

ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MUÍDO NATURAL PELO RESÍDUO DA PEDRA DE PIRENÓPOLIS EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

REPLACEMENT OF NATURAL FINE AGGREGATE BY PIRENOPOLIS STONE WASTE IN CEMENT PORTLAND CONCRETE

Christian Moreira*

Centro Universitário de Anápolis, Anápolis – GO, Brasil
Departamento de Engenharia Civil
cfmnet@gmail.com

Ana Paula Medina

Centro Universitário de Anápolis, Anápolis – GO, Brasil
Departamento de Arquitetura e Urbanismo
medina15_@hotmail.com

Luana Lourenço

Centro Universitário de Anápolis, Anápolis – GO, Brasil
Departamento de Arquitetura e Urbanismo
luanalourenco@hotmail.com

Resumo

A sustentabilidade do nosso planeta depende de ações que visem, entre outras, a otimização na utilização dos recursos naturais disponíveis, reciclando rejeitos oriundos dos vários processos de produção. A areia natural, comumente utilizada em concretos, vem se tornando cada vez mais escassa, devido ao esgotamento de jazidas próximas aos grandes centros de consumo, assim como as restrições impostas pelos órgãos ambientais para a extração deste material. Para contribuir na diminuição do impacto ambiental provocado pela extração desordenada da areia natural, este trabalho apresenta um estudo experimental sobre a utilização do resíduo do beneficiamento da pedra de Pirenópolis como agregado miúdo em concreto de cimento Portland. O estudo consiste em verificar o comportamento de várias misturas, substituindo-se parcialmente e integralmente a areia natural pelo rejeito da pedra de Pirenópolis, avaliando as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Ao final do estudo e depois de avaliados os resultados obtidos durante os ensaios, observou-se que pode ser viável a substituição parcial de até 75 % do AMN pelo resíduo da pedra de Pirenópolis na fabricação de concreto de cimento Portland.

Palavras-chave: Agregado miúdo natural. Pedra de Pirenópolis. Concreto.

Abstract

The planet sustainability lies on actions that aims the optimization of use on natural resources, among them the reuse of several processes waste. Broadly used in concrete process, the amount of natural sand available decreased due field depletion close to consumption centers. In order to reduce the environment impact caused by chaotic natural sand extraction, this paper shows an experimental study by replacing the above mentioned by fine aggregate derivate from Pirenopolis stone waste in cement Portland concrete. The component specified had behavior of diverse admixtures analyzed

when replaced partially and consummately as its proprieties on fresh and dry concrete. As result, there is viability of partial substitution of 75% natural sand by Pirenópolis stone waste aggregate.

Keywords: Natural fine aggregate. Pirenópolis stone. Concrete.

1 Introdução

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais, sendo que os insumos minerais mais consumidos no mundo são utilizados como agregados no setor.

Estatísticas comprovam que, enquanto o consumo humano de insumos minerais varia de 2.000 a 20.000 kg/ano, o do reino vegetal varia de 400 a 500 kg/ano e do reino animal de 300 a 500 kg/ano (BUEST NETO, 2006).

A qualidade dos concretos está diretamente ligada à qualidade dos agregados, merecendo especial atenção os agregados miúdos (PETRUCCI,1998). Esses agregados sofrem com a escassez de jazidas localizadas próximas a grandes centros urbanos. Muitos fatores vêm contribuindo para esta escassez, entre eles a natureza da exploração, que é causadora de impactos ambientais.

A exploração desordenada das jazidas de areia natural tem gerado danos significativos ao meio ambiente. Além disso, os agregados naturais tem tido o seu custo significativamente aumentado à busca em locais mais distantes dos centros de consumo.

Com isso a busca, pelo meio técnico, de propostas para a substituição total do agregado miúdo natural (AMN) tem aumentado significativamente. Para fazer frente a esta escassez crescente e ao decorrente aumento do preço do agregado no mercado, a substituição deste material pelo resíduo da pedra de Pirenópolis seria uma alternativa.

O resíduo das rochas é obtido de forma simplificada durante o beneficiamento da pedra nas serrarias, onde na operação de serragem, cerca de 30 % a 40 % do volume do bloco é transformado em material fino (KITAMURA, 2011).

Observa-se, então, que a substituição da areia natural pelo resíduo da pedra de Pirenópolis no concreto elimina a extração da areia natural e gerando assim benefícios ao meio ambiente. Da mesma forma, o resíduo deixa de ser um material depositado nos pátios das serrarias, sujeito à ação do vento, e passa a ser aproveitado na produção do concreto.

Face a grande quantidade de rejeitos que são gerados durante o beneficiamento das pedras, elaborou-se este trabalho visando estudar experimentalmente a viabilidade técnica de se utilizar estes resíduos em substituição, parcial e/ou total, ao agregado miúdo natural empregado no concreto de cimento Portland.

2 Problema analisado

Concreto é o material resultante da mistura dos agregados (naturais ou britados) com cimento e água. Em função de necessidades específicas, são acrescentados aditivos químicos (retardadores ou aceleradores de pega, plastificantes e superplastificantes, etc.) e adições minerais (escórias de alto-forno, pozolanas, fileres calcários, microssílica, etc.) que melhoram as características do concreto fresco ou endurecido (ARAUJO, 2010).

Segundo PETRUCCI (1998), para obter-se as qualidades essenciais ao concreto como: facilidade de emprego quando fresco, resistência mecânica, durabilidade, impermeabilidade e constância de volume depois de endurecido, sempre tendo em vista o fator econômico, são necessários: Seleção cuidadosa dos materiais (cimento, agregado, água e aditivos) quanto a: tipo e qualidade, proporcionalmente correto, manipulação adequada, cura cuidadosa. Os agregados miúdos tem um importante papel nas qualidades do concreto. O agregado miúdo mais utilizado no Brasil é a areia natural e existem opções industriais, normalmente resíduos de beneficiamento de minérios. Para a substituição do agregado miúdo natural na fabricação do concreto, uma opção é o resíduo da Pedra de Pirenópolis.

Pirenópolis é uma cidade de quase 300 anos localizada na região leste de Goiás. A partir do século XIX, as pedras extraídas da serra que circunda a cidade passaram a serem aproveitadas para a construção de muros, paredes e, nos anos seguintes (a partir da década de 30) na construção de Goiânia e Brasília. Essas pedras eram extraídas principalmente da **Pedreira da Prefeitura** que é mostrada na Figura 1.

Figura 1 – Vista da pedreira da prefeitura em Pirenópolis



Fonte: Agita Pirenópolis, 2011¹

¹ Disponível em <<http://www.agitapirenopolis.com.br/tag/publica>>. Acesso em: 10 out. 2013

Apesar de sua importância econômica, a lavra do quartzito de Pirenópolis tem provocado manifestações de desagrado de parte da população e de órgãos ambientalistas. Alega-se que a extração tem afetado a beleza cênica da cidade. Este aspecto é mais sensível levando-se em conta a importância de Pirenópolis como um município considerado patrimônio histórico e cultural. São sensíveis os prejuízos para o desenvolvimento do turismo, atividade crescente na região.

A utilização do resíduo de mineração como agregado para o concreto seria uma forma de diminuir o passivo ambiental provocado pela atividade mineradora, criando uma nova possibilidade econômica a ser explorada pelo município.

Entretanto, na NBR 7211 (ABNT, 2009), o item três do primeiro parágrafo diz o seguinte:

Para os agregados sobre os quais não existem antecedentes de desempenho, ou que serão utilizados pela primeira vez, ou ainda aquelas regiões em que não seja economicamente possível a obtenção de agregados que preencham as condições desta norma, o consumidor poderá utilizá-los, desde que, se comprove mediante parecer técnico baseado em estudo experimental, que os mesmos produzam concreto de qualidade satisfatória.

Faz-se necessário, portanto, aferir as qualidades do resíduo da exploração das pedreiras como agregado miúdo.

3 Programa experimental

O propósito do estudo é obter parâmetros que caracterizam os concretos produzidos integralmente e parcialmente com resíduos da pedra de Pirenópolis, possibilitando dessa maneira a comparação com o concreto produzido com AMN.

3.1 Caracterização dos materiais

3.1.1 Cimento

Para o estudo experimental foi utilizado o cimento Portland Tocantins CP II Z 32 RS fabricado pela Votorantim Cimentos.

O CP II-Z contém adição de material Pozolânico que varia de 6 % à 14 % em massa, o que confere ao cimento menor permeabilidade, sendo ideal para obras subterrâneas, principalmente com presença de água, inclusive marítimas. O cimento CP II-Z, também pode conter adição de material carbonático (*filler*) no limite máximo de 10 % em massa. A norma brasileira que trata deste tipo de cimento é a NBR 11578 (ABNT, 1997).

3.1.2 Agregados

O agregado graúdo, utilizado foi a pedra de britada, apresentada na figura abaixo, comum utilizada na região de Anápolis/Goiás, com tamanho nominal de 4,8 mm (brita 00) com módulo de finura de 4,94 (Figura 2).

Figura 2 – Agregado graúdo utilizado na dosagem



Fonte: Autoria própria

O agregado miúdo natural utilizado foi uma areia grossa (Figura 3), extraída na cidade de Silvania-Go e possui as características apresentadas na Tabela 1.

Figura 3 – Areia natural utilizada na dosagem



Fonte: Autoria própria

Tabela 1 – Caracterização tecnológica da areia natural

Classificação Granulométrica	Dimensão Máxima	Módulo de Fissura	Material Pulverulento	Material Friável	Desgaste Abrasão
Areia grossa	4,8 mm	3,27	5 %	1,50 %	34 %

Fonte: Autoria própria (2013)

O agregado miúdo natural utilizado foi uma areia grossa, como mostra a Figura 4, extraída na cidade de Silvania-Go e possui as características apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Figura 4 – Quartzito branco utilizado na dosagem



Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Limites de distribuição granulométrica do quartzito branco (massa total)

Peneira (mm)	Massa retida (g)		% Retida simples		% Retifica acumulada		Média	% Pass. acum.
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2		
	50	0	0	0,0	0,0	0,0		
38	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
25	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
19	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
12,5	40	40	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	100
9,5	900	900	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	98
4,8	2785	2785	5,6	5,6	7,6	7,6	7,6	92
2,4	1455	1455	2,9	2,9	10,6	10,6	10,6	89
Fundo	44630	44630	89,4	89,4	100	100	100	0
Total	49900	49900	-	-	-	-	-	-

Fonte: Barros, 2002

Tabela 3 – Limites de distribuição granulométrica do quartzito branco (massa parcial)

(continua)

Peneira (mm)	Massa retida (g)		% Retida simples		% Retifica acumulada		Média	% Pass. acum.	% Pass. acum. Total
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2			
	1,2	10,39	10,39	2,1	2,1	2,1			
0,6	41,69	41,69	8,5	8,5	10,6	10,6	10,6	89,4	80
0,3	159,45	159,45	32,6	32,6	43,2	43,2	43,2	56,8	51

(conclusão)

Peneira (mm)	Massa retida (g)		% Retida simples		% Retifica acumulada		Média	% Pass. acum.	% Pass. acum. Total
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2			
0,15	183,9	183,9	37,5	37,5	80,7	80,7	80,7	19,3	17
Fundo	94,4	94,4	19,3	19,3	100,0	100,0	100,0	0,0	0
Total	489,83	489,83	100,0	100,0	-	-	-	-	-

Fonte: Barros, 2002

3.2 Dosagem

Foi desenvolvido um traço, experimental, utilizando os materiais acima citado. Esse traço gerou um concreto que alcançou aos 28 dias uma resistência a compressão de 20 MPA, sem considerar a adição dos resíduos da pedra de Pirenópolis.

Para isto o traço foi o seguinte (Tabela 4):

Tabela 4 – Traço em massa do concreto

Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)
1	1,4	2,12	0,61

Fonte: Autoria própria

3.3 Amassamento

O concreto foi produzido de acordo com a NBR 12821 (ABNT, 2009) em betoneira de eixo inclinado com volume de 150 litros.

Foram feitas cinco tipos de mistura nas seguintes proporções (Tabela 5):

Tabela 5 – Traço em massa para as misturas dosadas

(continua)

1 kg				
Cimento	AMN (100%)	Pedra de Pirenópolis (0%)	Brita	Água
1,00	1,40	0,00	2,12	0,61
2 kg				
Cimento	AMN (75%)	Pedra de Pirenópolis (25%)	Brita	Água
1,00	1,05	0,35	2,12	0,61

(conclusão)

3 kg				
Cimento	AMN (50%)	Pedra de Pirenópolis (50%)	Brita	Água
1,00	0,70	0,70	2,12	0,61
4 kg				
Cimento	AMN (25%)	Pedra de Pirenópolis (75%)	Brita	Água
1,00	0,35	1,05	2,12	0,61
5 kg				
Cimento	AMN (0%)	Pedra de Pirenópolis (100%)	Brita	Água
1,00	0,00	1,40	2,12	0,61

Fonte: Autoria própria

4 Métodos e ensaios

Os métodos utilizados para este estudo seguem o recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e são citados a seguir.

- Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto (ABNT, 2008);
- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998)

Após a produção do concreto, ainda no estado fresco, foi observada a consistência do concreto produzido através do ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Na Figura 4 pode-se observar o detalhe do ensaio da primeira mistura rodada.

Figura 4 – *Slump teste*



Fonte: Autoria própria

Para o ensaio de compressão axial foram moldados um total de 20 (vinte) corpos de prova (cp's) cilíndricos de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura com adensamento manual, de acordo com as conformidades da NBR 5738 (ABNT, 2003). Como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Corpos de prova aguardando a secagem



Fonte: Autoria própria

Após 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e levado para a cura, onde ficam submersos em uma mistura de água com cal até as idades de 7 (sete) e 28 (vinte e oito) dias para a realização dos ensaios.

5 Programa Experimental

A Figura 6 mostra os resultados obtidos nos ensaios de abatimento do tronco de cone para cada mistura.

Figura 6 – Resultados obtidos no teste de *slump*



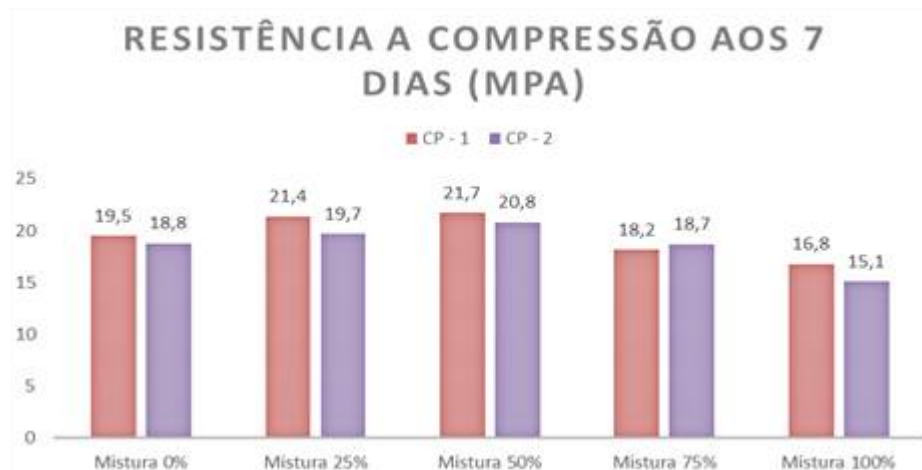
Fonte: Autoria própria

Analisando os resultados obtidos no ensaio de abatimento de tronco de cone, podemos observar que conforme aumentamos a quantidade de rejeitos empregados na fabricação do concreto

diminuímos a trabalhabilidade do mesmo devido à maior capacidade de absorção do resíduo da pedra de Pirenópolis.

Após 7 (sete) dias da moldagem dos corpos de prova, foram ensaiados 2 cp's de cada mistura e os resultados são mostrados na Figura 7.

Figura 7 – Resultados obtidos no ensaio de compressão aos 7 dias



Fonte: Autoria própria

No final os corpos de prova apresentaram a média de resistência apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Resistência média aos 7 dias

Mistura	Resistência Média (Mpa)
1	19,15
2	20,55
3	21,25
4	18,45
5	15,95

Fonte: Autoria própria

Em vista dos resultados obtidos durante os ensaios de compressão axial, podemos destacar em primeiro plano que já aos 7 dias de idade os corpos de prova de todas as misturas alcançaram uma ótima resistência, em destaque as misturas 2 e 3 com 25 % e 50 % de substituição do AMN pelo resíduo da pedra de Pirenópolis, que já aos 7 dias superaram a resistência de 20 Mpa esperada para os 28 dias.

Após 28 dias da moldagem dos corpos de prova, foram ensaiados novamente 2 cp's de cada mistura e os resultados são mostrados na Figura 8.

Figura 8 – Resultados obtidos no ensaio de compressão aos 28 dias



Fonte: Autoria própria (2013)

Em suma a média dos cp's aos 28 dias foram às apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Resistência média aos 28 dias

Mistura	Resistência Média (Mpa)
1	22,55
2	25,40
3	26,65
4	22,55
5	19,35

Fonte: Autoria própria

Já aos 28 dias de idade observamos que com exceção da mistura 5, todas as outras misturas superaram a resistência esperada ultrapassando a marca dos 20 MPa, e também que as misturas 2 e 3 obtiveram as maiores resistências conforme o previsto no ensaio dos 7 dias. No final do ensaio obtiveram-se as seguintes médias para os 28 dias.

6 Considerações finais

Depois de analisar todos os resultados obtidos, e considerando a mistura 1 que continha 100 % do AMN como referência, observamos que na mistura 2, com 25 % de substituição conseguimos um aumento significativo da resistência com a mesma relação a/c. A mistura 3, com 50 % de substituição do AMN, que foi a que obteve a maior resistência alcançando mais de 26,5 Mpa.

Destaca-se também a mistura 4 com 75 % de substituição do AMN que obteve a mesma média de resistência aos 28 dias que a mistura 1 dosada com 100 % do AMN, o que nos leva a concluir que seja viável a substituição de até 75 % do AMN na fabricação de concretos de cimento Portland. Na mistura 5 com 100 % do resíduo da pedra na dosagem, podemos observar que não obteve-se sucesso, pois a mesma não alcançou a resistência estimada, portanto não sendo viável neste caso a total substituição do AMN pelo resíduo da pedra de Pirenópolis.

Podemos então considerar que o uso do resíduo da pedra de Pirenópolis na fabricação de concreto de cimento Portland é viável, pois pode-se substituir até 75 % a areia natural na produção do concreto e obter-se uma resistência final com valores próximos do concreto convencional dosado com 100 % de AMN.

Referências

ARAUJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. 4 v.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro 2009.

_____. **NBR 12821**: preparação de concreto em laboratório: procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 67**: concreto determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 11578**: cimento Portland composto: especificação. Rio de Janeiro, 1997.

BARROS, T. P. **Difusão de tecnologia mineral para aproveitamento dos rejeitos granulados de lavras de quartzito ornamental na região de Pirenópolis – GO**. 2002. 76 f. Agencia Goiana de desenvolvimento industrial e mineral, Goiânia 2002.

BUEST NETO, G. T. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concreto de cimento Portland**. 2006.169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ECIVILNET. **O Cimento Portland**. Disponível em < http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland.htm>. Acesso em: 10 out. 2013.

KITAMURA, S. **Estudo experimental sobre a influência da substituição do agregado miúdo natural por granito triturado, nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2011. 208f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13.ed. ver. Por Vladimir Antônio Paulon. São Paulo: Globo, 1998.