

Influência da Mistura de Agregados Graúdos, Resíduo de Corte de Mármore e Granito e Metacaulim e Aditivos no Desempenho Mecânico do Concreto

Influence of Coarse Aggregates, Marble and Granite Cut Waste and Metakaolin and Additives on the Mechanical Concrete Performance

Diogenes Magri da Silva

Universidade Estadual de Londrina, Programam de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Edificações e Saneamento. PR, Brasil.
E-mail: magri1982@yahoo.com.br

Resumo

A evolução dos estudos com relação às propriedades do concreto permitiu que os materiais fossem dosados de forma racionalizada, incluída a incorporação de resíduos provenientes do corte de mármore e granitos em sua produção, bem como foram desenvolvidos produtos específicos para melhorar seu desempenho. Neste trabalho produziu-se um concreto com intuito de estudar as propostas para melhorar o desempenho mecânico. Foi avaliada a influência da mistura de dois tipos de agregados graúdos de mesma origem mineralógica, a substituição de agregado miúdo por Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG) e a adição de Metacaulim, fibras e aditivos visando elevar a resistência mecânica com relação ao traço de referência. Para tanto, foram realizados ensaios de resistência à tração e à compressão aos sete dias. Com os resultados obtidos foi possível perceber que a utilização de Metacaulim associada a um aditivo superplastificante apresentou o melhor desempenho, aumentando em 50% a resistência à compressão e não afetando a resistência à tração.

Palavras-chave: Concreto. Desempenho Mecânico. Resíduo de Corte de Mármore e Granito. Aditivos.

Abstract

The evolution of studies about properties regarding the concrete proprieties allowed that the materials were measured in a streamlined way, including the incorporation of waste originating from marble and granite cut in its production, as well as specific products were developed to improve its performance. In this work a concrete of reference was produced with the goal to study theproposals to improve its mechanical performance. It was evaluated the influence of a mixture of two types of coarse aggregates from the same mineralogical origin, the replacement of fine aggregate by Marble and Granite Cut Waste (MGCW) and addition of Metakaolin , fibers and additives in order to increasethe mechanical strength comparing to the concrete of reference. Therefore, tensile and compression tests were performed at seven days. With the results obtained it was possible to realize that the use of Metakaolin associated with super plasticizer additive exhibited the best performance, rising 50% the resistance to compression and not affecting the tensile resistance.

Keywords: Concrete. Mechanical Performance. Marble and Granite Cut Waste. Additives.

1 Introdução

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a escolha dos materiais apropriados e os métodos de dosagem são fundamentais para a produção de concretos que atendam às especificações de resistência e durabilidade das estruturas, como o menor custo possível. O concreto é o material mais aplicado nas estruturas correntes no Brasil, sendo este composto basicamente por: cimento, água e agregados, miúdos e graúdos (MORETTI, 2010).

Para confecção do concreto há necessidade da adição de cimento, e existem no Brasil vários tipos de cimento Portland, em função da sua composição. O cimento Portland de alta resistência inicial é designado pela sigla CPV-ARI. Devido à dosagem com calcário e argila na produção do clínquer e moagem mais fina, ao reagir com a água adquire resistência com maior velocidade (ABCP, 2002). Outros componentes são os agregados, estes destinados à produção de concretos de cimento Portland, estes devem atender aos requisitos prescritos pela ABNT NBR 7211: 2005 – Agregados para concreto – Especificação.

Para Mehta e Monteiro (1994), além da resistência dos agregados, o tamanho, a forma e a textura da superfície e a granulometria (distribuição e mineralogia) influenciam nas propriedades do concreto, dentre estas a resistência, outrossim a escolha do agregado graúdo é a mais complexa, visto que as propriedades físicas, químicas e mineralógicas afetam, consideravelmente, as propriedades mecânicas do concreto, tais como resistência e durabilidade (CORDEIRO, 2001).

De Cordeiro (2001), os agregados graúdos menores são mais resistentes que os agregados maiores, visto que durante o processo de britagem, as rochas quebram nas zonas fracas. Desta forma, quanto menor o agregado graúdo utilizado menor será a incidência de zonas fracas. Dito isto, a resistência é considerada, geralmente, como a propriedade mais importante do concreto, pois permite ter uma ideia de sua qualidade (NEVILLE, 1997).

Face ao exposto e, principalmente, em função do conhecimento dos materiais e do método de dosagem empregados, iniciou-se a incorporação de novos materiais, como a adição de minerais, de aditivos químicos, de polímeros

e de fibras ao concreto para melhoria de propriedades (MORETTI, 2010).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo verificar a influência dos fatores: mistura de dois tipos de agregados graúdos de mesma origem mineralógica, adição do resíduo de corte de mármore e granito como agregado miúdo, adição de Metacaulim e aditivos na resistência mecânica do concreto elaborado com o mesmo traço.

2 Material e Método

2.1 Adições minerais

De acordo com a função físico-química, as adições minerais são classificadas em três grupos: material pozolânico, material cimentante e filer (DAL MOLIN, 2005).

Materiais pozolânicos são definidos pela NBR 12.653 (ABNT, 2012) como materiais silicosos ou silicoaluminosos que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente e formam compostos com propriedades aglomerantes.

Além das vantagens técnicas, como alterar as características do cimento Portland, as pozolanas possibilitam concretos com menor custo, devido à redução do grau de moagem ou pela possibilidade de substituição parcial do cimento (FREIRE; BERALDO, 2003).

Os materiais pozolânicos podem ter origem natural ou artificial. As pozolanas naturais são definidas pela NBR 12.653 (ABNT, 2012) como: “materiais de origem vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido ($\text{SiO}_2 \geq 65\%$) ou de origem sedimentar com atividade pozolânica”.

Conforme Mehta e Monteiro (2008), embora as pozolanas naturais ainda sejam utilizadas, em algumas partes do mundo, devido aos aspectos econômicos e ambientais, muitos subprodutos industriais têm se tornado fonte primária de adições minerais para o concreto.

Segundo Freire e Beraldo (2003), inúmeras são as vantagens da reutilização de resíduos industriais como cinzas em concretos. Essa utilização reduz o volume gerado em aterros sanitários e o risco de contaminação do meio ambiente pela disposição incorreta, além de reduzir o volume de extração de matérias-primas necessárias à produção dos aglomerantes. Com a redução da quantidade de cimento, consequentemente, diminuem-se os gases liberados durante a produção e a energia que é necessária no processo.

Nesse contexto, Gonçalves, Moura e Dal Molin (2002) verificaram em estudo que com a adição de 10% do resíduo de corte de granito, em relação à massa de cimento, o concreto apresentou um ganho médio de 8% na resistência à compressão e de 7,2% a tração, comparado ao traço de referência. Para a adição de 20% de resíduo a resistência à compressão aumentou em 19,6% e à tração 5,8%.

Segundo Moura, Gonçalves e Leite (2002), a utilização de 10% de resíduo de corte de mármore e granito em substituição a areia na produção de argamassa acarretou um aumento de

resistência mecânica.

2.2 Metacaulim

Outra forma de ajustar o desempenho do concreto é a adição do Metacaulim (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005).

O Metacaulim, produzido no Brasil desde o final da década de 1990, na região de Jundiá (SP), é obtido pela calcinação de um tipo específico de argila. Esta adição mineral proporciona reatividade com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento, efeito este denominado de reação pozolânica. A reação pozolânica reduz a porosidade e o teor de hidróxido de cálcio na matriz de cimento, assim como melhora a qualidade da zona de transição agregado-matriz, promovendo a melhora de desempenho das propriedades do concreto estrutural relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade (ROSSIGNOLO; OLIVEIRA, 2006).

Quian e Li (2001) incorporaram o Metacaulim nas porcentagens de 5%, 10%, e 15% ao concreto e comprovaram que a resistência à compressão aumenta em idades adiantadas. Houve, também, um aumento da resistência em longo prazo.

2.3 Aditivos

Os aditivos são definidos pela NBR 12655 (ABNT, 2006) como: “materiais adicionados ao concreto durante o processo de mistura em uma quantidade não superior aos 5% sobre a massa do cimento contido no concreto, para modificar as propriedades da mistura no estado fresco e/ou no estado endurecido”.

O motivo do grande crescimento do uso dos aditivos, segundo Neville (1997), é a capacidade de possibilitar melhorias nas propriedades do concreto.

De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), os aditivos químicos para usos em concreto de cimento Portland são classificados em: plastificantes ou redutores de água; aceleradores do tempo de pega; retardadores de tempo de pega; incorporadores de ar; superplastificantes; superplastificantes retardadores; e superplastificantes aceleradores de pega.

A utilização de superplastificantes tem como objetivo a redução da relação água/cimento e, consequentemente, melhorar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco (SANGALLI *et al.*, 2013).

De acordo com Grace (2014), os aditivos superplastificantes são líquidos isentos de cloreto, que possuem um efeito dispersante sobre as partículas de cimento, possibilitando a fabricação de concretos com relação água/cimento extremamente baixas, diminuindo, desta maneira, os poros no material endurecido.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), os concretos confeccionados com superplastificantes se comparados com os concretos confeccionados sem o aditivo possuem maior resistência à compressão. No entanto, podem incorporar ar ou retardar a pega, diminuindo a resistência à compressão nas primeiras idades.

2.4 Polímeros

Polímeros ou macromoléculas são compostos orgânicos construídos por encadeamento de um grande número de moléculas muito menores (MANO, 1985).

Em geral, segundo Candian (2007), os polímeros podem ser classificados de acordo com a origem, o grau de cristalinidade, a estrutura química, as características tecnológicas, o comportamento mecânico e o tipo de aplicação.

Os polímeros podem ser classificados em relação à origem em:

- Naturais: aqueles obtidos diretamente da natureza, como a celulose;
- Artificiais: aqueles que sofreram processo de modificação química dos polímeros naturais, como o celulósido;
- Sintéticos: aqueles que foram produzidos mediante o processo de polimerização, como as resinas fenólicas.
- Quanto ao grau de cristalinidade:
- Amorfo: as moléculas de um polímero amorfo estão ordenadas aleatoriamente;
- Cristalinos: possuem fortes interações moleculares, sendo mais duros e resistentes.

Quanto à estrutura química:

- Composição molecular: são produzidos por meio de uma reação química conhecida por polimerização, que consiste na combinação de moléculas de monômeros, que podem ser iguais (homopolímeros) ou diferentes (copolímeros);
- Estrutura química dos meros que constituem o polímero, como: poliolefinas, poliésteres, poliéteres, poliamidas, polímeros celulósicos, polímeros acrílicos, polímeros vinílicos, poliuretano e resinas farmaldeídicas;
- Estrutura molecular, podendo ser: linear, ramificada ou reticulada.

Quanto às características tecnológicas:

- Termoplásticos: são materiais que necessitam de calor para se tornarem moldáveis e, quando resfriados, adquirem a forma geométrica na qual foram moldados;
- Termorigidos: são plásticos que, após o processo de cura, providos ou não de aquecimento, não podem ser reamolecidos por outro aquecimento, devido à formação de ligações cruzadas.

Quanto ao comportamento mecânico:

- Plásticos: são materiais que em algum estágio, durante a fabricação, adquiriram condição plástica, a fim de serem moldados;
- Fibras poliméricas: são termoplásticos orientados longitudinalmente, sendo que uma dimensão predomina sobre as demais;
- Borrachas: são materiais poliméricos amorfos, de origem natural ou sintética que exibem elasticidade em longas faixas de deformação, em temperatura ambiente.

Quanto ao tipo de aplicação:

- Plásticos de uso geral: assim designados por serem consumidos, em grande quantidade, além do baixo custo da resina, facilidade de processamento e por não necessitarem de elevado desempenho mecânico, para serem empregados;
- Plásticos de engenharia: são assim caracterizados por terem alto desempenho mecânico, apresentando diversas propriedades de engenharia, como rigidez, dureza, resistência ao impacto, entre outras. Além disso, o custo da matéria-prima é economicamente viável e não apresenta grandes dificuldades de processamento;
- Plásticos de uso especial: são os materiais desenvolvidos para atender determinados requisitos de serviço que, por terem maior dificuldade no processamento e maior custo

da resina, apresentam baixo nível de consumo, quando comparado com os demais.

2.5 Fibras

Além da crescente utilização dos polímeros, novas fibras artificiais vêm sendo estudadas e incorporadas ao concreto. Segundo Freire e Beraldo (2003), dentre as mais utilizadas para reforço de matrizes cimentantes, estão as fibras de vidro, as fibras de nylon, as fibras de polipropileno e as fibras de aço.

A fibra de polipropileno é uma fibra sintética, quimicamente inerte e resistente ao meio alcalino, não absorve água de amassamento, melhorando a estabilidade dimensional e, conseqüentemente, diminuindo fissuras de retração no material endurecido (BAUTECH, 2014).

De acordo com Freire e Beraldo (2003), as fibras de polipropileno possuem a finalidade de reduzir a formação de microfissuras na fase de retração inicial, quando incorporadas ao concreto no estado fresco.

2.6 Metodologia

2.6.1 Dosagem do concreto de referência

O método de dosagem utilizado para produção do concreto de referência, denominado Concreto 0 (CON-0) foi o da ABCP/ACI publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento Portland como um Estudo Técnico intitulado: "Parâmetros de Dosagem do Concreto", constituiu-se em uma adaptação prática do método americano para as condições brasileiras. Esse método permite a utilização dos agregados, que se enquadram na norma ABNT NBR 7.211 (ABNT, 2005). O mesmo considera tabelas e gráficos elaborados a partir de valores médios de resultados experimentais (BOGGIO, 2007).

De acordo com o método, primeiramente, fixou-se a resistência de dosagem do concreto aos sete dias de idade em 20 MPa (C20).

Na seqüência escolheu-se o abatimento desejado do concreto em função do ensaio de abatimento, conforme prescrições da NBR NM 67 (ABNT, 1998). Essa consistência, de acordo com Boggio (2007), depende do tipo de peça estrutural e dos procedimentos de lançamento empregados durante a concretagem. Desta forma, fixou-se o abatimento em seis centímetros, conforme apresentado por Helene e Terzian (1992), para usos em pilares, lajes, vigas, sapatas, entre outros.

Os materiais para confecção do concreto foram:

- CPV- ARI com massa específica (ρ_{cp}) de 3,05 g/cm³;
- Areia média com massa específica (ρ_{arcia}) de 2,60 g/cm³.
- Brita 2 com dimensão máxima do agregado (DM) de 25 mm, massa específica (ρ_{b2}) de 2,90 g/cm³ e massa unitária compactada (ρ_{b2}) de 1,60 g/cm³;

A partir do exposto, obteve-se o traço unitário em massa de referência: 1:2,26:3,57, e uma relação água cimento de 0,57.

2.6.2 Produção dos concretos

Utilizando o traço de referência, foram preparadas cinco misturas de concreto com o objetivo de melhorar o desempenho mecânico do concreto elaborado com o traço referência.

Desta forma, foram definidas quatro propostas utilizando mistura de agregados, adição de pozolanas, aditivos e fibras.

Proposta 1 – Mistura de agregados graúdos

Para a proposta 1 foram elaborados dois tipos de concreto, em que se realizou a misturas com diferentes proporções de dois tipos de agregados graúdos de origem basáltica: Brita 1 (19 mm) e a Brita 2 (25 mm). As proporções adotadas e as respectivas nomenclaturas e siglas adotadas estão demonstradas no Quadro 1.

Quadro 1 - Proporções e nomenclaturas adotadas para o concreto da proposta 1

Nomenclatura	Sigla	Proporções de agregado graúdo
Concreto 1	CON-1	70% B1 + 30% B2
Concreto 2	CON-2	30% B1 + 70% B2

Fonte: Dados da pesquisa.

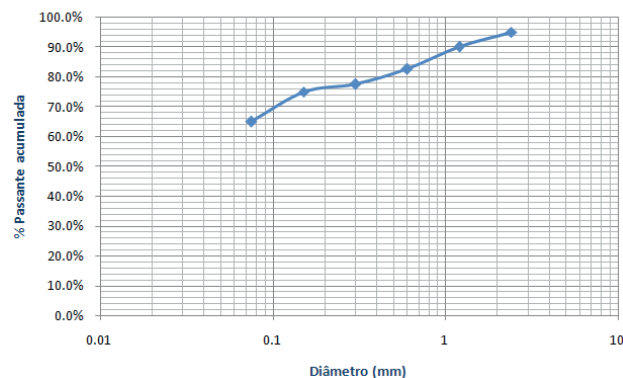
Proposta 2 – Substituição do agregado miúdo por resíduo de corte de mármore e granito

Neste estudo realizou-se a substituição de 10% da areia lavada de rio por resíduo de corte de mármore e granito-RCMG.

A caracterização do RCMG foi realizada por meio do ensaio para determinação da composição granulométrica, seguindo o procedimento descrito na NBR NM 248 (2003b). Como a quantidade de material pulverulento da amostra era significativa, também foi realizado o ensaio para determinação da quantidade de filer (partículas menores que 0,075 mm) segundo a NBR NM 46 (2003a). A curva granulométrica do resíduo utilizado é apresentada na Figura 1, em que se pode observar que 65% do material é constituído por partículas menores que 0,075 mm.

Figura 1 - Curva Granulométrica do resíduo utilizado

Curva Granulométrica - RCMG



Fonte: O autor.

O concreto elaborado com este resíduo foi denominado

concreto 3, e foi adotada a sigla CON-3.

Proposta 3 – Substituição do cimento por Metacaulim e uso de aditivo superplastificante

Para verificar a influência da utilização da Metacaulim e do aditivo Anchorbond sobre as propriedades do concreto realizou-se a substituição de 10% do cimento por Metacaulim e adição de 4% de Anchorbond – AR sobre a massa de cimento, mantendo-se a relação água cimento do traço de referência.

Este concreto foi designado pela sigla CON-4.

Proposta 4 – Uso de fibras de polipropileno, aditivo superplastificante e mudança na granulometria da areia e brita

Para a confecção deste concreto 5 (CON-5) foram realizados os seguintes procedimentos:

- Alteração do agregado miúdo na proporção: 50% areia grossa e 50% areia média;
- Alteração do agregado graúdo nas proporções: 20% de brita 0, 30% brita 1 e 50% de brita 2;
- Adição do aditivo superplastificantes, na proporção: 1,20 L para 100kg de Cimento ou 1,32% sobre a massa de cimento, conforme especificado pelo fabricante Grace do Brasil; (GRACE, 2014)
- Adição de fibras de polipropileno na proporção de 600g para 1m³ de concreto, conforme especificado pelo fabricante Bautech Brasil (BAUTECH, 2014).

2.6.3 Ensaios para verificação do desempenho mecânico do concreto

Os concretos foram confeccionados conforme procedimento prescrito pela ABNT NBR 12.655:2006.

Para o concreto de referência (CON-0), foram moldados vinte corpos de prova cilíndricos de dimensões 10cm x 20 cm. Para os demais concretos moldaram-se nove corpos de prova.

O ensaio de resistência à compressão uniaxial realizou-se conforme ABNT NBR 5.739 (ABNT, 2007). Para o traço de referência (CON-0) foram realizados ensaios nas idades de 7, 21 e 28 dias, sendo rompidos, respectivamente, 6 CPs, 3 CPs e 5 CPs. Para as propostas de interferência foram ensaiados 6 corpos de prova aos 7 dias.

O método de ensaio de resistência à tração do concreto seguiu as determinações prescritas pela ABNT NBR 7.222 (2009). Para o concreto de referência foram realizados ensaios de tração aos 7 e 21 dias, sendo rompidos 3 corpos de prova para cada uma das idades. Para as propostas foram rompidos 3 corpos de prova aos 7 dias.

A estimativa da resistência característica do concreto, à compressão e à tração, foi realizada por meio da Equação 1.

$$f_k = f_m - 1,65 \cdot S_d$$

Equação 1

Em que:

f_k = resistência característica à compressão;

f_m = resistência média à compressão;

S_d = desvio padrão.

3 Resultados e Discussão

3.1 Desempenho mecânico do concreto de referência

Os resultados dos ensaios de compressão e tração para o

concreto de referência são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Resultados do ensaio do concreto de referência CON-0

Idade	Ensaio	fm (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	fk (MPa)
7 dias	Compressão	24,81	1,56	22,24
	Tração	3,26	0,48	2,47
21 dias	Compressão	31,53	1,8	28,56
28 dias	Compressão	31,98	3,02	27,00
	Tração	3,95	0,67	2,84

Legenda: f: resistência; fm: resistência média, fk: resistência característica.

Fonte: Dados da pesquisa.

3.2 Desempenho mecânico dos concretos confeccionados com adições minerais, aditivos, fibras e mudanças na granulometria dos agregados

Proposta 1 – Mistura de agregados graúdos

Os resultados são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Resistência mecânica do CON-1 e CON-2.

Idade	Concreto	Proporções de agregado graúdo	Ensaio	fm (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	fk (MPa)
7 dias	CON-1	70% B1 + 30% B2	Compressão	33,98	2,90	29,21
			Tração	2,72	0,62	1,70
	CON-2	30% B1 + 70% B2	Compressão	31,43	2,01	28,11
			Tração	3,50	0,64	2,44

Legenda: f: resistência; fm: resistência média, fk: resistência característica.

Fonte: Dados da pesquisa.

A mistura dos agregados graúdos na proporção de 70% de brita 1 e 30% de brita 2 acarretou um aumento de 31% na resistência característica à compressão, e uma redução de 31% na resistência característica à tração. Na segunda mistura testada, 30% de brita 1 e 70% de brita 2, obteve-se um aumento de 26% na resistência característica à compressão, enquanto a resistência característica à tração manteve-se praticamente constante, diminuindo apenas 1% com relação à referência.

Proposta 2 – Substituição do agregado miúdo por resíduo de corte de mármore e granito

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Resistência mecânica do CON-3.

Idade	Ensaio	fm (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	fk (MPa)
7 dias	Compressão	27,71	1,13	25,85
	Tração	2,56	0,50	1,74

Legenda: f: resistência; fm: resistência média, fk: resistência característica.

Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se perceber que a adição de 10% de RCMG em substituição à areia ocasionou um aumento de 16% na resistência à compressão característica do concreto aos sete dias e uma redução de 42% na resistência característica à tração.

Proposta 3 – Substituição do cimento por Metacaulim e uso de aditivo Anchorbond

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Resultados do ensaio do CON-4

Idade	Ensaio	fm (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	fk (MPa)
7 dias	Compressão	34,97	0,94	33,42
	Tração	3,17	0,48	2,38

Legenda: f: resistência; fm: resistência média, fk: resistência característica.

Fonte: Dados da pesquisa.

Foi possível perceber que a adição de 10% de Metacaulim e de 4% de Anchorbond – AR, em substituição ao cimento Portland, no traço de referência, resultou na melhoria significativa do desempenho da resistência à compressão ocasionando um aumento de 50% na resistência característica à compressão do concreto aos sete dias. Com relação à resistência característica a tração, houve uma redução de 4% em relação ao concreto de referência.

Proposta 4 – Uso de fibras de polipropileno, aditivo Tecflow 7000 e mudança na granulometria da areia e brita

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Resultados do ensaio do CON-5.

Idade	Ensaio	fm (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	fk (MPa)
7 dias	Compressão	25,62	1,24	23,58
	Tração	2,01	0,15	1,76

Legenda: fm: resistência média, fk: resistência característica.

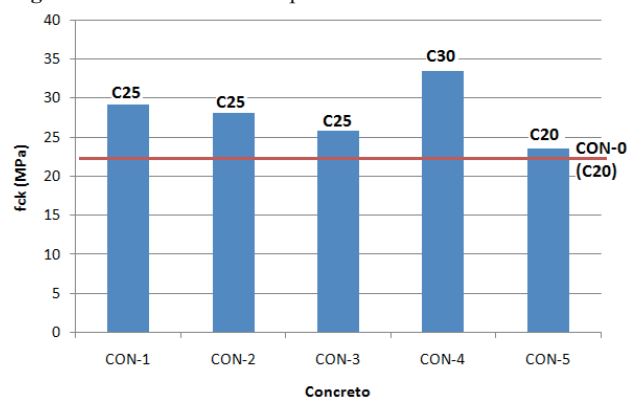
Fonte: Dados da pesquisa.

A partir dos resultados obtidos foi verificado que esta interferência resultou em aumento de 6% na resistência à compressão e uma redução de 29% na resistência à tração, com relação ao traço de referência.

3.3 Comparação entre os resultados obtidos

Por meio dos resultados obtidos nesta pesquisa foi possível observar que todos os experimentos contribuíram para o aumento da resistência à compressão, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Resistência à compressão dos concretos

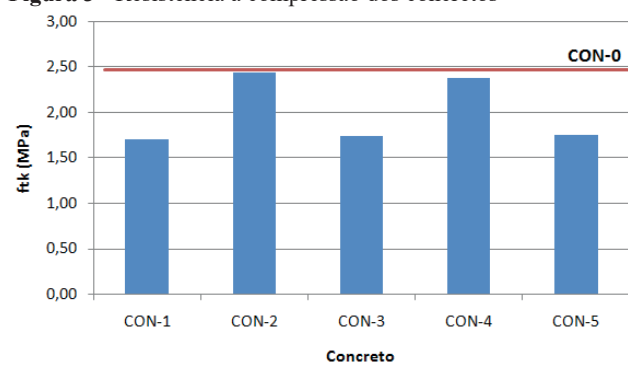


Fonte: Dados da pesquisa.

Com as propostas 1, 2 e 3 foram percebidas melhorias significativas na resistência à compressão com relação ao traço de referência, uma vez que os concretos podem ser classificados, comercialmente, como C25. A proposta 4 foi a que apresentou melhor desempenho, produzindo um C30, aumentando cerca de 50% na resistência à compressão com relação à referência. Apesar da proposta 5 ter aumentado um pouco a resistência à compressão, o concreto ainda é classificado como C20, tal qual a referência adotada.

Com relação à resistência à tração, conforme se percebe na Figura 3, em nenhum dos casos houve o aumento de resistência. Os concretos CON-2 e CON-4 não apresentaram alteração significativa nesta resistência, enquanto que para as propostas CON-1, CON-3 e CON-5, a resistência à tração diminuiu, respectivamente, em 31%, 42% e 29%.

Figura 3 - Resistência a compressão dos concretos



Fonte: Dados da pesquisa.

4 Conclusão

O trabalho evidenciou que é possível a melhora da resistência à compressão do concreto com estudos granulométricos, uso de aditivos e substituição de agregados e de aglomerantes. No que diz respeito à resistência à tração, em nenhum dos ensaios houve o aumento de resistência.

Ficou evidente que a proposta 4, substituição de 10% do cimento por Metacaulim e uso de 4% de aditivo Anchorbond em relação à massa de cimento, se apresentou como a melhor solução para a melhoria do desempenho mecânico do concreto.

Referências

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. Guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo: ABCP, 2002.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739: concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211: agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland- Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 248: Agregados- Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BOGGIO, A.J. *Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland*. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. . Porto Alegre: UFRGS, 2007.

bautech, *ficha técnica Bautech Fibra de Polipropileno*, nº 1.005. 2014. Disponível em: <http://www.bautechbrasil.com.br>. Disponível em: maio 2016.

CANDIAN, L.M. *Estudo do polietileno de alta densidade para uso em elementos estruturais*. Dissertação (Mestre em Engenharia). São Carlos: EESC-USP, 2007.

CORDEIRO, G. *Concreto de alto desempenho com metacaulinita*. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia)- Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2001.

DAL MOLIN, D.C.C. Adições minerais para concreto estrutural. In: ISAILA, G.C. *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379.

FREIRE, W.J.; BERVALDO, A.L. *Tecnologias e materiais alternativos de construção*. São Paulo: Editora Unicamp, 2003.

GRACE, Ficha Técnica Rheoset Tecflow 7000 2014. Disponível em <<http://www.rheoset.com.br>>. Acesso em: 28 maio 2016.

GONÇALVES, J.; MOURA, W.A.; DAL MOLIN, D.C.C. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. *Ambiente Construído: Rev. Assoc. Nac. Tecnol. Amb. Construído*, v.2, n.1, p.53-68, 2002.

HELENE, P.; TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. São Paulo: Pini, 1992.

MANO, E.B. *Introdução à polímeros*. São Paulo: Edgard Blucher, 1985. 111p.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo, Pini, 1994.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

METACULIM DO BRASIL. Ficha Técnica do Produto Metacaulim -HP. Disponível em: <<http://www.Metacaulim.com.br>, 28-05-2014>. Acesso em 10 jun. 2014.

MORETTI, J.F. *Sistema inteligente baseado nas redes neurais artificiais para dosagem do concreto*. São Paulo: IBRACON, 2010.

MOURA, W.A.; GONÇALVES, J.P.; LEITE, R.S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de

revestimento e confecção de lajotas para piso. *Sitientibus*, v.26, n.1, p.49-61, 2002.

NEVILEE, A.M. *Propriedades do concreto*. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997.

QUIAN, X.; LI, Z. The relationships between stress and strain for high performance concrete with metakaolin. *Cement and Concrete Research*, v.31, n.11, p.1607-1611, 2001.

ROSSIGNOLO, J.A.; AGNESINI, M.V.C. Concreto estrutural

leve. Concreto: ensino, pesquisas e realizações. Porto Alegre: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.

ROSSIGNOLO, J.A.; OLIVEIRA, I.L. Concreto leve estrutural com metacaulim. *Minerva*, v.3, n.2, p.177-187, 2006.

SANGALLI, T. *et al.* Confecção de concreto auto adensável com a utilização do resíduo proveniente do beneficiamento de granito e mármore. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55., 2013 *Anais...* CBC2013: Ibracon, 2013.