

ANÁLISE DO EFEITO DE ADIÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE PÓ DE GRANITO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MICROCONCRETO

E. Bacarji¹
E. W. Ramirez Perez¹
L. Hamer¹
M. A. Lima¹
M. V. Martins²
T. F. Campos Neto¹

RESUMO

Na indústria brasileira de britagem, para a geração de 1t de brita, são geradas 0,3t de areia artificial e 0,03t de materiais finos residuais [1]. A areia artificial pode ser utilizada na produção de concretos, pois segundos estudos, as características finais do concreto são adequadas para utilização [2]. A presente pesquisa avalia o desempenho do microconcreto com diferentes teores de pó de brita, nos estados fresco e endurecido. Foram estudados três diferentes microconcretos com areia artificial: o de referência, que não possui nenhum tipo de adição mineral; com 5% de adição de pó de brita e com 10% de adição de pó de brita. A areia artificial e o pó de brita utilizados são originárias de processos de britagem de granito. Depois da caracterização dos materiais, partiu-se para a dosagem dos microconcretos, sendo que para o traço de partida estabeleceu-se uma relação aglomerante:agregados totais secos de 1:2. Os ensaios realizados no estado fresco foram o de espalhamento e de massa específica, para se verificar a capacidade de fluir e a densidade das misturas, respectivamente. No estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias, e de módulo de elasticidade, para se verificar o desempenho inicial e final dos microconcretos. Concluiu-se que, no estado endurecido, a adição de pó de brita em teor de 5% da massa do cimento apresentou melhores resultados de desempenho, obtendo maiores resistência inicial e final e módulo de elasticidade. No estado fresco, o microconcreto com adição de 5% de pó de brita apresentou melhor capacidade de fluir, no entanto também apresentou menor segregação e menor massa específica. A utilização dos materiais resultantes do processo de britagem do granito contribui para a preservação ambiental, pois seriam descartados na natureza contrapondo-se aos valores da sustentabilidade.

Palavras-Chave: Microconcretos; areia artificial; pó de brita.

INTRODUÇÃO

A necessidade de se atingir maiores resistências com estruturas mais leves, sustentáveis e duráveis, fez com que os profissionais da construção civil buscassem por novas tecnologias aplicadas ao concreto. Em decorrência desta necessidade criou-se o microconcreto, um tipo de concreto capaz de atingir altos valores de resistência à compressão cuja mistura é composta por materiais mais finos, sendo alguns destes aproveitados de outros processos de produção.

O microconcreto é um concreto composto por cimento Portland, agregados devidamente caracterizados e filers, e aditivos que controlam o comportamento do concreto no estado plástico por conta da baixa relação água/cimento [3]. Por ser composto apenas por

¹ Professor(a) Escola de Engenharia Civil da UFG, Praça Universitária s/n. Setor Universitário. CEP 74605-220 - Goiânia - Goiás - Brasil.

² e-mail: marcusmartins.eng@hotmail.com

materiais finos, sua porosidade é reduzida se comparada aos outros concretos, fazendo com que seja menos permeável e conseqüentemente mais durável. A baixa permeabilidade lhe confere uma maior resistência à penetração de agentes agressivos como íons cloretos [4].

A preocupação com a preservação dos recursos é um tema muito discutido atualmente. Necessita-se utilizar dos recursos garantindo que os mesmos não se esgotem, para que as futuras gerações possam utilizá-los. Portanto, ao tratar de sustentabilidade na construção civil, é cada vez mais comum o emprego de adições minerais de resíduos aproveitados de processos de britagem na produção de concreto. Estes resíduos têm a função de substituir total ou parcialmente o volume de agregados miúdos a fim de se reduzir o impacto ambiental resultante da extração de recursos minerais da natureza, e ainda possibilitam obter misturas de concretos com mesmas características da areia natural [2]. Nesta pesquisa foram utilizados dois resíduos minerais, o pó de granito também chamado de pó de brita e a areia artificial resultantes do processo de britagem do granito.

Atualmente, um dos grandes problemas enfrentados pela construção civil no Brasil é o crescente número de manifestações patológicas nas edificações. Segundo Souza e Ripper [5], o maior número de manifestações patológicas que ocorrem nas obras do país é oriundo de problemas de execução, ou seja, grande parte destas estruturas acabam necessitando de reparação, e neste momento o microconcreto se mostra como uma interessante alternativa para solução do problema [3]. Por ser um concreto de alto desempenho com consistência mais fluida, ele é capaz de preencher fissuras e vazios formados no concreto devido à concentração excessiva de armadura.

Sabe-se que a maioria das obras no Brasil é entregue tempos depois do prazo de entrega final estabelecido no planejamento. A fim de se solucionar este problema, as construtoras têm investido pesado em estruturas pré-fabricadas. Com a finalidade de atender aos projetos de arquitetura que estão cada vez mais desafiadores, tais estruturas devem ser as mais delgadas possíveis. O microconcreto é também uma alternativa interessante neste caso, pois por ser composto por materiais mais finos permite a elaboração de peças pré-fabricadas com dimensões reduzidas e conseqüentemente mais leves [6]. O fato de serem mais leves se dá a esbeltez de cada peça, facilitando o transporte em longas distâncias, reduzindo a incidência de custos com equipamentos e diminuindo o consumo de materiais.

Para verificar a aplicabilidade do microconcreto em peças pré-fabricadas leves e reforços estruturais, é preciso estudar suas propriedades no estado fresco e endurecido. O ideal é que seja utilizado um concreto de alto desempenho (CAD) em função das aplicações, que exigem elevados valores de resistências iniciais e finais.

A variação nos teores dos materiais utilizados em uma dosagem causa alterações nas propriedades de qualquer concreto, seja no estado fresco ou endurecido. Partindo desta teoria, o objetivo da pesquisa é analisar o efeito da adição de pó de brita de granito nas propriedades mecânicas do microconcreto. A fim de alcançar tal objetivo, foram elaborados três microconcretos com diferentes teores de pó de brita.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quando da sustentabilidade

A situação financeira positiva do país, gerou um crescimento da indústria da Construção Civil, com execução de inúmeras obras desde Infra Estrutura a obras de edificações de uso habitacional, estes tipos de obras nos grandes centros urbanos, tem acelerado a modificação do meio ambiente não só no aspecto urbanístico, com a verticalização das cidades ou com novas grandes áreas habitacionais condomínios fechados ou conjuntos ou mesmo com reformas dos existentes, o fenômeno de urbanização das cidades e o conseqüente adensamento das mesmas levaram a uma mudança no sentido da palavra progresso, quando se passou a perceber que o mesmo só acontece em sua plenitude quando também são consideradas as questões ambientais. Em 1987, o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável no Relatório de Brundtland [7], como um modelo de desenvolvimento que visa não apenas o momento atual, mas também garante condições às próximas gerações de se desenvolverem, fez com que grande parte da sociedade se tornasse cada vez mais exigente em relação ao meio ambiente.

A indústria da construção civil é a que possui mais impacto ao meio ambiente, por suas características de transformação do ambiente ou por necessidade de materiais, vindos da extração de jazidas. Apesar dos avanços tecnológicos desta indústria em técnicas e materiais de construção, a sustentabilidade não segue o mesmo avanço, gerando os problemas ambientais.

O conceito de Construção Sustentável é hoje um tema em evidência e vem despertando o interesse de muitos países desenvolvidos do globo. Sua relevância se justifica

frente aos enormes benefícios que a sustentabilidade proporciona. Os critérios da sustentabilidade também podem e devem ser atendidos pela construção civil, levando-a a atuar de forma ambientalmente responsável, socialmente ética e economicamente viável, considerando não somente a etapa de execução das edificações como também a sua operação pelos futuros moradores.

Quando do microconcreto

Segundo Fusari [8], o microconcreto significa uma mistura de materiais, entre eles o grout, alguns tipos de argamassa e o concreto elaborado com agregados de pequena dimensão (até 9,5 mm), que pode ser chamado de pedrisco. Os padrões de qualidade para o processo de dosagem e aplicação para estes materiais devem ser os mesmos para os demais concretos. O traço é mais econômico à medida que se aumente a dimensão dos agregados e a variedade da sua granulometria, portanto o micro concreto deve ser utilizado preferencialmente para reparos, peças de pouca espessura, ou peças densamente armadas. A argamassa é uma mistura composta basicamente por cimento, areia, cal hidratada e água, podendo variar a sua composição de acordo com a região geográfica, utilizando materiais como barro, caulim, saibro, etc. Um tipo de argamassa é o grout, composto por cimento, areia, pó de quartzo no lugar da cal, água e aditivos especiais, destacando-se na elevada resistência mecânica.

Compósitos são materiais formados pela combinação de dois ou mais materiais distintos que mantêm as suas propriedades individuais e sem que haja interação química intencional entre eles. Estes materiais são constituídos por uma matriz e uma fase dispersa ou reforço. A matriz é responsável pela aparência do produto e de suas características superficiais e tem por função envolver, separar e proteger o reforço de ataques externos e de transmitir as tensões aplicadas no compósito para o reforço, que tem uma função estrutural e é a responsável pela resistência do compósito [9].

Segundo Carvalho [9], as propriedades dos compósitos são função das propriedades das fases constituintes, suas proporções, porosidade, interações, forma, razão de aspecto, aspecto superficial, tamanho, distribuição e o grau de orientação da fase dispersa (fibras contínuas ou curtas, cargas, etc).

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais

O cimento utilizado foi o CP-II-F-32 com as seguintes características: índice de finura por meio da peneira 75 μ m (n^o 200) de 0,1%, área específica de Blaine 5.360 cm²/g,

resistência média à compressão de 17,9; 24,60 e 38,00 MPa aos 3, 7 e 28 dias, respectivamente, início de pega aos 250 minutos e fim de pega aos 330 minutos, e perda de resistência ao fogo de 12,52%.

A sílica ativa apresentou densidade de 2.220 kg/m² com um alto teor de SiO₂ (maior que 85%) e uma superfície específica igual a 20.000 m²/kg, com um formato esférico das partículas.

O tipo de areia utilizada foi: areia artificial de granito com densidade de 2.63 kg/dm³, módulo de finura (MF) de 2,86 e diâmetro máximo (Dmax) de 4,75 mm. A curva granulométrica da areia utilizada na pesquisa está apresentada na Figura 1.

Foi utilizado um superplastificante redutor de água do tipo Policarboxilato modificado com uma faixa de concentração de 40%, em estado líquido, coloração castanha e odor característico, com um peso específico de 1,095 +/- 0,02 g/cm³ e pH 6,0 +/- 1, totalmente solúvel em água.

Assim como também se utilizou pó de brita, que foi adicionado à mistura para contribuir com o fechamento do pacote granulométrico, preenchendo os vazios deixados pelos grãos de areia com uma massa específica de 2.735 kg/m³. O tamanho da distribuição das partículas do pó de brita está apresentado na Figura 2.

Para a caracterização mineralógica do pó de quartzo, foi realizado o ensaio de difração de Raios X. Os resultados demonstraram a presença dos minerais como: Stewartita, Quartzo, Ausmanita, Hematita, Butorita, Amesita, Microclíneo e Cianita. Dos resultados obtidos verificou-se que o material em estudo apresenta seus compostos na forma cristalina.

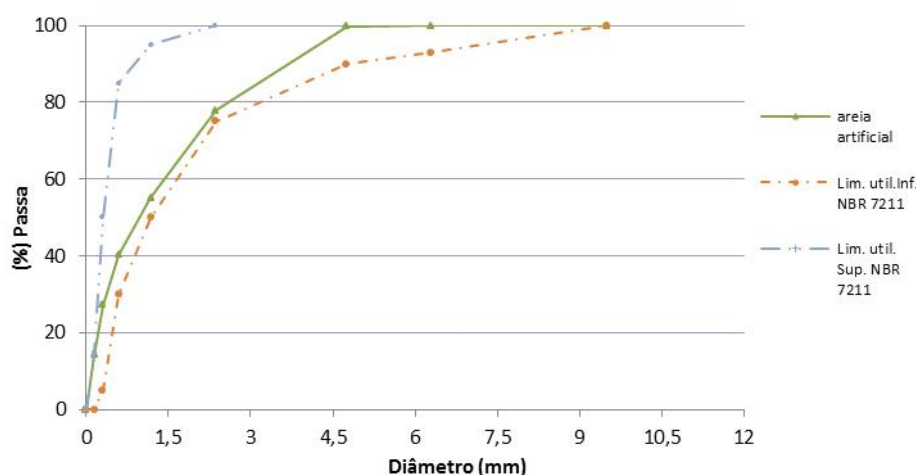


Figura 1: Curva granulométrica da areia artificial

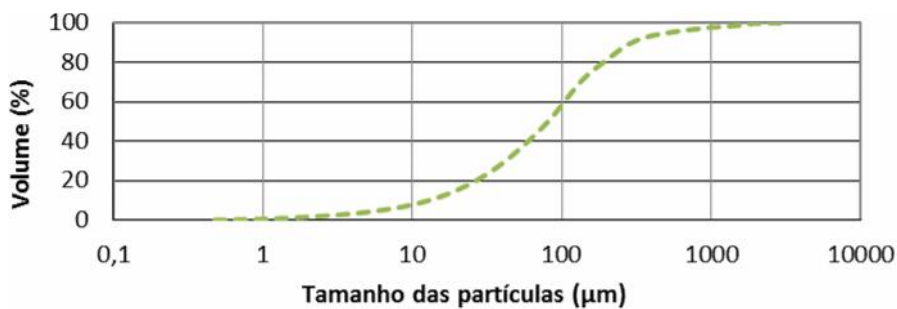


Figura 2: Tamanho da distribuição das partículas de pó de brita

As composições químicas dos aglomerantes e do pó de brita estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química dos aglomerantes e do pó de brita (%)

<i>Constituintes</i>	<i>Cimento</i>	<i>Pó. Quartzo</i>	<i>Silica</i>
CaO	56,15	2,36	1,10
SiO ₂	14,83	64,36	91,00
SO ₃	2,99	1,50	-
Al ₂ O ₃	3,73	22,47	0,10
Fe ₂ O ₃	3,22	3,31	0,70
SrO	-	-	-
K ₂ O	0,27	5,18	0,44
MgO	5,31	-	1,50
NaO ₂	-	-	0,39
P ₂ O ₅	0,86	-	-

Adotou-se a relação aglomerante:agregados (aglom:agreg) 1:2 para a obtenção de concretos com resistências mais elevadas, superiores a 50 MPa a depender dos materiais utilizados. As condições no estado fresco são verificadas de forma experimental, por meio do ensaio de espalhamento regulamentado pela ABNT NBR NM 68 [10] e do ensaio de massa específica regulamentado pela ABNT NBR 9833 [11]. No presente estudo adotou-se um espalhamento de 80 ± 20 mm e uma relação água/aglomerante (w/aglom) inicial de 0,35 para todos os concretos analisados. Todos os traços foram elaborados fundamentados em um único traço, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Identificação do traço de partida

<i>Identificação</i>	<i>Aglomerante</i>	<i>Agreg. Miúdo</i>	<i>Sílica ativa (%)</i>	<i>Pó de brita (%)</i>
Traço de partida	Cimento	Areia Artificial	-	-

Conforme a Tabela 3 foram feitas as seguintes adições minerais ao traço do microconcreto com areia artificial:

- | | | |
|------|--|---|
| I. | 0% de sílica ativa, em função da massa do cimento, ao traço de partida; | 1 |
| II. | % de pó de brita, em função da massa de cimento, ao traço com sílica ativa; | 5 |
| III. | 0% de pó de brita, em função da massa de cimento, ao traço com sílica ativa. | 1 |

Tabela 3: Teores das adições minerais

<i>Identificação</i>	<i>Agreg. Miúdo</i>	<i>Sílica ativa (%)</i>	<i>Pó de brita (%)</i>
C-Referência	Areia artificial	10	-
C-Pó brita 5	Areia artificial	10	5
C-Pó brita 10	Areia artificial	10	10

Para a produção dos concretos utilizou-se uma betoneira com capacidade de 80 litros, colocando-se os materiais na seguinte ordem: areia artificial, pó de brita, sílica ativa e cimento, misturando por três minutos, acrescentou-se a água, misturando por mais três minutos e, por fim, adicionou-se o aditivo superplastificante, misturando por doze minutos diretos.

Os traços dos concretos elaborados estão dispostos em ordem de produção na Tabela 4.

Tabela 4: Traços dos microconcretos

<i>Concretos</i>	<i>Traços (aglom:areia)</i>	<i>SPPF (%)</i>	<i>w/aglom</i>	<i>S. Ativa (%)</i>	<i>Pó de brita (%)</i>
C-T. partida	1 : 2	1,50	0,35	-	-
C-REF	1 : 1,82	1,50	0,32	10	-
C-Pó brita 5	1 : 1,74	1,50	0,30	10	5
C-Pó brita	1 : 1,67	1,50	0,29	10	10

No presente trabalho, haja vista a variedade de finos utilizados (cimento, sílica ativa e pó de granito), não se procedeu ao ensaio para a determinação do ponto de saturação do superplastificante e o seu correspondente teor; antes, visando à adoção de uma relação w/aglom baixa e, por consequência, boas propriedades mecânicas, adotou-se um teor de superplastificante de 1,5% em relação à massa de cimento.

Depois de produzidos os concretos, os corpos-de-prova, moldados e curados conforme ABNT NBR 5738 [12], foram submetidos aos ensaios mecânicos. Foi verificada a resistência à compressão, conforme ABNT NBR 5739 [13], aos sete, 28 e 90 dias, sendo que aos 28 verificava-se também o módulo de elasticidade, de acordo com a ABNT NBR 8522 [14].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estado fresco do microconcreto

No estado fresco, a primeira propriedade observada nos microconcretos foi a capacidade de fluir. Os ensaios de espalhamento foram realizados e os concretos apresentaram comportamento uniforme, conforme resultados apresentados na Figura 3.

O microconcreto de referência e o com adição de 10% de pó de brita foram os que atingiram maiores diâmetros, o que já era esperado, pois possuem maior densidade e não apresentam agregados com dimensões grandes o suficiente para reduzir a fluidez da mistura. A Figura 4 mostra uma imagem do ensaio realizado.

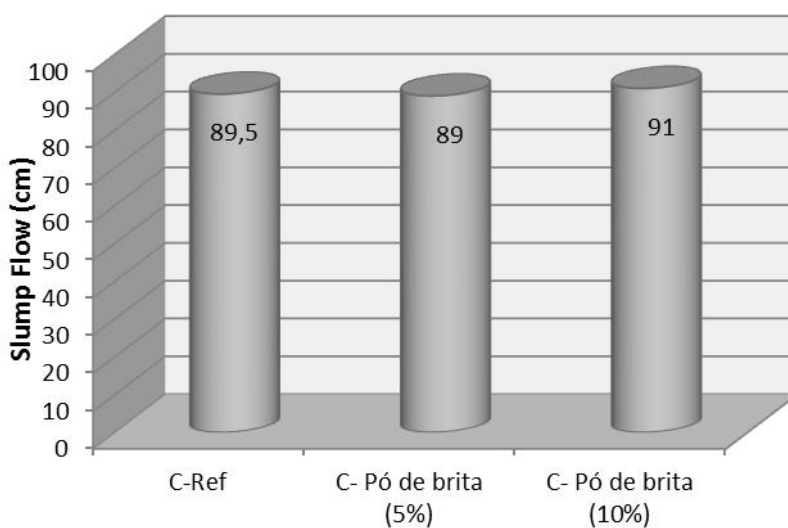


Figura 3: Resultados dos ensaios de espalhamento



Figura 4: Ensaio de espalhamento na mesa de Graff

No ensaio de determinação da massa específica, o microconcreto com adição de 5% de pó de brita apresentou menor densidade do que os outros dois concretos produzidos. Isso pode ter ocorrido em decorrência do aumento do material fino na composição, em substituição ao material mais denso, porém se inserido em teores maiores, pode acabar aumentando a densidade novamente. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de determinação da massa específicas dos microconcretos.

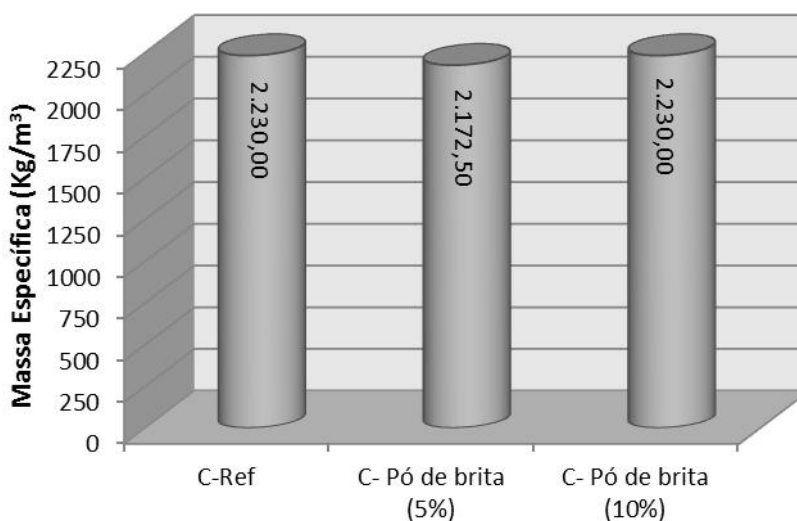


Figura 5: Massa específica dos microconcretos

No estado endurecido do microconcreto

No estado endurecido do microconcreto foram analisadas três propriedades: a resistência à compressão aos 7 e 28 dias, o módulo de elasticidade e a resistência à segregação.

Aos sete dias realizou-se o primeiro ensaio de resistência à compressão de cada micronconcreto. Nesta idade, o microconcreto com adição de 5% de pó de brita foi o que atingiu maior resistência, chegando a um valor superior a 60 MPa, conforme apresentado na Tabela 5 e na Figura 6. Ele obteve um ganho inicial de resistência maior do que os outros concretos que atingiram valores entre 40 MPa e 60 MPa. Aos 28 dias, o microconcreto com adição de 5% ainda continuou apresentando maior valor de resistência atingindo a marca de 64,76 MPa, porém agora a diferença entre as resistências obtidas pelos outros concretos não é tão considerável. O microconcreto referência foi o que apresentou maior ganho de resistência entre sete e 28 dias. Os resultados de resistências à compressão aos 28 dias obtidas com cada corpo-de-prova, a média e o desvio padrão estão apresentados na Tabela 6 e na Figura 7.

Tabela 5: Resistências à compressão aos 7 dias com média e desvio padrão

<i>Concretos</i>	<i>Resistência à compressão aos 7 dias (MPa)</i>			<i>Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão (MPa)</i>
C-REF	42,00	50,80	44,81	45,87	3,67
C-Pó brita 5	55,64	60,98	68,95	61,86	5,47
C-Pó brita 10	57,29	54,23	60,35	57,29	2,50

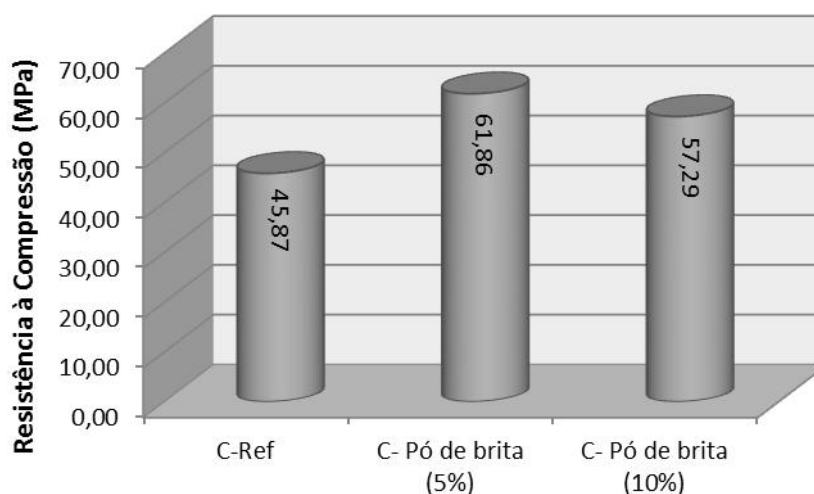


Figura 6: Resistência à Compressão aos 7 dias

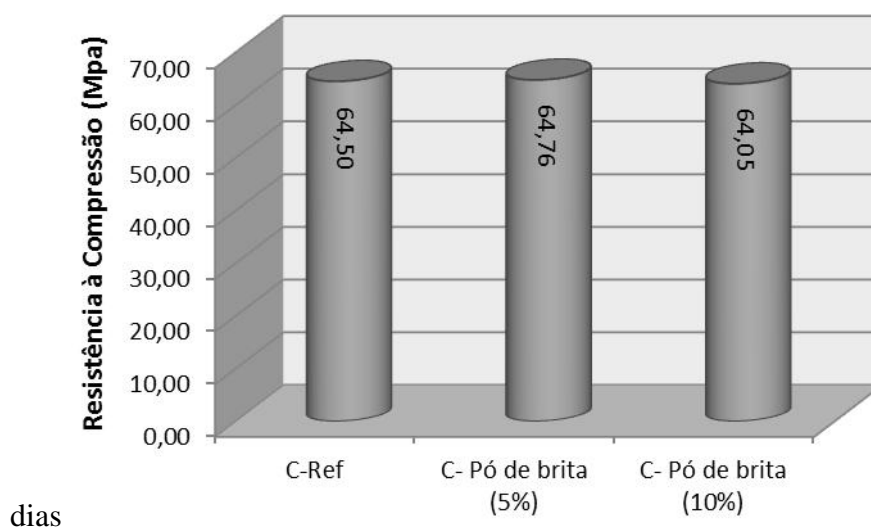


Figura 7: Resistência à Compressão aos 28

Tabela 6: Resistências à compressão aos 28 dias com média e desvio padrão

<i>Concretos</i>	<i>Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)</i>				<i>Média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão (MPa)</i>
C-REF	72,10	58,30	74,10	53,50	64,50	8,79
C-Pó brita 5	65,95	62,40	63,70	66,97	64,76	1,80
C-Pó brita 10	62,89	69,00	57,30	67,00	64,05	4,48

Os valores dos módulos de elasticidade obtidos em cada microconcreto foram condizentes com os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão, onde o microconcreto com adição de 5% de pó de brita obteve maior módulo, seguido do microconcreto com 10% de pó de brita e por fim o microconcreto de referência. Os ensaios de módulo de elasticidade foram realizados aos 28 dias e os resultados estão apresentados na Figura 8.

Ao analisar a segregação, à medida que se aumentava o teor de pó de brita na dosagem do concreto, aumentava-se também a sua resistência à segregação. Isso ocorre devido ao melhor empacotamento das partículas na presença do fíler do granito, no entanto a diferença entre os concretos com 5% e 10% de pó de brita não foi considerável. A Figura 9 apresenta imagens dos corpos-de-prova rompidos onde é possível observar que os concretos com adição mineral do pó de granito apresentaram camadas menores de concentração de pasta de cimento do que o concreto referência, contestando maior resistência à segregação.

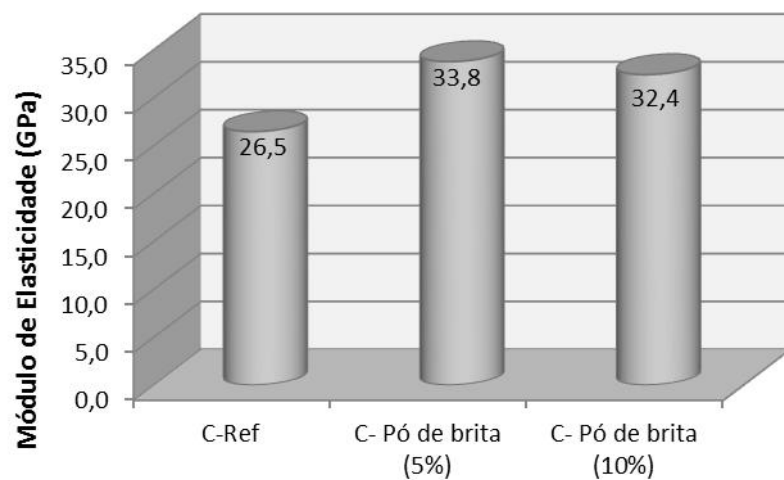


Figura 8: Módulo de elasticidade

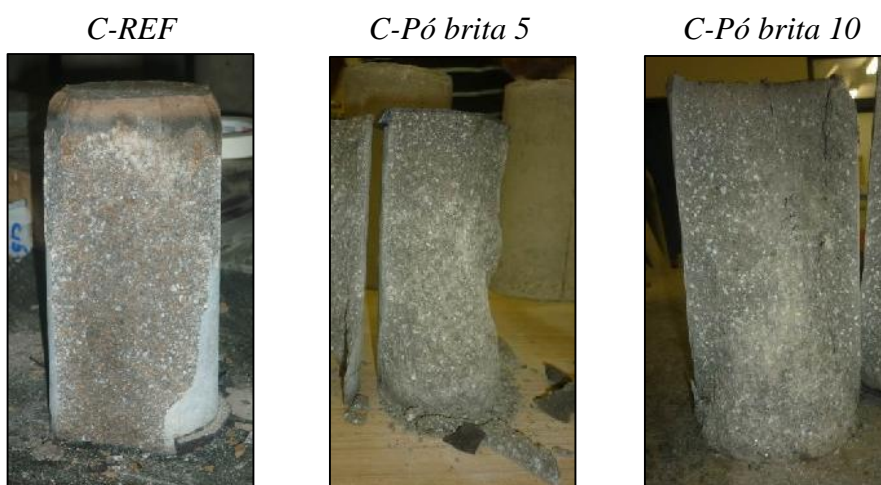


Figura 9: Módulo de elasticidade

CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou o desempenho no estado fresco e endurecido do microconcreto com a incorporação de diferentes teores de resíduos de britagem de granito. No geral, os microconcretos apresentaram resistências próximas aos 28 dias, porém os concretos com adição de 5% e 10% de pó de granito apresentaram resultados superiores quando comparados ao concreto de referência, que por sua vez não tinha adição nenhuma. Isso se deve ao melhor empacotamento das partículas devido à adição do fíler de granito. A adição de 5% de pó de brita reduziu a segregação e a capacidade de fluir do microconcreto, no

entanto reduziu também sua massa específica, provando ser um concreto mais leve do que os outros estudados. Dessa forma, por ter obtido maiores valores de resistência à compressão inicial e final, e também por ser o microconcreto com menor segregação e massa específica, o microconcreto com adição de 5% de pó de brita é o mais adequado para aplicação em reparação estrutural e fabricação de peças mais esbeltas e leves. É preciso citar ainda que a areia artificial e o pó de brita de granito utilizados na produção dos microconcretos desta pesquisa colaboram com o desenvolvimento sustentável por se tratarem de resíduos de processos de britagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Goiás pela disponibilização do laboratório, bem como todos os equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BACARJI, E.; TOLEDO FILHO, R. D. Concretos autoadensáveis com incorporação de resíduos de britagem de rochas: desempenho no estado fresco. 3º Congresso Ibéroamericano sobre betão auto-compactável. Madrid, 2012.
- [2] KITAMURA, S. Estudo Experimental sobre a Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Granito Triturado, nas Propriedades do Concreto de Cimento Portland. 2011. 207p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal Fluminense. Niterói.
- [3] Micro Concrete: High Strength free flowing Cementitious Repair Concrete. SKOF INDIA. Acedido a 24 de maio de 2013, em: <http://skofindia.com/pdf/MICRO%20CONCRETE.pdf>.
- [4] BINA, P. Concretos de pós reativos: uma revolução no conceito do concreto. Revista Técnica. São Paulo: PINI, n. 38, p. 50-51, Jan.-Fev.
- [5] SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo: PINI, 1998.
- [6] CAMPOS, P. E. F. Microconcreto de Alto Desempenho: Uma Contribuição para o Desenvolvimento da Pré-Fabricação Leve. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. Seção Técnica 3. São Carlos. 2005.

- [7] ONU (1987). Informe Brundtland. ONU, Nova York.
- [8] Fusari, D. G. Efeito do uso de resíduos do caulim e granito na regressão de resistência em microconcreto. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- [9] CARVALHO, L. H. Compósitos poliméricos. Universidade Federal de Campina Grande. Apostila, 2007.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 68: Concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. Rio de Janeiro, 1998.
- [11] _____. NBR 9833: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.
- [12] _____. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.
- [13] _____. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [14] _____. NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

Recebido em 23 de janeiro de 2013.
Aprovado em 25 de fevereiro de 2013.