

Avaliação do módulo de deformação e da durabilidade de concretos produzidos com o resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) em substituição ao agregado miúdo



Kíria Gomes¹



Edgar Bacarji²

RESUMO

A maioria dos processos produtivos, atualmente, gera resíduos que são muito maiores que a capacidade de absorção da natureza, causando grande degradação ambiental. A construção civil consome grande volume de recursos naturais como a areia para produzir concretos. Uma alternativa para diminuir a utilização da areia é a sua substituição por resíduos gerados pela indústria das rochas ornamentais. Nas marmorarias, onde se beneficiam as placas para repassar ao consumidor final, são gerados vários resíduos dentre eles o resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG). Para destinar adequadamente este resíduo foi realizado um estudo comparativo entre as propriedades de um concreto de referência e o produzido com o RBMG substituindo parcialmente o agregado miúdo. O método de dosagem utilizado foi o elaborado pelo IPT/EPUSP, descrito por Helene e Terzian (2004). Foram estudadas dosagens sem adição do resíduo e com 5%, 10%, 15% e 20% do resíduo em substituição ao agregado miúdo para cada relação cimento:agregados secos: 1:3,5 ; 1:5,0 e 1:6,5. No estado endurecido foram analisadas as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto por meio dos ensaios de módulo de elasticidade, absorção e índice de vazios. Os resultados do módulo de elasticidade mostram que no traço 1:5,0 para os teores de 5%, 10% e 15% os valores são maiores que o de referência aumentando com a quantidade do resíduo. No traço 1:6,5 com os teores de 10% e 15% de RBMG os valores também aumentam em relação ao valor de referência. Nos ensaios de absorção e índice de vazios verificou-se que, com a substituição do agregado miúdo pelo resíduo, os valores aumentaram. Já no traço 1:5,0 com 10% de RBMG o aumento é menor em relação ao traço de referência. Pelas variáveis analisadas pode-se verificar a viabilidade técnica e ambiental da substituição do agregado miúdo pelo RBMG.

PALAVRAS-CHAVE

Palavra-Chave: Resíduo de beneficiamento de mármore e granito, sustentabilidade, concreto

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil. kiriagomes@gmail.com

² Universidade Federal de Goiás, Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Goiânia, Goiás, Brasil. edgar@eec.ufg.br

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos processos produtivos, atualmente, é fonte geradora de resíduos que se apresentam na forma de gases, líquidos ou sólidos. A produção destes rejeitos é muito maior que a capacidade de absorção da natureza, causando grande degradação ambiental, além de diversos impactos econômicos e sociais.

A construção civil é o setor da atividade tecnológica que consome grande volume de recursos naturais e que também gera muitos resíduos. Um recurso natural muito utilizado neste setor são as areias, que são destinadas à produção de concretos e argamassas em geral.

Os principais locais de produção de areia são várzeas e leitos de rios. Em 2006 foram produzidos 358,0 milhões de toneladas de agregados, representando um aumento de 8% em relação a 2005. Deste total, 146,0 milhões de toneladas são representados por pedras britadas e 212,0 milhões de toneladas por areia [1].

A exaustão de áreas próximas aos grandes centros consumidores e a restrição desta atividade extrativista pelos órgãos de fiscalização ambiental, têm resultado na exploração de areia em locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos, o que onera o preço final da areia natural, visto que a distância entre produtor e consumidor tem sido em média 100 km [2].

No uso da areia natural, além da problemática econômica, há também problemas de ordem ambiental, pois as atividades de extração de areia são responsáveis por diversos impactos ambientais negativos [3]: depreciação da qualidade do ar; aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d'água; contaminação do curso d'água causada pelos resíduos (óleos, graxas, lubrificantes) provenientes de maquinarias utilizadas nos diferentes tipos de operações; diminuição da infiltração de água no solo, devido à compactação ocasionada pelo uso de máquinas pesadas e à impermeabilização promovida pela instalação da infra-estrutura do empreendimento e estresse da fauna aquática.

Percebe-se, então, os danos ao meio ambiente causados pela extração de areia. Uma alternativa para diminuir a utilização da areia na construção civil é a sua substituição por resíduos gerados por alguns setores como o da indústria das rochas ornamentais, sendo esta uma alternativa que contribui para o desenvolvimento sustentável.

A indústria de rochas ornamentais, fortemente relacionada com a indústria de construção civil, é responsável por diversos impactos ambientais desde a prospecção mineral até a fase de polimento das placas e ladrilhos. Cerca de 30% de cada bloco de granito ou mármore é perdido durante a serragem, gerando um resíduo na forma de lama, que depois de seco e destorroado se torna um pó fino. Somente no estado do Espírito Santo, um dos maiores produtores de rochas ornamentais no país, cerca de 65.000 toneladas do resíduo de serragem de mármore e granito são gerados por mês [4].

As rochas ornamentais de maior valor agregado, representadas pelas chapas e produtos acabados, são comercializadas por empreendimentos denominados serrarias e marmorarias. O Brasil possui aproximadamente 7.000 marmorarias, que fazem a serragem e o polimento das chapas ornamentais. Estima-se que estas empresas produzam anualmente, cerca de 190.000 toneladas de lama do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), que é depositada em tanques de decantação [5]. A Fig.1 ilustra um tanque de decantação de uma marmoraria da cidade de Goiânia-Go.

A lama que fica depositada nos tanques de decantação é retirada ou pelos próprios funcionários da empresa ou por meio dos caminhões limpa-fossa, dando uma destinação inadequada ao RBMG, pois são depositadas em lotes clandestinos ou às margens dos rios.

Sendo o concreto um dos materiais da construção civil mais consumido e um material onde grande quantidade de restos industriais pode ser reutilizada, substituindo o material cimentante ou os

agregados [6], estudou-se neste trabalho a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) na produção de concretos.



Figura 1. Tanques de decantação [5]

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item serão relatados a caracterização do resíduo feito por Lopes [5] e os ensaios e resultados iniciais feitos por Gomes e Bacarji [7].

2.1 Resíduo de beneficiamento de mármore e granito

O resíduo utilizado nesta pesquisa foi coletado e caracterizado por Lopes [5] oriundo de marmoraria localizada na cidade de Goiânia - Go. Por meio da análise química, observou-se que o RBMG é constituído predominantemente por sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3). Com o objetivo de identificar a estrutura dos compostos encontrados na análise química, procedeu-se a caracterização mineralógica do resíduo, por meio do ensaio de Difração de Raios X. De acordo com o difratograma, pode-se afirmar que o RBMG se apresenta na forma cristalina, estando os seus compostos estáveis quimicamente. Do ensaio granulométrico verificou-se que a dimensão média das partículas é de $18,14 \mu\text{m}$ e a massa específica é de $2,70 \text{ g/cm}^3$.

2.2 Materiais utilizados e caracterização dos agregados

Os materiais utilizados foram o cimento Portland CP-II-F, de classe de resistência 32 MPa. O agregado miúdo foi uma areia natural de leito de rio, o agregado graúdo utilizado foi brita granulito lavada. A água foi coletada da rede pública de abastecimento da cidade de Goiânia - GO.

Para os agregados miúdo e graúdo foram realizados os ensaios de composição granulométrica de acordo com NBR NM 248 [8], massa específica de acordo com a NBR NM 52 [9], massa unitária de acordo com a NBR 7251 [10] e para o agregado miúdo o ensaio de teor de materiais pulverulentos de acordo com a NBR NM 46 [11]. Estes ensaios foram realizados no laboratório de materiais da escola de engenharia civil da Universidade Federal de Goiás (UFG).

O Quadro 1 apresenta a composição granulométrica do agregado miúdo, bem como as massas específica e unitária e o teor de material pulverulento. O Quadro 2 apresenta a composição granulométrica do agregado graúdo.

Com relação a caracterização dos agregados, os resultados mostraram que o agregado miúdo é classificado como uma areia grossa e que o agregado graúdo é classificado como brita 01.

Avaliação do módulo de deformação e da durabilidade de concretos produzidos com o resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) em substituição ao agregado miúdo

Abertura das Peneiras (mm)	Massas (g)	Percentuais Retidos		
		Método de Ensaio NBR NM 248(ABNT, 2003a)		
		(%) Simples	(%) Acumuladas	Cálculo do M.F.
6,3	0	0	0	0
4,8(4)	1,1	0,11	0,11	0,11
2,4(8)	75,9	7,59	7,7	7,7
1,2(16)	248	24,8	32,5	32,5
0,6(30)	335,9	33,59	66,09	66,09
0,3(50)	242,9	24,29	90,38	90,38
0,15(100)	83,9	8,39	98,77	98,77
Prato	12,3	1,23	-----	-----
Totais	1.000,00	100	-----	295,55
Módulo de Finura			2,95	
Dimensão Máxima Característica			4,80 mm	
Frasco de Chapman: Massa Específica (kg/dm³)			2,62	
Massa Unitária (kg/dm³)			1,47	
Teor de Material Pulverulento			1,51%	

Quadro 2 – Composição granulométrica do agregado graúdo [7]

Abertura das Peneiras (mm)	Massas (g)	Percentagens Retidas		
		Método de Ensaio NBR NM 248(ABNT, 2003a)		
		(%) Simples	(%) Acumuladas	Cálculo do M.F.
19 (3/4")	20,2	0,2	0,2	0,2
12,7 (1/2")	7919,8	79,2	79,4	-----
9,5(3/8")	1320,7	13,2	92,6	92,6
6,3	579,4	5,8	98,4	-----
4,8(4)	99,3	1	99,4	99,4
2,4(8)	40,6	0,4	99,8	99,8
Prato	20	0,2	100	400
Totais	10.000	100	-----	692
Módulo de Finura			6,92	
Dimensão Máxima Característica			19 mm (Brita 01)	
Massa Específica (Kg/dm³)			2,67	
Massa Unitária (Kg/dm³)			1,51	

2.2 Dosagem do concreto

O método de dosagem utilizado foi o elaborado pelo IPT/EPUSP, descrito por Helene e Terzian [12]. O *Slump* adotado para o concreto de referência foi de 12±1 cm. O teor ideal de argamassa encontrado foi de 52%. Foram estudadas dosagens sem adição do resíduo e com 5%, 10%, 15% e 20% do resíduo em substituição ao agregado miúdo para cada relação cimento:agregados secos: 1:3,5 ; 1:5,0 e 1:6,5.

2.3 Ensaios no estado fresco e endurecido

No estado fresco foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*) seguindo-se a NBR NM 67 [13], com cinco medidas para cada traço. No estado endurecido foram analisadas as propriedades de resistência à compressão axial de acordo com a NBR 5739 [14] aos 7 e 28 dias, sendo ensaiados cinco corpos-de-prova para cada idade. A confecção dos corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 10cm x 20cm, ocorreu no laboratório de materiais de construção da UFG.

A Fig. 2 mostra os valores médios encontrados no ensaio do *slump test* para cada traço e teor de substituição do resíduo.

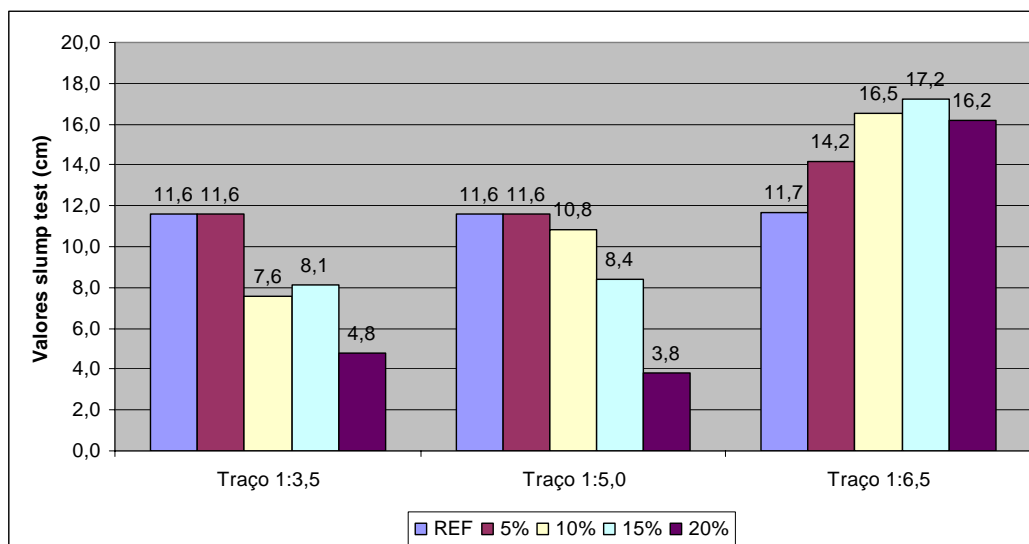


Figura 2 – Valores do slump test [7]

Dos resultados do *slump test* Gomes e Bacarji [7] verificaram que, para o traço 1:3,5 e 1:5,0, com o teor de 5% de RBMG, os valores se mantêm em relação aos valores de referência. Com o aumento do teor de resíduo os valores diminuem. Este comportamento não ocorre para o traço 1:6,5, onde os valores do *slump test* aumentam com a substituição do resíduo, ou seja, o concreto melhora sua trabalhabilidade.

A Fig.3 mostra os valores médios da resistência à compressão aos 7 dias de idade. Na Fig. 4 estão plotadas as médias dos valores da resistência à compressão aos 28 dias.

Para o concreto no estado endurecido observa-se, para o traço 1:3,5, que ao substituir o agregado miúdo pelo resíduo a resistência cai com o teor de 5%. Todavia, ao se aumentar o teor de substituição, há uma tendência de crescimento de resistência, crescimento este que é mais acentuado aos sete dias. Para este traço, o melhor teor de substituição foi de 15% aos 28 dias.

Percebe-se para o traço 1:5,0 um comportamento semelhante ao traço 1:3,5, onde se tem uma tendência de diminuição nos valores da resistência ao iniciar a substituição do agregado miúdo pelo RBMG e um aumento dos valores à medida que aumenta o teor do resíduo. Neste caso, com o teor de 15%, a resistência é maior que o valor de referência nas idades de 7 e 28 dias. Com 20% do resíduo os valores diminuiram.

Já para o traço 1:6,5 os valores praticamente se mantiveram no mesmo patamar do concreto de referência.

Verifica-se em geral que, aos sete dias, o efeito desfavorável da maior área específica dos finos é compensado pelo efeito filer, à medida que se aumenta o teor de substituição. Aos 28 dias, quando já

se realizou grande parte das reações de cimento o efeito fíler não é tão benéfico, havendo perda de resistência em alguns casos.

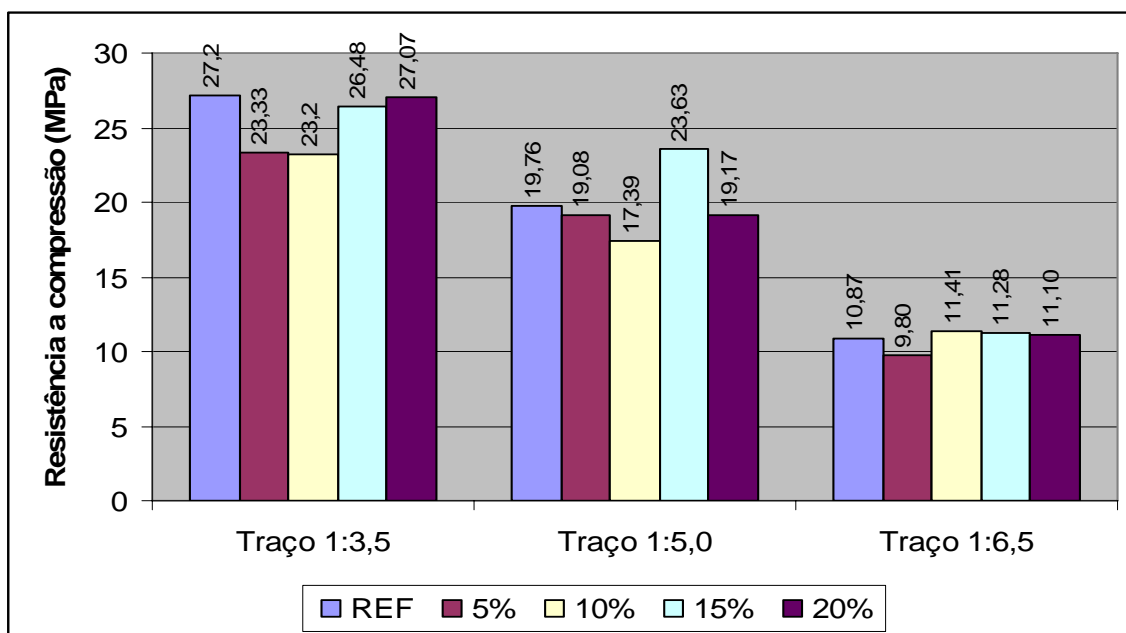


Figura 3 – Valores (média) da resistência à compressão aos 7 dias de idade [7]

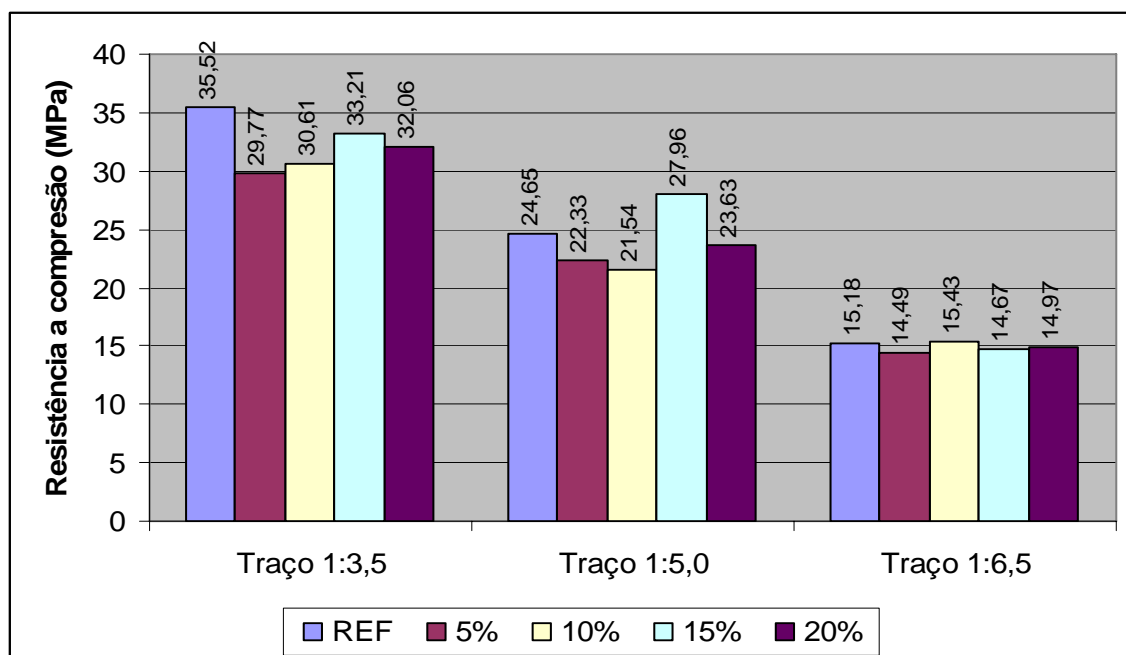


Figura 4 – Valores (média) da resistência à compressão aos 28 dias de idade [7]

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Nesta pesquisa fez-se um estudo comparativo entre as propriedades do concreto sem a substituição do resíduo e o produzido com o resíduo de beneficiamento de mármore e granito nos ensaios de módulo de deformação e absorção e índices de vazios, dando continuidade nos estudos feitos por Gomes e Bacarji [7].

3.1 Materiais

Os materiais utilizados foram os mesmos utilizados por Gomes e Bacarji [7] e foram apresentados no item 2.

3.2 Método

O método de dosagem utilizado foi o elaborado pelo IPT/EPUSP, descrito por Helene e Terzian [12]. O *Slump* adotado para o concreto de referência foi de 12 ± 1 cm. O teor ideal de argamassa encontrado foi de 52%. Foram estudadas dosagens sem adição do resíduo e com 5%, 10%, 15% e 20% do resíduo em substituição ao agregado miúdo para cada relação cimento:agregados secos: 1:3,5, 1:5,0 e 1:6,5.

No estado endurecido foram realizados os ensaios de módulo de deformação e absorção por imersão e índice de vazios aos 28 dias seguindo-se as normas NBR 8522 [15] e NBR 9778 [16] respectivamente. Foram confeccionados 4 corpos-de-prova para cada traço na realização dos ensaios de módulo de deformação e 5 corpos-de-prova para cada traço para os ensaios de absorção e índice de vazios. A confecção dos corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 10cm x 20cm, ocorreu no laboratório de materiais de construção da UFG, totalizando 135 corpos-de-prova.

4. RESULTADOS

A Fig. 2 mostra os valores médios dos módulos de deformação para todos os traços e teores de substituição ensaiados.

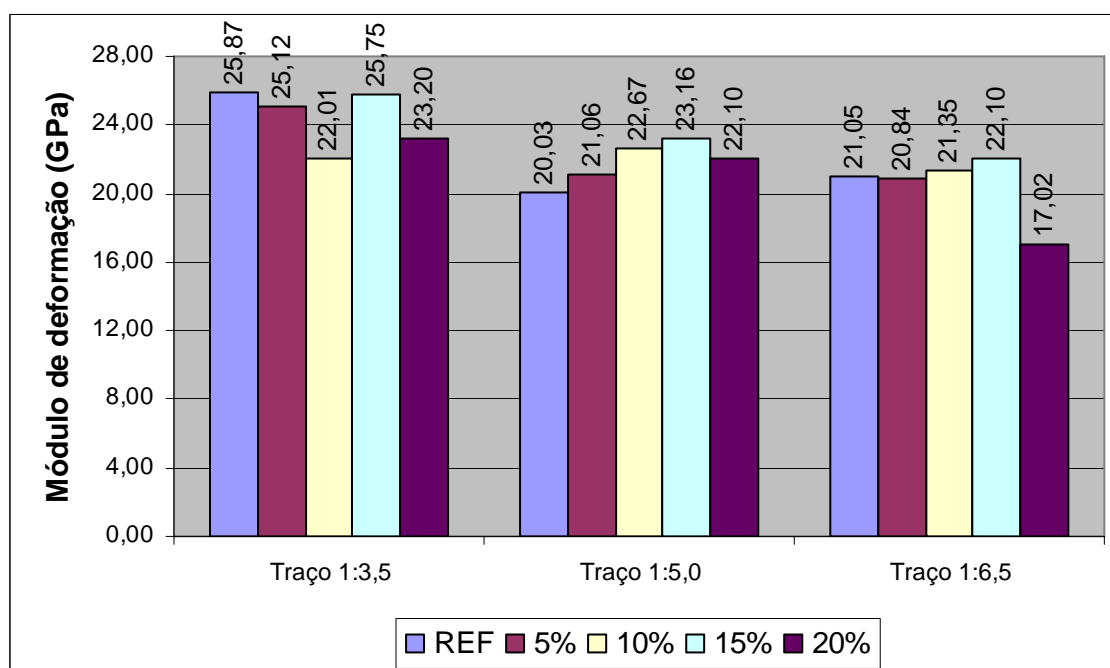


Figura 2. Módulo de deformação – valores médios

Os valores médios encontrados no ensaio de absorção por imersão estão plotados na Fig. 3.

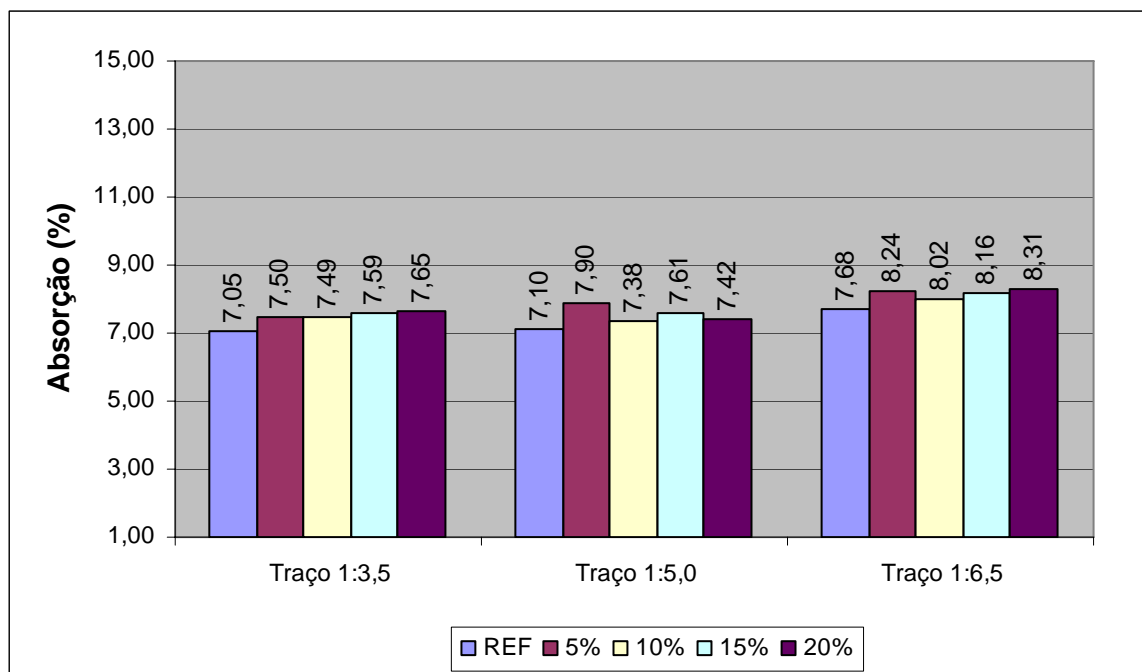


Figura 3. Valores médios da absorção por imersão

A Fig. 4 apresenta os valores plotados para o ensaio de índice de vazios.

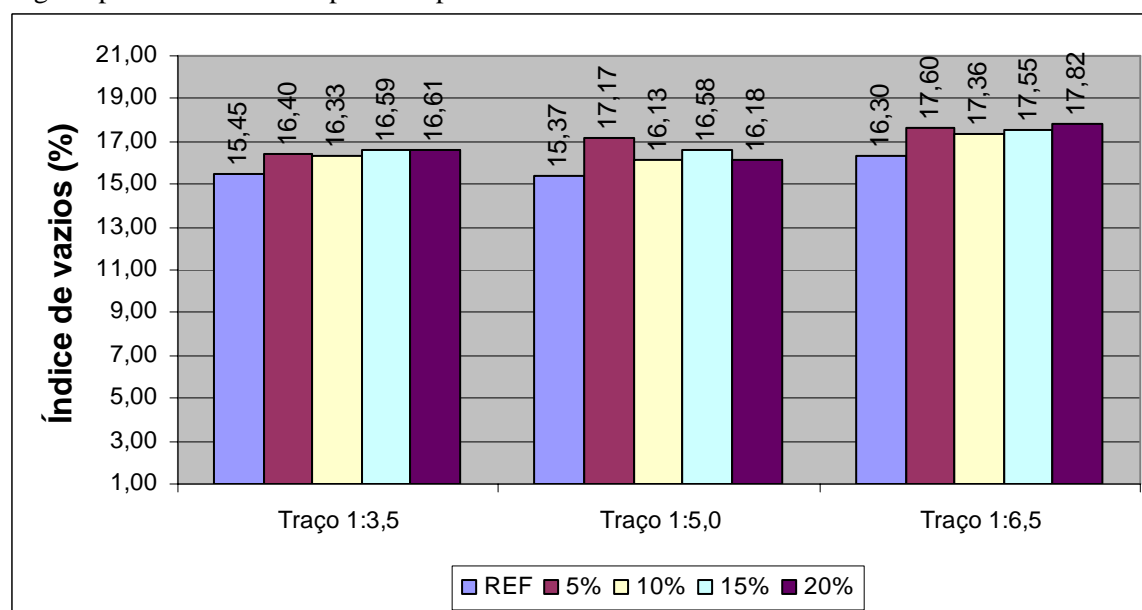


Figura 4. Valores médios de índice de vazios

5. CONCLUSÕES

Analisando-se os valores do módulo de deformação pode-se observar que o teor de 15% de substituição do RBMG pelo agregado miúdo foi o teor que obteve os maiores valores do módulo em todos os traços, inclusive maior que os valores do concreto de referência. Observa-se no traço 1:3,5 uma queda no valor do módulo para os teores de 5% e 10% do resíduo. Com 15% o valor sobe quase igualando com o valor do concreto de referência e com 20% o valor diminui novamente. No traço 1:5,0 todos os teores do resíduo tiveram os valores do módulo de deformação maiores que os de

referência. No traço 1:6,5 os valores para os teores de 5%, 10% e 15% ficaram bem próximos do valor de referência, com 20% do RBMG o valor diminuiu.

Os melhores traços para a utilização do resíduo, considerando os resultados do módulo de deformação e a resistência à compressão foram os traços 1:5,0 e 1:6,5 pois há uma tendência de aumento de valores para o teor de resíduo de 15%. A queda de valor com o teor de 20% ocorre nos três traços. Isto porque o aumento do teor de finos, nesta proporção, pode ter prejudicado a aderência “pasta-agregado” reduzindo o módulo de deformação.

Analisando-se os resultados encontrados para absorção e índice de vazios verifica-se que, ao substituir o agregado miúdo pelo RBMG, os valores tendem a aumentar para todos os teores de substituição. No traço 1:3,5 houve uma tendência de aumento da absorção e índice de vazios em relação ao valor de referência, mas entre os valores nos concretos que houve a substituição pelo resíduo os valores ficaram quase que constantes.

No traço 1:6,5, percebe-se um comportamento semelhante ao verificado no traço 1:3,5, com valores ligeiramente superiores. Já no traço 1:5,0 a evolução destas variáveis não seguiu a mesma evolução. Todavia, como em todos os traços, os valores destas variáveis para as composições com a substituição pelo resíduo ficaram próximas aos valores das composições de referência, tais diferenças podem ter ocorrido pela imprecisão nos métodos de avaliação e não ao tratamento dado.

Pode-se concluir que a substituição parcial do agregado miúdo pelo RBMG, além de promover o desenvolvimento sustentável, pode constituir em ganho ou igualdade de desempenho de determinados tipos de concreto para as propriedades analisadas.

REFERÊNCIAS

- [1] DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral 2006. Disponível em < http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?ID_BancoArquivoArquivo=1006>. Acesso em 11 jan. 2007.
- [2] ALMEIDA, L. M. A.; V.S. Areia Artificial: Uma Alternativa Econômica E Ambiental Para O Mercado Nacional De Agregados. In: II SUFFIB - SEMINÁRIO: O Uso da Fração Fina da Britagem, 2005, São Paulo, Anais...São Paulo.
- [3] LELLES, L.C., SILVA, E.; GRIFFITH, J.J.; MARTINS, S.V. Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. Rev. Árvore, vol.29, no.3, 2005, p.439-444.
- [4] CALMON, J.L.; MORATTI, M.; SOUZA, F.L.S.; CENCI, D.S. Concreto auto-adensável utilizando resíduo de serragem de rochas ornamentais como filer. In: 47º Congresso Brasileiro De Concreto, 2005, Recife. Anais...Recife: Ibracon
- [5] LOPES, J. L. M. P. Avaliação da influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) como substituição ao cimento, na produção de concretos. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio-Ambiente. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.
- [6] MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Ed. Pini, 1994. 573p.
- [7] GOMES, K.A.E.S.; BACARJI, E. Avaliação da influência da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) substituindo o agregado miúdo na produção de

concretos. In: 50º Congresso Brasileiro De Concreto, 2008, Salvador. Anais...Salvador: Ibracon (a ser publicado)

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

[12] HELENE, P.; TERZIAN, P. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo, Ed. Pini, 2004, 349p.

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

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.