concreto com adição de nanosílica, nomeadas de CnS 5%, CnS 10% e CnS 20%, onde o numerado representa a porcentagem de aditivo nanosílica adicionado no concreto como substituição de cimento. Os resultados mostraram que o concreto convencional sem adição de nanosílica apresentou o melhor índice de consistência e trabalhabilidade, entretanto o concreto com 10% adição de nanosílica apresentou melhores resultados de resistência mecânica à compressão sendo até 5% mais resistente, já os demais concretos com adições de nanosílica (CnS 5% e CnS 20%), apresentaram resistências inferiores ao concreto convencional.

Palavras-chave: concreto, nanosílica, resistência à compressão.

¹MBA, Engenheiro Mecânico Alexandre Rodrigues Dias, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: rodriguesdiasalexandre@gmail.com.

²Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres, Mestre, Engenheira Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.



1. INTRODUÇÃO

O consumo médio do concreto é de 1,9 toneladas por habitante por ano, sendo o concreto o segundo material mais consumido no mundo, ficando atrás apenas do consumo de água. Isso faz com que esse material construtivo esteja presente desde casas de alvenaria, pontes, edifícios, e até em plataformas de extração petrolífera móveis (PEDROSO, 2009 apud *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), 2009).

Para Mehta e Monteiro (2014), o índice de consumo do concreto é muito maior do que 50 anos atrás. Estima-se que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 19 bilhões de toneladas por ano, sendo cinco vezes o consumo do aço utilizado na construção civil.

Com o avanço da tecnologia e o surgimento de uma nova ciência dos materiais cimentícios e seus aditivos, o concreto deixou de ser uma simples mistura de cimento, água e agregados, dando origem aos concretos modernos onde cada vez mais, há a necessidade de atender exigências construtivas por qualquer que seja o tipo de aplicação. Esses concretos modernos são resultado de uma nova ciência dos materiais cimentícios e de seus aditivos que estão cada vez mais sendo utilizados sendo eles, aditivos minerais, aditivos orgânicos, aditivos inorgânicos e fibras, Gleize (2011).

A propósito, a Nanociência e nanotecnologia exploram as propriedades e os fenômenos, que ocorrem numa escala na qual a matéria tem um comportamento especial devido aos efeitos quânticos que prevalecem até 10 nm e na qual predominam os efeitos das altíssimas superfícies e interfaces. O refino da estrutura dos materiais ou a incorporação de nano objetos permite o aumento da superfície específica e a reatividade, que geram vantagens em termos de reforços e de eficiência. Mais do que uma simples utilização, o controle da matéria na escala nanométrica abre, sobretudo enorme perspectiva na possibilidade de criar materiais, dispositivos e sistemas com novas funções e propriedades (GLEIZE, 2007).

Gleize (2007), comenta que a melhoria da coesão, diminuição da fluência, redução da fissuração nas primeiras idades, aumento simultâneo da resistência e da ductilidade, aumento da velocidade de ganho de resistência, melhoria do desempenho do cimento, aumento da durabilidade multifuncionalidade são alguns exemplos, que ilustram o papel crítico que a nanotecnologia pode ter em áreas que foram identificadas e que foram limitantes do uso de materiais cimentícios.

Portanto, com essas informações apresentadas, a justificativa da realização deste trabalho é devido ao fato do surgimento de novos produtos de adição a serem incorporados ao concreto, em especial aos nanotecnológicos, que por sua vez, pretendem revolucionar o uso do concreto nos próximos anos. O desenvolvimento destes novos materiais, técnicas e procedimentos visa um ganho na vida útil das construções, contribuindo ao mesmo tempo à redução do consumo de recursos naturais limitados e à redução no volume de resíduos depositados no meio ambiente.

No entanto, o motivo da realização deste trabalho será responder se a adição de nanosílica em baixa proporção no concreto, resulta em aumento na resistência à compressão do concreto.

O trabalho limita-se em realizar a moldagem de corpos de prova padrão, ou seja, sem adição de nanotecnológicos, moldagem de corpos de prova com diferentes proporções de adição de nanosílica, utilizando o mesmo traço de concreto, realizar o rompimento destes corpos e, portanto, realizar a comparação entre as resistências. Diante disso e, conforme informações apresentadas anteriormente, este trabalho terá como objetivo geral a comparação de resistência à compressão entre concreto convencional e com adição de nanosílica nas porcentagens de 5%, 10% e 20% em relação à massa de cimento.

Salienta-se que para que este trabalho científico possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos serão propostos:

- a) Determinar a resistência à compressão axial para o concreto convencional e concreto com adição de nanosílica;
- b) Realizar um comparativo entre a resistência à compressão do concreto convencional e concreto com adição de nanosílica;
- c) Identificar qual das porcentagens utilizadas 5%, 10% e 20% é mais vantajosa em termos de resistência à compressão axial no concreto.



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto

Conforme Helene e Andrade (2010), o concreto é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente material para construção de estruturas, pode ser considerado com uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), “concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água”.

2.2 Materiais Constituintes

2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é o produto obtido pela pulverização do *clinker* constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, sulfato de cálcio natural e, eventualmente, adições de outras substâncias, as quais modificam suas propriedades. Este *clinker* é definido como um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação da mistura dos materiais citados até a temperatura de sua fusão incipiente (BAUER, 2000).

Os componentes essenciais, que constituem o cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3). Contém ainda, em menor proporção, magnésia (MgO), anidro sulfúrico (SO_3) e outros. No processo de fusão, que resulta no *clinker*, ocorrem combinações químicas, cujas formam quatro compostos: o silicato tricálcico (C_3S), maior responsável pela resistência em todas as idades, o silicato bicálcico (C_2S), que tem maior importância no processo de endurecimento em idades mais avançadas, o aluminato tricálcico (C_3A), que contribui para a resistência no primeiro dia e para o calor de hidratação no início do período de cura e, o ferro aluminato tetracálcico (C_4AF), que coopera para o aumento da resistência química do concreto (BAUER, 2000; ABCP, 1984).



2.2.2 Água

Isaia (2011), afirma que a água é um componente vital para o concreto porque, juntamente com o cimento, produz a matriz resistente, que aglutina os agregados e confere a compacidade da matriz para dotar as estruturas de durabilidade e vida útil prevista em projeto.

Para Yazigi (2007), a água torna a mistura suficientemente trabalhável, facilita seu transporte, lançamento e adensamento reagindo quimicamente com o cimento. O excesso de água permanece na mistura até evaporar, deixando canais capilares e pequenas bolhas no produto. Quanto mais água existir, maior será o número de vazios e tendência de uma mistura menos resistente.

2.2.3 Agregados

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), agregados são materiais pétreos, obtidos por fragmentação artificial ou fragmentados naturalmente, com propriedades adequadas, possuindo dimensões nominais máxima inferior a 152 mm e mínima superior ou igual a 0,075 mm.

Bauer (2000), define os agregados como materiais particulados, incoesivos, de atividade química praticamente nula, constituídos de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. Eles podem ser classificados segundo a origem, em naturais ou industrializados, segundo as dimensões das partículas, em miúdos (de 75 μm a 4,8 mm) ou grãos (de 4,8 mm a 50 mm) e segundo o peso específico, em leves (massa específica M.E. < 1 g/cm^3), médios ($1 \leq \text{M.E.} \leq 2 \text{ g/cm}^3$) ou pesados ($\text{M.E.} > 2 \text{ g/cm}^3$).

Dentro do concreto, os agregados têm influência tanto do ponto de vista técnico, quanto do econômico. Eles exercem influência sobre características importantes como a redução de retração, o aumento da resistência aos esforços, a durabilidade e outros (BAUER, 2000).

2.2.4 Adições Minerais

Conforme Mehta e Monteiro (2014), as adições minerais são geralmente materiais silicosos finamente divididos, normalmente adicionados ao concreto em quantidades variadas, desde 6% até 70% por massa do material cimentício total. Embora as pozolanas naturais em estado bruto ou após ativação térmica sejam usadas em algumas partes do mundo, devido a



aspectos econômicos e ambientais, muitos subprodutos industriais têm se tornado fonte primária de adições minerais no concreto.

Segundo Bauer (2000), as adições são materiais pétreos minerais ou terras finamente moídas, que adicionados ao concreto, durante seu preparo, podem modificar suas características físicas e mecânicas. Podem ser inertes, cimentantes, pozolantes e agentes de cristalização. Os efeitos da aplicação desses materiais são diversos e variam com sua natureza característica, proporcionalidade e em relação ao concreto a que está sendo adicionado, como aumento da resistência, aumento ou diminuição da trabalhabilidade e maior proteção a agentes agressivos.

2.1.3 Nanotecnológicos

Segundo Zhu *et al.* (2004), a nanotecnologia aplicada aos materiais cimentícios permanece ainda em sua fase exploratória e esforços vêm sendo realizados, principalmente nas questões do entendimento dos fenômenos e o aprimoramento dos materiais/produtos, já existentes. Diversos materiais nanoparticulados de (TiO_2 , SiO_2 , CaCO_3) vêm sendo utilizados com o propósito de desenvolver novos materiais/revestimentos funcionais para o uso na construção civil.

De acordo com Gonçalves (2009), “o conhecimento à escala nanométrica dos materiais promove o desenvolvimento de novas aplicações e produtos para melhorar as propriedades dos materiais em geral”. Na indústria da construção, a nanotecnologia tem enorme potencial para melhorar muitos materiais, sendo aplicada em aços estruturais, polímeros, materiais cerâmicos, materiais cimentícios e materiais de revestimento.

Ge e Gao (2008), salientam que a nanotecnologia, pela sua capacidade de gerar produtos com características especiais, pode e deve ser explorada em várias áreas da construção civil. Entre as aplicações sugeridas, os autores destacam a melhora nas propriedades dos materiais cimentícios, a produção de elementos estruturais mais leves e resistentes, o aumento da refletividade de vidros, melhores isolamentos térmicos e acústicos, além da produção de revestimentos, que exijam menor nível de manutenção.

Solobev e Gutiérrez (2005), afirmam que as nanopartículas possuem uma grande área de superfície quando comparadas às matérias-primas tradicionais. Essa característica é responsável devido à alteração das propriedades do material no estado fresco e endurecido



quando comparado às adições convencionais. No entanto, a adição de nanopartículas em substituição parcial do cimento tem adquirido atenção crescente nos últimos anos.

2.1.3.1 Nanosílica

Senff (2009), considera que a nanosílica (nS) pode ser definida como partículas de sílica em tamanho nanométrica possuindo como algumas das matérias primas a areia e o quartzo, sendo assim uma adição mineral nanotecnológica. O ganho de resistência e durabilidade dos materiais cimentícios é possível através das reações pozolânicas com o hidróxido de cálcio resultando em silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

Senff (2009), apresenta que o papel das nanopartículas de dióxido de silício (SiO_2) tem como objetivo melhorar a microestrutura e ser um ativador para acelerar as reações pozolânicas do compósito, visto que as pozolanas agregam ao concreto características como menor calor de hidratação, melhor resistência ao ataque ácido, maior durabilidade, exigência do uso de aditivos redutores de água e menores resistências iniciais.

Desse modo, em seu trabalho experimental, no qual houve a adição de nanosílica ao concreto, Senff (2009), concluiu que com a presença desse nanomaterial, houve uma redução do tempo de pega inicial; por outro lado, o efeito combinado entre a elevada reatividade da nanosílica favoreceu sua performance quando comparado ao concreto sem adição. O autor ainda relata que nas idades iniciais, a elevada reatividade contribuiu para o desenvolvimento da resistência à compressão, enquanto para as idades mais avançadas, o efeito físico pode melhorar a densificação do material, destacando que a máxima resistência à compressão é dependente da quantidade de água adicionada.

Cabe destacar que, apesar dos benefícios gerados pela adição de nanossílica no concreto, serem comprovados por vários pesquisadores estrangeiros, a concentração desta substância deve ser controlada e, em geral, não deve ultrapassar 5 a 10% em peso de cimento utilizado, de acordo com (QUERCIA e BROUWERS, 2010).

Dinten (2000), explica ainda que não há um consenso sobre o teor ideal de adição de nanossílica, mas que os valores geralmente variam entre 2 e 5% em massa de cimento utilizada, o que resulta, em geral, em valores de resistência à compressão aos 28 dias entre 30 e 90 MPa.



3. METODOLOGIA

A pesquisa trata de um estudo experimental com o objetivo de analisar a influência da nanosílica como substituição parcial do cimento.

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado para a produção dos corpos de prova foi o Cimento Portland de pega rápida (CPII-E-32). Suas características químicas, físicas e mecânicas são as especificadas na NBR 5733 (ABNT, 1991).

3.1.2 Agregados

O agregado miúdo utilizado foi areia natural média e o agregado graúdo foi a brita 1 de origem basáltica, com dimensão máxima de 19 mm, tendo as suas características granulométricas obtidas conforme recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

3.1.3 Água

A água de amassamento para a produção dos concretos foi a disponibilizada pela rede de abastecimento da cidade de Cascavel/PR.

3.1.4 Nanosílica

O nanomaterial utilizado para a elaboração do experimento foi a nanosílica extraída através do processamento do vidro sendo necessário realizar em várias etapas até obter as partículas em escala nanométrica. O material utilizado foi adquirido em estado sólido com aparência de pó branco, densidade de 2,2 g/cm³ e granulometria na escala de 40 micra.

3.1.2 Traços de concreto

O traço unitário adotado para a realização dos ensaios foi na proporção de 1:2,5:3,5 sendo cimento, areia e brita, respectivamente e relação água/aglomerante de 0,52, abatimento de 100±20 mm, para se obter uma resistência de 30 MPa na idade de 28 dias.



Para tanto, foram produzidos quatro tipos de concreto, sendo um de referência, considerado como concreto convencional, e outros três com substituição do cimento por nanosílica na proporção de 5%, 10% e 20%. A Tabela 1 apresenta a dosagem dos materiais em kg/m^3 para os concretos estudados.

Tabela 1: Consumo de materiais (kg/m^3).

AGREGADO	MASSA ESPECÍFICA
Cimento	221,79
Areia	554,47
Brita	776,26
Água	115,33
5% nanosílica	11,09
10% nanosílica	22,18
20% nanosílica	44,36

Fonte: Autor (2020).

3.1.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para cada concreto, especificados como CC (concreto convencional), CnS 5 (concreto com 5% de substituição), CnS 10 (concreto com 10% de substituição) e CnS 20 (concreto com 20% de substituição), foram moldados seis corpos de prova cilíndricos com dimensões 10 cm de diâmetro de 20 cm de altura, totalizando vinte e quatro amostras e que foram produzidas conforme especificações para moldagem e cura dos corpos de prova prescritos pela NBR 5738 (ABNT, 2015).

Após todos os materiais serem pesados, foram acondicionados separadamente. Para o processo de mistura, inicialmente foi umedecida a betoneira, em seguida, com a betoneira ligada, adicionaram-se os agregados graúdos juntamente com $\frac{1}{4}$ da água. Na sequência, acrescentou-se o cimento com mais $\frac{1}{4}$ de água e após a mistura dos materiais, acrescentou-se o agregado miúdo com a parcela restante de água, misturando até homogeneização dos materiais.

Após o processo de mistura, foi realizado ensaio de determinação da consistência por abatimento de tronco de cone, regulamentada pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). Em seguida, os corpos de prova foram moldados e protegidos por um período de 24 horas até a sua desmoldagem, os quais foram armazenados em uma câmara úmida com umidade e temperatura controladas, por um período de 28 dias, idade da realização dos ensaios.

3.1.4 Ensaio de resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado de acordo com as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018), em que através do rompimento aos 28 dias, foram analisados os resultados de resistência à compressão.

Antes do início da realização dos ensaios, para garantir a planicidade das amostras, foi realizado um desgaste superficial com uso de retífica. Os ensaios foram realizados por meio de uma prensa hidráulica com modelo máquina universal 100t com fabricante Contenco a partir da aplicação de uma força centrada na parte superior do corpo de prova e com base fixa.

O valor de resistência à compressão foi obtido após a ruptura dos corpos de prova sendo indicado no próprio sistema da prensa.

4. RESULTADOS e DISCUSSÕES

Os dados obtidos foram organizados em tabelas e gráficos. Foi realizada a média aritmética dos resultados e a análise sucedeu através da comparação dos resultados obtidos para os diferentes concretos estudados, possibilitando assim, determinar qual a porcentagem é a mais eficiente em termos de resistência quando comparada ao concreto convencional.

Após realizar o abatimento nos traços com adição de nanosílica, percebeu-se que houve uma redução da trabalhabilidade do concreto. Para tanto, foi adicionado mais 500 ml de água nos concretos com aditivo mesmo sabendo que a adição de água poderia acarretar na diminuição na resistência do concreto. O quadro 1 apresenta o abatimento de cada dosagem, a nova relação água/cimento e o abatimento após a adição de mais água na amostra.

Quadro 1: Nova relação água/cimento e abatimento.

Adição de nanosílica	Relação A/C	Abatimento (mm)	Nova relação A/C	Abatimento (mm)
0%	0,52	115	-	-
5%	0,52	62	0,64	83
10%	0,52	56	0,64	90
20%	0,52	51	0,64	94

Fonte: Autor (2020).

Mesmo com a variação no abatimento, todas as amostras permaneceram dentro do limite determinado no trabalho para abatimento de 100 ± 20 mm. Após a cura, os corpos de provas foram rompidos em uma prensa de ensaio de compressão axial e os resultados das amostras com e sem adição de nanosílica, encontram-se no quadro 2.

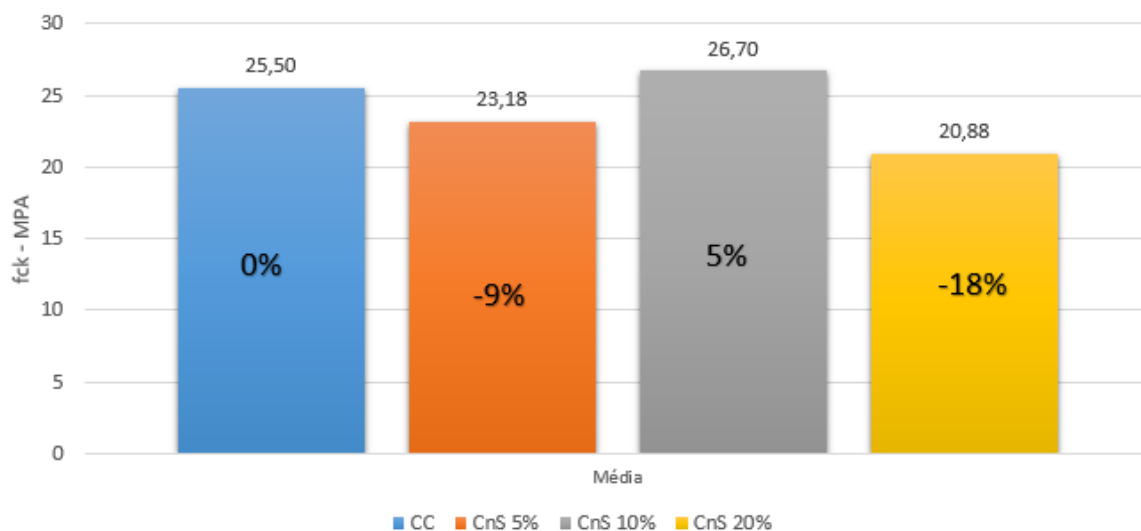
Quadro 2: Resistência a compressão axial.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL (MPa)				
	CC	CnS 5%	CnS 10%	CnS 20%
cp1	23,4	22,4	27,8	20,3
cp2	26,4	23,1	26,4	19,2
cp3	25,7	24,6	26,2	21,3
cp4	25,4	23,7	25,7	22,8
cp5	26,2	24,1	26,9	19,4
cp6	25,9	21,2	27,2	22,3
Média	25,50	23,18	26,70	20,88
Variação	0%	-9%	5%	-18%

Fonte: Autor (2020).

Os resultados demonstraram que em todos os casos onde houve adição de nanosílica, sofreram alterações nas propriedades de resistência à compressão. Com os dados dos rompimentos dos corpos de provas com e sem adição de nanosílica aos 28 dias de cura, foi possível elaborar o gráfico da Figura 1, representando a média aritmética dos 06 valores de resistências à compressão de cada concreto comparando com os demais traços do concreto, ou seja, foi realizado uma média aritmética simples realizando uma soma dos seis resultados de resistência à compressão axial para cada traço e dividido por seis, o fck está representado com valores na escala de MPa e variação de resistência entre os concretos em porcentagem, adotando como referência o traço sem adição de nanosílica.

Figura 1: Comparação entre resistências a compressão axial e teor de aditivo nanosílica.



Fonte: Autor (2020).

Percebe-se que o concreto sem adição para o concreto com adição de 5% de nanosílica, a resistência reduziu em torno de 9%. Já, para o concreto com 10% de adição, o ganho de resistência foi de 1,2 MPa representando uma variância de + 5%. Entretanto, para o concreto com 20% de adição de material nanotecnológico, a resistência à compressão reduziu expressivamente em menos 18% comparado com a amostra padrão sem aditivo sendo uma variação significativamente alta.

Com relação ao apresentado acima e analisando a resistência a compressão do concreto com o uso deste nanomaterial, o mesmo não demonstrou justificativas para o uso. Esperavam-se ganhos de resistências mais expressivos para as amostras com 5, 10 e 20% de aditivo mesmo com o aumento da relação água/cimento. Como não houve esse ganho e, sim, uma redução exceto para o traço com 10%, não é possível afirmar se, isto é, devido à maior relação água/cimento, da quantidade de nanosílica, ou mesmo a redução da quantidade de cimento no concreto.

5. CONCLUSÃO



Para a realização do estudo com o uso da nanosílica no concreto convencional, foram feitos ensaios de resistência à compressão axial sem e com adição com três diferentes porcentagens de nanosílica (5, 10 e 20%) de substituição de cimento com idade de rompimento aos 28 dias obtendo assim o FCK do concreto.

A propósito, com a realização dos ensaios, foi possível perceber que a adição de nanosílica diminui a trabalhabilidade do concreto necessitando de aumento da relação água/cimento ou mesmo algum aditivo específico para manter as características ideais de consistência do concreto.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de compressão axial dos corpos de provas cilíndricos e analisando os gráficos elaborados, pode-se afirmar que a dosagem que apresentou melhor desempenho em relação aos outros traços foi a com adição de 10% de nanosílica. Mesmo assim, seu ganho de desempenho não foi tão significativo comparado com o traço sem adição. As demais dosagens com 5% e 20% de nanosílica apresentaram resultados insatisfatórios, não sendo possível afirmar se isto é decorrente da adição do material, da relação água/cimento para as misturas ou mesmo pela idade tardia de compressão.

Destaca-se que a pesquisa realizada diz respeito apenas ao uso de nanosílica no concreto quanto ao aumento da resistência no concreto, não cabendo discussões quanto aos benefícios econômicos em relação aos insumos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Caracterização mineralógica por microscopia de luz transmitida, difratometria de raios-X e análise termodiferencial e termogravimétrica.** Relatório nº 1266. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5733. **Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5738. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739. Concreto –Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7211. Agregados para Concreto –Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5ª ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BRUNAUER, S.; COPELAND, L. E. **The Chemistry of concrete, Scientific American.** Vol.210, nº 4. 1964.

DINTEN, C. A. M. **Contribuição da Adição de Sílicas nas Propriedades do Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. 133 p.

GE, Z.; GAO, Z. **Applications of Nanotechnology and Nanomaterials in Construction.** In: ICCIDC – International Conference on Construction in Developing Countries - Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice, 1, 2008, Karachi, Pakistan. Anais... Miami: Florida International University, 2008.

GLEIZE, P. J. P. **Nanociência e nanotecnologia dos materiais cimentícios.** In: ISAÍÁ, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia.** 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

_____. **Nanotecnologia e materiais de construção.** In: Isaia, G.C.(Ed). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** V.2, São Paulo:IBRACON, 2007. p.1659-1685.

GONÇALVES, J. J. P. **Difusão de Compostos Orgânicos Voláteis em Materiais de Construção: Influência da microestrutura.** Dissertação (Mestrado em Física dos Materiais Avançados) – Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2009. 107 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON — Capítulo 29 Concreto de Cimento Portland Livro **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais** - Geraldo Cechella Isaia. 2010. Helene & Andrade. 2010.

ISAIA, G.C. **Concreto: ciência e tecnologia.** Ed. Arte Interativa. – São Paulo: IBRACON. 2011, 1 ed.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais.** 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.



_____. **Concreto: Microestrutura Propriedades e Materiais.** 3ª ed. São Paulo: Pini, 2008. 674 p.

MINDESS, S; YOUNG, J. F. **Concrete.** New Jersey: Prentice-Hall, 1981. 671 p.

PEDROSO, F.L. **Concreto & Construções:** Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. 53.ed. São Paulo: IBRACON, 2009, Jan-Fev-Mar.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland.** 13 ed. São Paulo: Globo, 1998.

QUERCIA, G.; BROUWERS, H. J. H. **Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures.** In: International PhD Symposium in Civil Engineering, 8, 2010, Lyngby, Dinamarca. Anais... Copenhagen: DTU – Denmark Technical University, 2010.

SENFF, L. **Efeito da adição de micro e nanossilica no comportamento reológico e propriedades no estado endurecido de argamassas e pastas de cimento.** Florianópolis, 2009. 192 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina.

SOBOLEV, K., GUTIÉRREZ, M. F. **How nanotechnology can change the concrete world: Part 2.** American Ceramic Society Bulletin, Westerville, Ohio, EUA, vol. 84, n. 11, p. 16-19. 2005.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998. 255 p. Relação entre o tamanho e a área da superficial da partícula (SOLOBEV & GUTIÉRREZ, 2005).

YAZIGI, W., **A Técnica de Edificar.** São Paulo: Pini 2007. p. 256

ZHU, W., BARTOS, P. J. M. e PORRO, A. **Application of nanotechnology in construction.** Summary of a state-of-the-art report. Materials and Structures/Matériaux et Constructions, v. 37, p. 649-658, 2004.