



PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS COM UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Washington A. Moura¹; Mônica B. Leite Lima²; João Luiz Calmon Nogueira da Gama³; Markus Moratti⁴; Fernando Lôrdelo dos Santos Souza⁵

¹ Dr., Prof. Titular DTEC/UEFS*, E-mail: wam@uefs.br; ² Dr^a, Prof^a. Adjunto DTEC/UEFS*, E-mail: mleite@uefs.br -

³ Dr., Professor Adjunto, CT/UFES**, Email: calmont@npd.ufes.br; ⁴ Eng. Civil, Bolsista CNPq**, Email: markusmoratti@gmail.com; Prof. Dep. Estruturas e Materiais de Construção/UFES**, E-mail: fernallon@npd.ufes.br

*Universidade Estadual de Feira de Santana-Ba, Km 03, BR 116- Campus Universitário – CEP - 44031460 - Cidade Feira de Santana - Tel. +55 75 3224 8117.

** Universidade Federal do Espírito Santo. Av. Fernando Ferrari, 845-Campus Universitário de Goiabeiras – Vitória/ES. Brasil. CEP: 29060 900. Tel. +55 27 33352174.

RESUMO

A geração de resíduos sólidos tem sido um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade. O destino e manuseio adequados destes resíduos são, geralmente, custosos e de difícil implementação. A reintegração do resíduo na cadeia produtiva seria de grande importância para todos os setores envolvidos. O setor de rochas ornamentais gera cerca de 800.000 t/ano de resíduo, durante o beneficiamento da rocha (CHIODI FILHO, 2005). O aproveitamento desse resíduo como material suplementar para produção de componentes à base de cimento, se apresenta como uma das alternativas de redução do impacto gerado pelo setor de rochas. Assim como, pode reduzir o consumo de matéria-prima e energia na construção civil. Nesse contexto, foi desenvolvido um estudo de aproveitamento do resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO) - mármore e granito - para produção de pisos intertravados pré-moldados para habitação de interesse social (RSROHIS). No estudo foram produzidas misturas de concreto para pisos intertravados, substituindo teores de 5, 10 e 15% de cimento por RSRO. Foram coletados 2 tipos de RSRO, em empresas beneficiadoras dos estados da Bahia e Espírito Santo. O RSRO é classificado como classe III – Inerte. Neste trabalho serão apresentados os resultados de resistência à compressão. Os resultados a resistência à compressão dos pisos produzidos com utilização de 5% e 10% de RSRO são maiores que os resultados do piso de referência.

Palavras-Chave: Pisos pré-moldados, resíduo de serragem de rochas ornamentais, aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

The solid waste generation has been a great problem faced by society. The correct destination and management of residues are generally too expensive and difficult. Several technical solutions consider the incorporation of these residues in other industries as a by-product. It is very important to all industries involved with this alternative. The dimension stone industry generate nearly 800.000 tons/year of dimension stone sawing residue (DSSR) (CHIODI FILHO, 2005). This residue has been used as supplementary material to concrete production. This work was carried out using finely ground DSSR, from marble and granite, as substitution of cement, to precast pavement blocks. It will be used to social dwelling interest. At this experimental program the cement was replaced by 5, 10 and 15% of finely ground DSSR, by mass. The DSSR is classified as non environmental risk residue. The precast pavement blocks were evaluated by compressive strength. Precast pavement blocks made with 5 and 10% of cement replacement by DSSR showed higher values of strength than one used for reference.

Key-Words: Precast pavement blocks, dimension stone sawing residue (DSSR), residues.

1.0 Introdução

Segundo Montani, citado por Chiodi Filho, (2005) a produção mundial de rochas ornamentais em 2003 totalizou 75 milhões de toneladas sendo que deste valor a Ásia foi responsável por 45,9% , a Europa por 39,4%, as Américas por 10,3%, a África por 4,0% e a Oceania por 0,4%. O Brasil ocupa a posição de 7º maior produtor mundial de rochas ornamentais, tendo produzido 4% do total.

Segundo Guerra, (2005), o Brasil possui uma reserva de cerca de 8,57 bilhões de metros cúbicos de rochas ornamentais para mais de 500 variedades. A produção oficial indicada pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS - para o ano de 2004 foi de 6,45 milhões de toneladas. Há no Brasil 12.000 empresas do setor de rochas e cerca de 1500 frentes ativas de lavra. Dentre os estados da União com maior produção em 2004 tem-se o Espírito Santo com cerca de 2,8 milhões de toneladas, seguido por Minas Gerais com 1,65 milhões, Bahia e Ceará com 410 mil, Rio de Janeiro com 250 mil e Paraná com 200 mil toneladas (CHIODI FILHO, 2005).

O beneficiamento dos blocos chamado de primário é realizado através de sua serragem em chapas e é realizada em equipamentos conhecidos como teares. Segundo Gonçalves, (2000) na etapa de beneficiamento dos blocos cerca de 25 a 30% do seu volume é transformado em Resíduo de Serragem. Como a produção mundial de 2003, já acima mencionado, foi de 75 milhões, o volume de resíduo gerado, seguindo essa estimativa, foi de 18,7 milhões de toneladas aproximadamente. No Brasil são geradas cerca de 800.000 t/ano deste resíduo (CHIODI FILHO, 2005).

Proporcional ao tamanho da geração é o problema atual encontrado pelas indústrias do setor que não possuem local adequado para a disposição deste resíduo. Geralmente, a disposição do RSRO é feita nos pátios das empresas beneficiadoras. Quando não há mais lugar para disposição, em geral, os resíduos são lançados em corpos d'água e terrenos baldios.

Algumas pesquisas já foram realizadas com o objetivo de inserir o RSRO na cadeia produtiva, sendo usado como material de substituição e/ou adição em concretos, materiais cerâmicos e argamassas. Gonçalves (2000) utilizou o resíduo na produção de concretos. Falcão (2001) utilizou o resíduo para a produção de peças cerâmicas e blocos estruturais. Os resultados obtidos nestes trabalhos apontam para a viabilidade da utilização deste resíduo. Moura et al. (2002) utilizaram o RSRO para produção de argamassas de revestimento e Calmon *et al.*, (1997) para produção de argamassas de assentamento.

Uma parceria entre a Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) possibilitou o estudo da utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para produção de argamassa para blocos de vedação e concretos para blocos estruturais e pisos pré-moldados. Essa pesquisa foi financiada pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e pelo Centro Tecnológico do Mármore e Granito (CETEMAG). Na pesquisa foram estudados quatro amostras diferentes de RSRO, sendo duas coletadas na região de Feira de Santana e duas da região de Cachoeiro do Itapemirim. Duas amostras foram geradas a partir da serragem com fio diamantado e duas utilizando a polpa abrasiva.

Nesse trabalho serão apresentados os resultados de resistência à compressão dos pisos intertravados produzidos na UEFS e na UFES. São apresentados os resultados dos pisos com diferentes teores de RSRO gerado por serragem com fio diamantado.

2.0 PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS

2.1 Materiais Empregados

Para o desenvolvimento do programa experimental foram utilizados: cimento, areia, brita 9,5 mm, resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO) e água. As características destes materiais estão apresentadas a seguir.

2.1.1 Caracterização do Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais (RSRO)

Para o programa experimental foram avaliados os resíduos gerados em uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais, localizadas na cidade de Feira de Santana, e uma empresa do Estado do Espírito Santo. Ambas utilizam o processo de serragem das rochas ornamentais através de fios diamantados.

A amostragem do resíduo foi estabelecida de acordo com a NBR 10007 (ABNT, 2005), segundo o item 5.1.6, sendo coletado um volume em torno de 5m^3 , para cada amostra. A Figura 1 mostra um aspecto do resíduo depositado no pátio de uma das empresas geradoras. Depois de coletadas, as amostras foram depositadas em baias localizadas na UEFS (Universidade Estadual de Feira de Santana) e UFES (Universidade Federal do Espírito Santo), respectivamente. Após a secagem, ao ar, o RSRO foi destorroado. Na UEFS o destorroamento foi feito em moinho de bolas horizontal, durante 2 minutos, enquanto que na UFES foi realizado num britador de mandíbula plana.



Figura 1 Aspecto da deposição de RSRO no pátio da empresa geradora

Do ponto de vista das propriedades físicas do RSRO, foram avaliadas a massa específica, determinada de acordo com as prescrições normativas da NBR NM 23 (ABNT, 2001) e a massa unitária, segundo as prescrições da NBR 7251 (ABNT, 1982). Além disso, foi realizado o ensaio de granulometria a laser das amostras dos resíduos.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os ensaios de massa específica, massa unitária e granulometria, tanto na UEFS quanto na UFES.

Tabela 1 Resultados de massa específica, massa unitária e diâmetro médio do RSRO

| TIPO DE RESÍDUO | Massa Específica (kg/dm^3) | Massa Unitária (kg/dm^3) | Diâmetro Médio (μm) |
|-----------------|---|---|-------------------------------------|
| RSROFD UEFS | 2,670 | 0,920 | 1,197 |
| RSROFD UFES | 2,664 | 0,823 | 1,861 |

RSROFD – Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais obtido por Fio Diamantado

O diâmetro médio do RSRO é bastante inferior ao do cimento, que é da ordem de $19\mu\text{m}$.

Os ensaios de caracterização química e de risco ambiental foram realizados em laboratório especializado, em Porto Alegre. A Tabela 2 apresenta a composição química das amostras de RSRO utilizadas em cada uma das instituições de pesquisa.

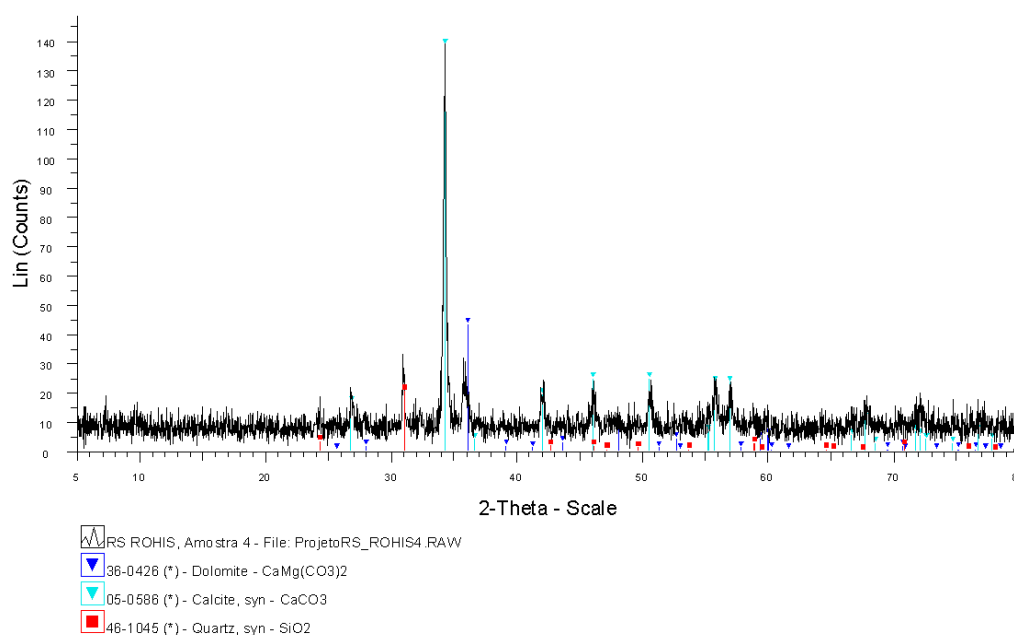
Com base na análise química, o resíduo é composto, basicamente, por cálcio, alumínio, magnésio e ferro. Observa-se que o resíduo utilizado na UEFS apresenta uma concentração elevada de cálcio. Esse fato pode ser decorrente de uma maior incidência de mármore durante o processo de beneficiamento.

Tabela 2 Composição Química do RSRO da UEFS, serrado com fio diamantado

| Parâmetros | Unidades | Resultados da Amostra | | % elementos | |
|--------------------------|----------|-----------------------|---------|-------------|-------|
| | | UEFS | UFES | UEFS | UFES |
| pH (mistura 1:1 em água) | - | 9,0 | 9,4 | - | - |
| Umidade | (%) | 2,5 | 3,5 | - | - |
| Matéria Orgânica | (%) | 0,7 | 5,5 | - | - |
| Cinzas | (%) | 96,8 | 91,0 | - | - |
| Alumínio | (mg/kg) | 1.345,0 | 3.271,0 | 0,66 | 20,87 |
| Cádmio | (mg/kg) | 4,4 | 2,5 | 0,002 | 0,02 |
| Cálcio | (mg/kg) | 200.000,0 | 8.784,0 | 97,56 | 56,05 |
| Chumbo | (mg/kg) | 40,1 | 15,9 | 0,02 | 0,10 |
| Cromo | (mg/kg) | ND* | 71,6 | - | 0,46 |
| Ferro | (mg/kg) | 925,0 | 1.947,0 | 0,45 | 12,42 |
| Magnésio | (mg/kg) | 2.678,0 | 1.545,0 | 1,31 | 9,86 |
| Níquel | (mg/kg) | 20,0 | 36,0 | 0,01 | 0,23 |

ND* = Não Detectado

Nas Figuras 2 e 3 estão apresentados os difratogramas do RSRO com fio diamantado.

**Figura 2** Difratograma de raios X do RSRO da UEFS, serrado com fio diamantado

A análise dos difratogramas evidenciam a presença de compostos químicos na forma tipicamente cristalina. Esta característica indica que o resíduo não possui propriedades aglomerantes ou pozolânicas.

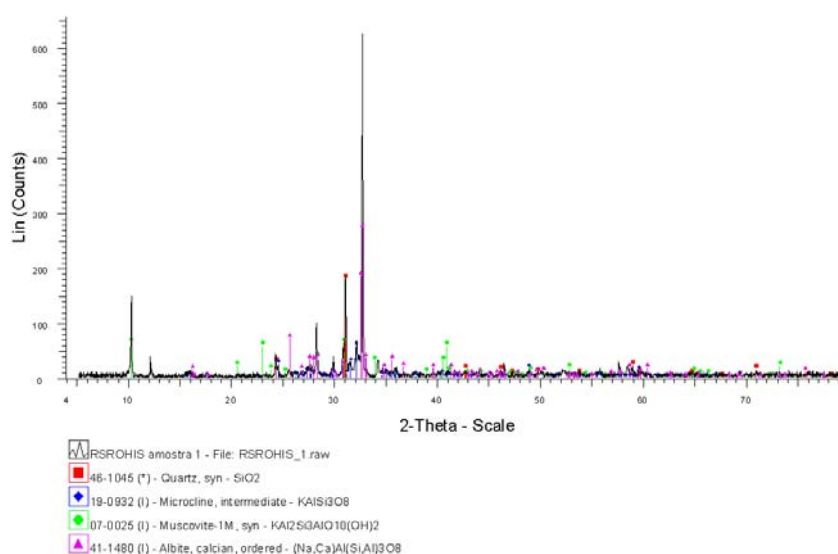


Figura 3 Difratograma de raios X do RSRO da UFES, serrado com fio diamantado

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de lixiviação das amostras de RSRO e a Tabela 4 apresenta os resultados de solubilização.

Tabela 3 Resultados do ensaio de lixiviação do RSRO da UFES, serrado com fio diamantado

| Parâmetros | Unidades | Resultados da Amostra | | Limites Máximos (NBR-10.004) |
|-------------|----------|-----------------------|------|------------------------------|
| | | UEFS | UFES | |
| Arsênio | (mg/L) | ND* | ND* | 1,0 |
| Bário | (mg/L) | ND* | ND* | 70,0 |
| Cádmio | (mg/L) | ND* | ND* | 0,5 |
| Chumbo | (mg/L) | ND* | ND* | 1,0 |
| Cromo Total | (mg/L) | ND* | ND* | 5,0 |
| Mercúrio | (mg/L) | ND* | ND* | 0,1 |
| Fluoreto | (mg/L) | ND* | ND* | 150,0 |
| Prata | (mg/L) | ND* | ND* | 5,0 |
| Selênio | (mg/L) | ND* | ND* | 1,0 |

ND* = Não Detectado

Tabela 4 Resultados do ensaio de solubilização do RSRO da UFES, serrado com fio diamantado

| Parâmetros | Unidades | Resultados | | Limites Máximos | Parâmetros | Unidades | Resultados | | Limites Máximos |
|---------------|--------------------------|------------|------|-----------------|--------------|----------|------------|------|-----------------|
| | | UEFS | UFES | | | | UEFS | UFES | |
| Dureza | (mg/LCaCO ₃) | 81,2 | 37,5 | 500,0 | Sódio | (mg/L) | 9,6 | 15,8 | 200,0 |
| Fenóis Totais | (mg/L) | ND* | ND* | 0,001 | Zinco | (mg/L) | ND* | ND* | 5,0 |
| Mercúrio | (mg/L) | ND* | ND* | 0,001 | Cobre | (mg/L) | ND* | ND* | 2,0 |
| Arsênio | (mg/L) | ND* | ND* | 0,01 | Prata | (mg/L) | ND* | ND* | 0,05 |
| Bário | (mg/L) | ND* | ND* | 0,7 | Selênio | (mg/L) | ND* | ND* | 0,01 |
| Cádmio | (mg/L) | ND* | ND* | 0,005 | Cianeto | (mg/L) | ND* | ND* | 0,07 |
| Chumbo | (mg/L) | ND* | ND* | 0,01 | Fluoreto | (mg/L) | ND* | ND* | 1,5 |
| Cromo Total | (mg/L) | ND* | ND* | 0,05 | Nitrato | (mg/L) | ND* | ND* | 10,0 |
| Alumínio | (mg/L) | ND* | 1,2 | 0,2 | Cloreto | (mg/L) | 24,0 | 24,0 | 250,0 |
| Ferro | (mg/L) | ND* | 0,3 | 0,3 | Sulfato | (mg/L) | ND* | ND* | 250,0 |
| Manganês | (mg/L) | ND* | ND* | 0,1 | Surfactantes | (mg/L) | ND* | ND* | 0,5 |

ND* = Não Detectado

Com base nos resultados apresentados nos ensaios de lixiviação e solubilização observa-se que nenhuma das amostras apresentou compostos lixiviados ou solubilizados com concentração superior aos limites estabelecidos pela NBR 10004 (ABNT, 2005). Portanto, o resíduo é classificado como Classe III – Inerte.

2.1.2 Cimento

Os concretos para produção dos pisos intertravados foram executados com cimento CP II F 32, na UEFS, e o CP II E 32, na UFES, por serem os cimentos mais utilizados nas respectivas regiões. Algumas das propriedades físicas, químicas e mecânicas dos cimentos estão apresentadas na Tabela 5. Os cimentos utilizados atendem aos requisitos da NBR 11578 (ABNT, 1991), quanto às propriedades avaliadas.

Tabela 5 Características físicas e mecânicas do cimento

| CARACTERÍSTICA | UEFS (CP II F – 32) | UFES (CP II E – 32) |
|--|---------------------|---------------------|
| Início de pega (min) | 190 | 140 |
| Fim de pega (min) | 275 | 240 |
| Finura #200 (%) | 1,18 | 0,2 |
| Massa específica (Kg/dm ³) | 3,11 | 2,97 |
| Resistência à compressão 3 dias (MPa) | 25,5 | 23,0 |
| Resistência à compressão 7 dias (MPa) | 26,5 | 29,7 |
| Resistência à compressão 28 dias (MPa) | 34,0 | 41,8 |
| Expansibilidade a frio (mm) | 1 | 2,2 |
| Expansibilidade a quente (mm) | 0 | 0,6 |

2.1.3 Agregado miúdo

Neste estudo foram utilizados três tipos de agregados miúdos: a) areia siltosa (UEFS); b) areia quartzosa (UEFS e UFES) e c) resíduo da britagem de rochas (pó-de-pedra). Esses materiais são os comumente utilizados em cada uma das regiões do estudo. As características das areias e do pó-de-pedra estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 Características dos agregados miúdos utilizados

| CARACTERÍSTICA | AREIA | | | PÓ-DE-PEDRA | |
|--|-------------|------------|-------------|-------------|-------|
| | SILTOSA | QUARTZOSA | | | |
| | UEFS | UEFS | UFES | UEFS | UFES |
| Dimensão Máxima Característica (mm) | 2,4 | 2,4 | 1,2 | 4,8 | 4,8 |
| MÓDULO DE FINURA | 1,60 | 2,69 | 1,66 | 2,76 | 3,43 |
| Massa Específica (Kg/dm ³) | 2,600 | 2,64 | 2,649 | 2,587 | 2,817 |
| Massa Unitária (Kg/dm ³) | 1,52 | 1,45 | 1,50 | 1,51 | 1,67 |
| Material Pulverulento (%) | 10,6 | 1,5 | 0,7 | 10,8 | 9,2 |
| Coefficiente de Inchamento | 1,29 | 1,26 | 1,40 | - | - |
| Umidade Crítica (%) | 2,25 | 3,0 | 2,98 | - | - |
| Matéria Orgânica | Mais Escura | Mais Clara | Mais escura | - | - |

2.1.4 Agregado graúdo

Para produção do concreto dos pisos foi utilizado um agregado graúdo utilizado no estudo foi uma brita de origem granítica, com dimensão máxima característica de 9,5mm. As características da brita estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 Características dos agregados graúdos utilizados

| CARACTERÍSTICA | UEFS | UFES |
|--|-------|-------|
| Dimensão Máxima Característica (mm) | 9,5 | 9,5 |
| Módulo de finura | 5,52 | 5,59 |
| Massa específica (Kg/dm ³) | 2,700 | 2,770 |
| Massa unitária (kg/dm ³) | 1,390 | 1,427 |

3. PRODUÇÃO DOS PISOS INTERTRAVADOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Inicialmente foi definida a proporção ideal entre os agregados utilizados, para posterior estabelecimento de um traço de referência de argamassa para os pisos. Para tanto, foi definida a proporção de agregados que apresentou o menor índice de vazios das misturas, através do ensaio prescrito no método MB 3324 (ABNT, 1990). A proporção que alcançou o menor índice de vazios na

UEFS foi 30% de areia siltosa, 10% areia quartzosa e 30% de pó-de-pedra e 30% de brita 9,5mm. Na UFES, a melhor proporção foi 20% de areia quartzosa, 50% de pó-de-pedra e 30% de brita 9,5mm. A definição do traço de referência foi feita a partir de três traços experimentais, com diferentes relações cimento:agregados secos (1:4; 1:4,5; 1:5,0), visando atender uma resistência à compressão mínima de 35MPa, de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 1987). Após a produção e verificação da resistência à compressão dos blocos, para os três traços experimentais, foi adotado o traço de 1:4,0 (cimento:agregados, em massa) como referência, nas duas instituições por atender às especificações.. Logo, os traços unitários de referência utilizados foram: UEFS 1:1,2:0,4:1,2:1,2:0,42 (cimento:areia siltosa:areia quartzosa: pó-de-pedra:brita 9,5mm:água) e na UFES 1 : 1,89 : 4,41 : 2,70 : 0,70 (cimento:areia: finos de britagem: pó-de-pedra:água). A partir desse traço de referência foram produzidas misturas substituindo cimento por teores de 5%, 10% e 15%, em massa, de RSRO.

Nas duas instituições as misturas foram feitas em betoneiras de eixo inclinado. Para todos os traços, os materiais foram misturados a seco durante 90 segundos. Em seguida foi adicionada a água e misturado por mais 90 segundos.

As peças para pavimentação foram moldadas em uma vibro-prensa manual, sendo o tempo de vibração de 12 a 14 segundos. As dimensões das peças obtidas são: 120mm de largura, 235mm de comprimento e 80mm de altura. A Figura 4a ilustra o processo da moldagem das peças para pavimentação.

Após a prensagem, os pisos eram retirados da máquina e depositados em área plana e coberta. Os pisos permaneciam cobertos com plástico, durante 24 horas, período após o qual tinha início a cura por aspersão, durante 3 dias. A Figura 4b mostra um aspecto dos pisos moldados. Após este período, os pisos permaneciam em área coberta dos laboratórios até a data de capeamento para determinação da resistência.



Figura 4 Produção dos pisos: (a) moldagem; (b) aspecto dos pisos após a moldagem

Como critério de avaliação determinou-se a resistência à compressão dos pisos (NBR 9780: ABNT 1987). A resistência à compressão foi determinada nas idades de 7 e 28 dias de cura. Foram ensaiados quanto a resistência à compressão, 6 unidades de piso, para cada idade de cada traço. Na Tabela 8 estão apresentados os resultados de resistência à compressão dos pisos produzidos.

As Figuras 5a e 5b mostram os gráficos comparativos de resistência média dos pisos produzidos na UEFS e na UFES, respectivamente.

Os resultados obtidos pela UEFS apontam um crescimento de 11%, 13,5% e 17% na resistência à compressão dos pisos produzidos com 5%, 10% e 15% de substituição de cimento por RSRO, respectivamente. Com relação aos resultados obtidos na UFES houve um aumento de 11% e 3% na resistência dos pisos com 5% e 10% de substituição de cimento por RSRO, respectivamente. Para os pisos com 15%RSRO observa-se uma redução de 11% na resistência em relação ao traço de referência. É importante salientar que, em função dos resultados, poder-se-ia dizer que pisos produzidos com RSRO apresentam um bom desempenho quanto à resistência à compressão, quando se usa o RSROFD de Feira de Santana, em percentuais de substituição do cimento de até 15%, e quando se usa o RSROFD do Espírito Santo, em até 10% de substituição.

Tabela 8 Resultados de resistência à compressão dos pisos intertravados de concreto

| Resistência à Compressão (MPa) | UEFS | | | | | | | | UFES | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | IDADE (dias) | | | | | | | | IDADE (dias) | | | | | | | |
| | PREF | | P5%FD | | P10%FD | | P15%FD | | REF | | P5%FD | | P10%FD | | P15%FD | |
| | 7 | 28 | 7 | 28 | 7 | 28 | 7 | 28 | 7 | 28 | 7 | 28 | 7 | 28 | 7 | 28 |
| | 39,0 | 38,0 | 38,3 | 41,4 | 35,7 | 50,8 | 36,2 | 47,3 | 31,0 | 39,8 | 39,6 | 47,2 | 36,6 | 42,5 | 31,9 | 36,6 |
| | 39,4 | 42,4 | 38,5 | 48,3 | 38,3 | 49,0 | 36,2 | 43,6 | 32,9 | 41,3 | 35,8 | 44,7 | 35,6 | 42,3 | 31,8 | 37,5 |
| | 35,4 | 36,6 | 38,9 | 40,3 | 35,3 | 42,3 | 37,2 | 42,6 | 34,1 | 49,1 | 39,1 | 45,0 | 33,9 | 41,6 | 30,4 | 35,3 |
| | 33,5 | 44,0 | 37,1 | 42,8 | 37,6 | 39,4 | 37,9 | 44,4 | 29,4 | 40,1 | 39,3 | 45,8 | 33,9 | 40,6 | 32,8 | 35,9 |
| | 34,2 | 37,3 | 34,4 | 43,7 | 35,6 | 43,7 | 33,5 | 44,4 | 34,2 | 47,3 | 37,2 | 44,3 | 37,8 | 43,5 | 30,1 | 38,8 |
| | 33,2 | 37,4 | 34,0 | 52,5 | 35,8 | 45,9 | 37,8 | 42,9 | 34,7 | 43,6 | 36,1 | 44,6 | 33,6 | 41,7 | 29,2 | 36,0 |
| f_{pk} | 33,2 | 36,4 | 34,9 | 40,5 | 35,2 | 41,3 | 35,0 | 42,6 | 30,8 | 39,9 | 36,3 | 44,3 | 33,7 | 41,1 | 29,8 | 35,5 |
| Sd. (MPa) | 2,8 | 3,1 | 2,2 | 4,7 | 1,2 | 4,3 | 1,6 | 1,7 | 2,1 | 3,9 | 1,7 | 1,1 | 1,7 | 1,0 | 1,3 | 1,3 |
| C.V. (%) | 7,7 | 7,9 | 5,8 | 10,4 | 3,4 | 9,4 | 4,5 | 3,8 | 6,4 | 9,0 | 4,5 | 2,4 | 4,8 | 2,4 | 4,3 | 3,4 |

P-PREF - vedação de referência; P5%FD - vedação com 5% de resíduo de serragem com fio diamantado; P10%FD - vedação com 10% de resíduo de serragem com fio diamantado; P15%FD - vedação com 15% de resíduo de serragem com fio diamantado. Sd (MPa) - Desvio padrão. CV (%) - Coeficiente de variação.

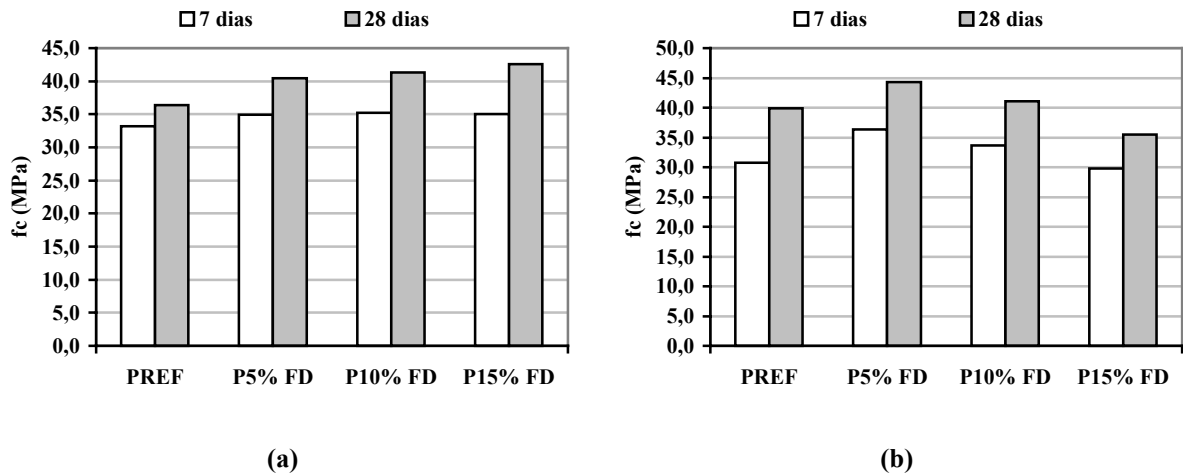


Figura 5 Resultados de resistência à compressão dos blocos de vedação produzidos: (a) UEFS; (b) UFES

Com o objetivo de respaldar as conclusões obtidas, foi realizada uma análise estatística dos resultados. Verificou-se a significância estatística do efeito de cada uma das variáveis, através da análise de variância (ANOVA). Esta técnica permite comparar grupos de observações, através da comparação da variabilidade das médias entre grupos e a variabilidade das observações dentro de cada grupo (NANNI e RIBEIRO, 1992). O efeito de um determinado fator sobre uma variável de resposta analisada é determinado através de um teste de comparação entre valores calculados ($F_{\text{calculado}}$) e valores tabelados (F_{tabelado}) de uma função de distribuição de probabilidade de Fischer. Os valores de (F_{tabelado}) são estabelecidos para um determinado nível de significância. A hipótese que um determinado fator influencia significativamente nos resultados é confirmada se ($F_{\text{calculado}}$) for maior do que (F_{tabelado}). O nível de significância adotado nas análises foi de 5%, que é comumente utilizado na área de engenharia civil. A ANOVA foi realizada com o auxílio do *Software Statistica®*.

Foi verificada se há influência do teor de substituição de RSRO e da idade, nos resultados de resistência à compressão dos pisos, através da ANOVA, para os valores individuais. Os resultados desta análise estão apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Os resultados da ANOVA mostram que, para os pisos produzidos na UEFS, há influência significativa do teor de substituição de RSRO e da idade de cura. Entretanto, não há influência da interação entre o teor de substituição de RSRO e a idade dos pisos. Para os blocos produzidos na UFES, a ANOVA

mostrou uma influência significativa para o teor de substituição, para idade e para a interação entre teor e idade.

Tabela 9 Resultados da ANOVA para a resistência à compressão axial dos pisos intertravados produzidos pela UEFS

| Fator | GDL | MQ | F _{calculado} | F _{0,05} | Significância |
|--------------------------|-----|----------|------------------------|-------------------|---------------|
| A – teor de substituição | 3 | 29,8767 | 3,47430 | 2,84 | S |
| B – idade | 1 | 588,0000 | 68,37740 | 4,08 | S |
| AB | 3 | 16,9622 | 1,97250 | 2,84 | NS |
| ERRO | 40 | 8,599334 | | | |

GDL – Graus de Liberdade; MQ – Média Quadrada; F_{calculado} – Valor calculado de F; F_{0,05} – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo.

Tabela 10 Resultados da ANOVA para a resistência à compressão axial dos pisos intertravados produzidos pela UFES

| Fator | GDL | MQ | F _{calculado} | F _{0,05} | Significância |
|--------------------------|-----|----------|------------------------|-------------------|---------------|
| A – teor de substituição | 3 | 120,7134 | 31,1153 | 2,84 | S |
| B – idade | 1 | 704,8001 | 171,6703 | 4,08 | S |
| AB | 3 | 14,7944 | 3,8134 | 2,84 | S |
| ERRO | 40 | 3,879555 | | | |

GDL – Graus de Liberdade; MQ – Média Quadrada; F_{calculado} – Valor calculado de F; F_{0,05} – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo.

As Figuras 6a e 6b mostram a curva de comportamento dos pisos quanto à resistência à compressão axial em função do teor de substituição.

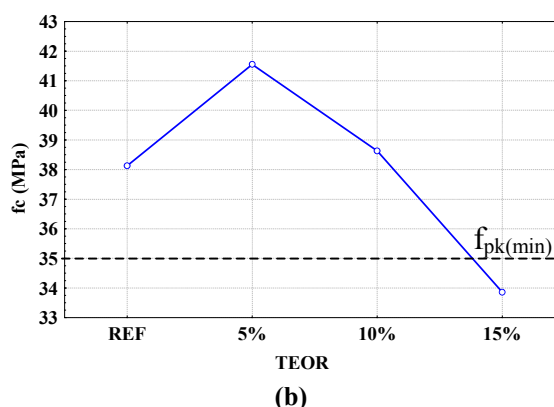
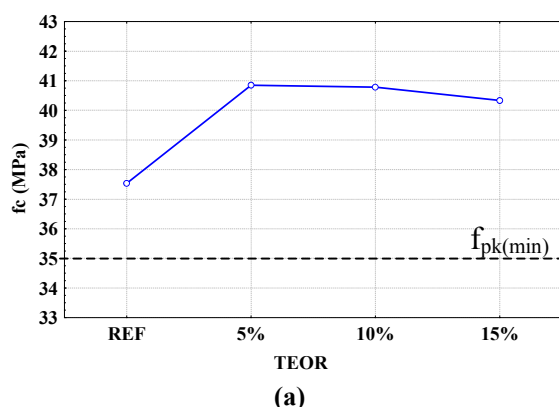


Figura 6 Comportamento dos pisos intertravados quanto à resistência à compressão em função do teor: (a) UEFS; (b) UFES.

Em relação aos resultados dos pisos produzidos na UEFS verifica-se que há um aumento na resistência para todos os teores de substituição. Esse comportamento pode ser decorrente do menor diâmetro dos grãos do resíduo, que promove um melhor empacotamento da matriz e assim, contribui para o aumento da resistência, mesmo com a redução do material cimentante.

No que se refere aos resultados dos pisos produzidos na UFES, o RSRO oferece uma boa influência até 10% de substituição. Pode-se atribuir este bom comportamento ao efeito filler do resíduo, que proporciona um melhor empacotamento da mistura, compensando a perda do efeito cimentante proporcionado pelo aglomerante. Já para o teor de 15% de substituição do cimento, pode-se admitir que o efeito de empacotamento é menor do que o efeito cimentante. Daí a queda na resistência.

O comportamento diferenciado apresentado pelos resultados obtidos nas duas instituições pode ser explicado pela diferença nas características dos materiais utilizados, bem como, pela variabilidade inerente ao processo de produção dos pisos.

3.0 CONCLUSÕES

O uso de RSRO como material suplementar para produção de concretos para peças de pavimentação mostra-se como boa alternativa para minimização de impactos, em função dos seguintes aspectos:

- aumento da vida útil das áreas de disposição para esse resíduo;
- destinação correta do resíduo;
- redução no consumo de matéria-prima para produção de peças para pavimentação, notadamente de cimento, que é um dos materiais que mais impactam o meio ambiente no setor da construção;
- redução nos custos de produção de peças para pavimentação e no custo final das obras.

Além disso, os resultados de resistência à compressão dos pisos mostraram um comportamento diferenciado entre os blocos produzidos na UEFS e na UFES. Enquanto na UEFS houve um aumento na resistência dos pisos para os 3 teores de substituição utilizados, na UFES esta influência foi positiva para os teores de 5% e 10 % de RSRO. Para 15%RSRO os resultados de resistência foram menores que o referência.

Com base nos resultados encontrados na UEFS, pode-se substituir até 15% do cimento por RSRO. O que significa uma vantagem econômica e ambiental.

A substituição de até 10% de cimento por RSRO mostrou ser vantajosa, considerando os resultados obtidos na UFES.

4.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004 – Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11578 - Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7251 - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9780 – Peças de concreto para pavimentação - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação - Especificação. Rio de Janeiro, 1987.
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 23 - Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

CHIODI FILHO, C. Situação do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil – mercados interno e externo. V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, 2005. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife: Deminas, DAU, PPGEMinas, SBG, SINDIPEDRAS. **Anais...** 28p. 2005.

GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos.** Porto Alegre, RS. PPGEC/UFRGS. 2000. 135p., il. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

GUERRA, E. A. Apoio do MCT ao setor de Rochas Ornamentais e Revestimentos. V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, 2005. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife: Deminas, DAU, PPGEMinas, SBG, SINDIPEDRAS. **Anais...** 12p. 2005.

CALMON, J.L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÊLLO, F.S.S.; SILVA, S.A. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, **Anais.** Salvador, BA: ANTAC, 1997, p. 64-75.

MOURA, W. A; GONÇALVES, J. P., LEITE, R. S., Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas para revestimento e confecção de lajotas para piso. In: **Revista Sitientibus**, UEFS, Feira de Santana/Ba, v.26, p.49 - 62, 2002.

5.0 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP, CNPq e CETEMAG pelo apoio financeiro ao projeto e às equipes técnicas dos Laboratórios de Tecnologia da UEFS e do Centro de Tecnologia da UFES.