



### III-265 - ESTUDO DO APROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO DO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO ADITIVO NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO

**Paulo Monteiro Martins<sup>(1)</sup>**

Aluno de Graduação do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. Bolsista do Programa Bitec de Iniciação Tecnológica.

**Ricardo Franci Gonçalves**

Engenheiro Civil e Sanitarista. UERJ (1984), pós-graduado em Enga de Saúde Pública. ENSP/RJ (1985), DEA Ciências do Meio Ambiente. Universidade Paris XII, ENGREF, ENPC, Paris (1990), Doutor em Engenharia do Tratamento e Depuração de Águas. INSA de Toulouse, França (1993), Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da UFES.

**Fernando Avancini Tristão**

Engenheiro Civil, UFES (1981). Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (1995). Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (2005). Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da UFES.

**Daniel Ernesto Otárola Tasaico**

Engenheiro Mecânico - Pontifícia Universidade Católica do Peru (1993). Mestre do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Espírito Santo (2007).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Olímpio Lúrio, 60 – Santa Lúcia – Vitória - ES - CEP: 29056-135 - Brasil - Tel: (27) 3324-6161. email: xmonteirox@gmail.com

#### RESUMO

A quantidade de resíduo gerada durante o beneficiamento de rochas ornamentais é uma questão de grande importância para as empresas do setor. Devido ao grande volume que é gerado, a sua disposição final pode gerar problemas logísticos e econômicos, além de ambientais, já que o descarte muitas vezes é feito de maneira inadequada. Desta maneira, o aproveitamento deste material, incorporando-o no desenvolvimento de novos produtos, com o intuito de se minimizar os impactos ambientais e diminuir custos com a sua disposição em aterros sanitários ou com licenciamento de áreas para devido descarte, apresenta-se como uma importante alternativa para as empresas do setor.

O presente trabalho relata, dessa forma, estudo realizado com pré-moldados de concreto desenvolvidos com adição em proporções graduais do resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais. Iniciou-se os trabalhos com a confecção de um traço referência sem adição de resíduo (1:2,02:2,63:0,5; cimento:areia:brita:água/cimento). Para avaliação da qualidade das peças produzidas, confeccionou-se corpos-de-prova (10x20cm) e uma peça de meio-fio de concreto (12x35x100cm) para cada traço. Efetuou-se ensaios de resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias com corpos-de-prova confeccionados; e aos 28 dias com corpos-de-prova extraídos do meio-fio fabricado.

Os estudos realizados com os pré-moldados de concreto com adição de resíduo do beneficiamento de rochas permitiram concluir que a adição do resíduo é tecnicamente viável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo, Beneficiamento, Rochas Ornamentais, Pré-moldados de concreto, Meios-fios.

#### INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos cinco maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais no mundo. O Espírito Santo, por sua vez, responde por quase 40% da produção brasileira de rochas e concentra 60% da capacidade instalada de beneficiamento de blocos (ABIROCHAS, 2008).

A elevada capacidade produtiva das indústrias do estado sugere uma elevada geração de resíduos, cujo tratamento e adequada disposição não são possíveis para muitos empresários. A partir dessa constatação, fez-se necessário o desenvolvimento de estudos que visassem à incorporação do referido resíduo no desenvolvimento de novos produtos.



O presente trabalho contém estudos realizados com resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais provenientes de uma empresa localizada em município no norte do Estado do Espírito Santo. A referida empresa conta com um sistema de tratamento de resíduo bastante eficiente, no qual a água proveniente da serragem dos blocos é reaproveitada, e o resíduo descartado apresenta índices de umidade de aproximadamente 25%.

O trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira configurou-se como a amostragem do resíduo e dos materiais utilizados na confecção do concreto, e teve início com a coleta do resíduo e com a caracterização dos materiais utilizados. A segunda etapa consistiu no estudo de confecção dos traços e execução de ensaios.

Dos estudos realizados, concluiu-se que a incorporação do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de pré-moldados de concreto é tecnicamente viável.

Os trabalhos foram desenvolvidos nas dependências do Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção (LEMAC) na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A atividade de extração e beneficiamento das rochas ornamentais se inicia nas lavras, pedreiras onde ocorre a extração dos blocos, que, em seguida, serão transportados para as serrarias para que sejam realizadas as etapas do beneficiamento. Em todas as etapas do processamento das rochas há geração de resíduo. Nesta pesquisa, será utilizado apenas o resíduo proveniente da serragem dos blocos.

No processo de corte das rochas, utiliza-se uma lama abrasiva, constituída por rocha moída e água, além de cal e granalha (ferro granulado), que lubrificam, resfriam e evitam a oxidação das lâminas de serragem e servem como abrasivo, facilitando o processo de corte (Reis, 2008). A coleta de lama proveniente do corte das rochas foi feita em uma empresa localizada no município da Barra de São Francisco, no norte do Espírito Santo

A descrição das duas etapas da pesquisa será apresentada a seguir.

### PRIMEIRA ETAPA: AMOSTRAGEM DE RESÍDUO E MATERIAIS

O resíduo foi coletado em uma empresa de beneficiamento de rochas localizada no município da Barra de São Francisco, no Espírito Santo. A lama proveniente do beneficiamento das rochas passava por um tratamento no qual a água proveniente da serragem era reaproveitada no sistema e a lama era descartada com índice de aproximadamente 25% de umidade, como visto na Figura 1. Após o descarte, a lama era transportada por caminhões até uma área licenciada pela empresa para a sua destinação final.



(a)



(b)

**Figura 1: (a) Parte do sistema de tratamento do resíduo; (b) Resíduo descartado.**

Com o auxílio de uma pá colheu-se amostra de aproximadamente 80,0Kg de resíduo diretamente da área de descarte da empresa. O resíduo, em função da alta incidência de sol no local de descarte e da baixa ocorrência de chuvas no período da pesquisa, apresentava-se sob o formato de um pó fino e bastante seco. Em seguida a amostra foi transportada para o LEMAC-UFES, onde foi armazenada.



Após ser transportado para o LEMAC-UFES, realizou-se análise de umidade com o resíduo, que apresentou teor de umidade próximo a 3%, estando pronto para a utilização nos experimentos.

A brita utilizada (brita 1) teve determinada a sua composição granulométrica, enquanto que a areia foi peneirada na peneira de abertura de malha 4,8 mm. Para a sua utilização, tanto a brita quanto a areia foram espalhadas no chão do laboratório, dias antes do seu uso, para que perdessem umidade. O cimento utilizado foi CPIII-40-RS.

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

O resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais utilizado foi coletado já seco, pronto para uso, não havendo a necessidade da determinação de umidade em outras amostras.

Os resultados obtidos pela determinação da granulometria da brita são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1: Granulometria da brita.**

Peneira	Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
19	30,5	1,53	1,53
12,5	1264,4	63,24	64,76
9,5	598,4	29,93	94,69
6,3	77	3,85	98,54
4,8	5,2	0,26	98,80
Fundo	24	1,20	100,00
Total	1999,5	100	100
Massa Inicial	2000		

Foi também determinada a massa unitária da brita no estado solto, cujo valor médio foi de 1.545 kg/dm<sup>3</sup>.

Quanto à areia, foi determinada a sua massa unitária no estado solto (1,530 kg/dm<sup>3</sup>) e sua massa específica (2,632 kg/dm<sup>3</sup>).

Já a caracterização do cimento foi obtida mediante consulta aos resultados de ensaios realizados pelo próprio fabricante.

## SEGUNDA ETAPA: CONFEÇÃO DOS TRAÇOS E REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

Foram confeccionados ao todo 6 traços, sendo um traço referência (TR) sem adição de resíduo, e outros cinco traços com percentuais gradativos de resíduo (T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente). O procedimento para a confecção de um traço se dava da maneira como se descreve a seguir.

Após cálculo do volume de concreto a ser produzido e da massa dos constituintes utilizada, estes eram pesados e dispostos em padiolas próximas à betoneira onde seria efetuada a mistura. O procedimento de mistura era o descrito a seguir:

- primeiro era colocada toda a brita e um terço da água. A betoneira era ligada por 30 segundos;
- em seguida era adicionado o cimento e o resíduo, quando houvesse, e mais um terço da água. Misturava-se novamente por mais 30 segundos.
- por fim, adicionava-se toda a areia e o restante da água. Ligava-se a betoneira e misturava-se por dois minutos.

O volume de água a ser colocado era baseado numa estimativa feita mediante cálculos prévios. Entretanto, nos traços fabricados com a adição do resíduo, fez-se necessária a correção da quantidade de água a ser adicionada. Para tanto, em todos os traços fabricados, após a mistura dos constituintes, executava-se o ensaio

de abatimento do concreto de acordo com a norma NBR NM 67/1998.

O abatimento ideal foi definido como sendo de  $80 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ . Na confecção do T1, por exemplo, foi realizada adição de água por duas ocasiões, até que o concreto adquirisse a consistência desejada, conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2: Execução do ensaio de abatimento: (a) 0mm; (b)50,0mm; (c)80,0mm.**

Após obter-se a consistência desejada, pôde-se despejar o concreto por sobre as fôrmas de meio-fio e de corpos-de-prova padronizados, ambas previamente revestidas com óleo, para impedir que o concreto se aderisse à superfície.

A confecção dos corpos-de-prova (10x20cm) foi executada de acordo com a norma NBR 5738/2003. A confecção do meio-fio foi realizada despejando-se o concreto sobre a fôrma e em seguida inserindo vibrador para retirada de ar do concreto. Feito isso, realizou-se o acabamento da superfície com o auxílio de uma trolha de metal. O meio-fio e corpos-de-prova são mostrados na Figura 3.



**Figura 3: (a) Meio-fio e corpos-de-prova confeccionados; (b) Meio-fio e corpos-de-prova desmoldados.**

Um dia após terem sido confeccionados, o meio-fio e os corpos-de-prova foram desmoldados, identificados com a data de fabricação, traço e data de ruptura, e transferidos para câmara úmida para processo de cura. Devido à sua dimensão, optou-se por molhar o meio-fio com o uso de uma mangueira, enquanto que os corpos-de-prova ficaram sob a aspersão de água, como mostra a Figura 4.



**Figura 4: Câmara úmida. Aspersor de água no alto, à direita.**

Os corpos-de-prova de concreto tiveram as suas resistências à compressão avaliadas aos sete e aos 28 dias. Além disso, os meios-fios confeccionados tiveram, cada um, extraídos 4 corpos-de-prova para avaliação da resistência à compressão aos 28 dias.

Os corpos-de-prova que seriam ensaiados aos sete dias eram retirados da câmara úmida no sexto dia para

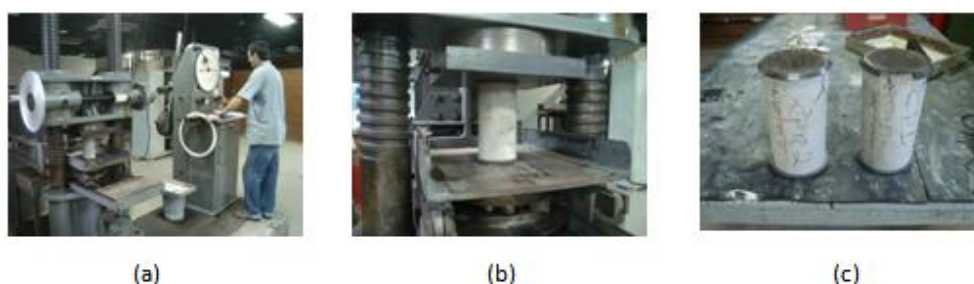


devido capeamento. Os corpos-de-prova tiveram suas faces polidas para evitar imperfeições durante o capeamento, que foi realizado sobre superfície plana nivelada e de acordo com o descrito na norma NM 77/1996, utilizando-se pasta de enxofre.

Os corpos-de-prova que deveriam ser ensaiados aos 28 dias eram retirados da câmara úmida no vigésimo sétimo dia, para que o mesmo processo de capeamento fosse executado.

Também se executou avaliação da resistência à compressão de corpos-de-prova extraídos dos meios-fios confeccionados. Desta forma, quando a peça fabricada completava o seu vigésimo quinto dia, fazia-se a extração dos corpos-de-prova. Após serem extraídos, os corpos-de-prova retornavam à câmara úmida, para no dia seguinte serem capeados conforme procedimento já citado.

Os seis traços confeccionados foram identificados como TR (traço referência, sem adição de resíduo); T1, T2, T3, T4 e T5. Os corpos-de-prova, antes de ensaiados, tiveram tomados os seus diâmetros e alturas. Os procedimentos do ensaio são os mesmos descritos na norma NBR 5739/1994, como mostra a Figura 5.



**Figura 5: (a) Preparação da máquina; (b) Corpo-de-prova sob compressão; (c) Corpos-de-prova ensaiados.**

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão obtidos com corpos-de-prova moldados e ensaiados aos 7 dias (M-7), corpos-de-prova moldados e ensaiados aos 28 dias (M-28) e corpos-de-prova extraídos dos meios-fios (E-28), ensaiados somente aos 28 dias, são apresentados na Tabela 2.

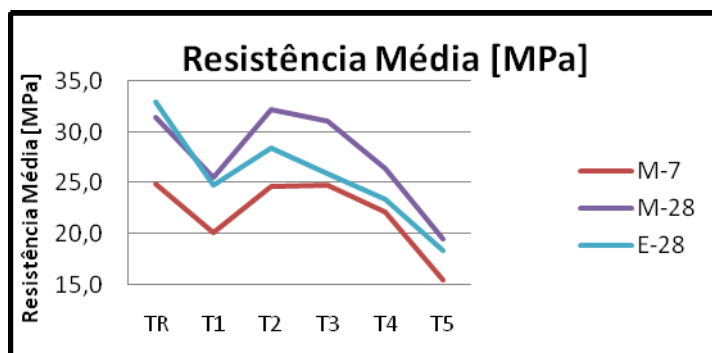
**Tabela 2: Resistência Média [MPa]**

Traço	M-7	M-28	E-28
TR	24,9	31,4	32,9
T1	20,1 <sup>1</sup>	25,6	24,8
T2	24,6	32,2	28,4
T3	24,7	31,0	25,9
T4	22,1	26,4	23,4
T5	15,5	19,5	18,4

Obteve-se uma curva para cada modo de ensaio, como visto na Figura 6.

<sup>1</sup> O traço T1 teve o primeiro ensaio aos oito dias, e não aos sete, como os demais.

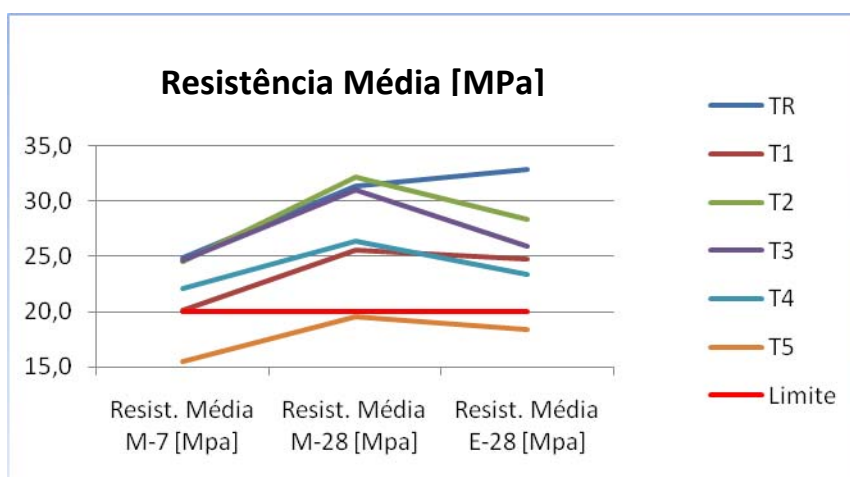




**Figura 6: Resistência Média por traço fabricado para cada modo de ensaio.**

Observa-se que, a partir do T2, ocorre queda não significativa da resistência à compressão com o aumento da quantidade de resíduo no traço aos 28 dias para corpos-de-prova confeccionados e extraídos dos meios-fios. Entretanto, o traço T1 apresentou valores ainda menores que os demais traços (exceto T5) em todas as modalidades de ensaio. Uma nova avaliação com esse traço é recomendada, uma vez que se trata do traço com menor adição de resíduo dentre os avaliados, não justificando, portanto, tão acentuada queda no valor da resistência média. Observa-se ainda que, com exceção de TR, a curva E-28 encontra-se sempre abaixo da curva M-28, o que corrobora o descrito na norma NM 69/1996.

Baseado nos mesmos valores obteve-se também curvas para cada traço produzido, como mostra a Figura 7.



**Figura 7: Curvas de resistência por modo de ensaio para cada traço fabricado.**

Observa-se novamente que os valores para E-28 são, com exceção do TR, sempre menores que os valores de M-28, para o mesmo traço confeccionado. A curva vermelha, indicada por Limite, trata-se do limite estabelecido pela ET-DE-H00-018, especificação técnica do DER-SP, de 20 MPa para a utilização de meios-fios de concreto, utilizada como referência para este trabalho. Observa-se que todas as curvas, com exceção de T5, em M-28 e E-28 estão acima deste limite.

Mediante tais resultados apresentados, escolheu-se o traço T4 como sendo o melhor dos avaliados, pois é, dentre os traços avaliados, o que apresenta o maior consumo de resíduo no concreto mantendo-se dentro da especificação da norma quanto à sua resistência à compressão.

Tendo-se escolhido o traço T4 como sendo o melhor dentre os avaliados, fez-se uma comparação entre o gasto de cimento na produção do concreto TR e o gasto de cimento na produção do concreto T4.

Observou-se que em função da adição do resíduo, o concreto T4 apresentou menor consumo de cimento para a fabricação do concreto. O consumo de cimento que no concreto TR era de 392 kg cimento/m<sup>3</sup> de concreto chegou, no T4, a 323 kg cimento/m<sup>3</sup> de concreto, representando uma queda de 17,6% no consumo de cimento e consequente queda no custo de produção do concreto. Entretanto, destaca-se que a redução no custo do concreto com a adição do resíduo é, na verdade, ainda maior, pois os demais insumos, como brita e areia,



também têm seu uso reduzido por m<sup>3</sup> de concreto produzido.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A fabricação de meios-fios de concreto com adição de resíduo é viável dentro dos parâmetros analisados.

A resistência média à compressão do traço escolhido (T4) foi de 26,4 MPa, para os corpos-de-prova confeccionados ensaiados aos 28 dias de idade, acima, portanto, do limite de 20 MPa estabelecido pela ET-DE-H00-018 do DER/SP, o maior valor encontrado.

Em função da adição do resíduo aos traços, foram feitos aumentos graduais do volume de água adicionado. Essa adição de água poderia ser fator de diminuição da resistência à compressão do concreto, entretanto, verificou-se que a utilização do resíduo compensa a queda de resistência causada pelo aumento no consumo de água, não comprometendo, portanto, a qualidade do concreto quanto à resistência à compressão. Destaca-se ainda que, por funcionar como filler, o resíduo pode ainda melhorar a qualidade do concreto em função da diminuição de sua permeabilidade, podendo garantir maior durabilidade ao concreto.

Além disso, obteve-se redução de 17,6% no consumo de cimento para a fabricação do concreto, em comparação com o TR. Destaca-se ainda que, como observado, os custos de produção de um traço com adição de resíduo podem ser ainda menores, já que o percentual dos demais insumos utilizados também diminui.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Conheça as Rochas Ornamentais. Noções Gerais do Beneficiamento. São Paulo. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04.php)> . Acesso em: 16 de Janeiro de 2009.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. .
3. \_\_\_\_\_. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
4. \_\_\_\_\_. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
5. \_\_\_\_\_. NM 69: Concreto – Extração, preparação e ensaio de testemunhos de estruturas de concreto. 1996.
6. \_\_\_\_\_. NM 77: Concreto – Preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão.
7. REIS, Alessandra Savazzini dos. Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil. 2008. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/Espírito Santo. 2008.