



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# ARGAMASSAS E CONCRETOS COM A ADIÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS E DE ROCHAS ORNAMENTAIS<sup>1</sup>

**VIANA, Larissa Souza (1), VELASCO, Reila Vargas (2), SILVOSO, Marcos Martinez (3)**

(1) UFRJ, e-mail: sv.larissaviana@gmail.com; (2) UFRJ, e-mail: reila@fau.ufrj.br; (3) UFRJ, e-mail: silvoso@fau.ufrj.br

### RESUMO

A construção civil é uma grande geradora de resíduos de diversas origens e que são dispostos de forma inadequada no ambiente. Assim, de forma a fornecer alternativas para a redução do impacto ambiental, este trabalho apresenta a utilização de resíduos provenientes da indústria de cerâmica vermelha e os resíduos gerados a partir do corte de rochas ornamentais, em argamassas e concretos. Os resíduos foram caracterizados por meio de ensaios de granulometria, análise química, difração de raio x e atividade pozzolânica. Fez-se um estudo em argamassas utilizando os resíduos nos teores de 10%, 20%, 30% e 40% em substituição ao cimento Portland, sendo avaliadas reologicamente e mecanicamente. Com base nos resultados das argamassas, um teor de resíduo foi escolhido para a avaliação em concretos. A caracterização foi feita por meio de ensaio de reologia, ensaio mecânico e de durabilidade. O resíduo cerâmico que apresentou melhor comportamento foi o com teor de substituição de 20%. Sua incorporação nos concretos propiciou redução na absorção de água e índice de vazios. Os resultados demonstraram o potencial de utilização dos dois resíduos da construção civil em materiais à base de cimento, uma alternativa viável tecnicamente e ambientalmente.

**Palavras-chave:** Resíduos. Argamassa. Concreto.

### ABSTRACT

*The civil construction is a great generator of waste from various sources that are disposed in the environment, inappropriately. Thus, in order to provide alternatives for reducing the environmental impact, this work presents the use of waste from industry of red ceramic and waste generated from the cutting of ornamental rocks, in mortars and concretes. The wastes were characterized by particle size testing, chemical analysis, X-ray diffraction and pozzolanic activity. There was a study in mortar using waste in content of 10%, 20%, 30% and 40% in replacement of Portland cement being assessed rheologically and mechanically. Based on the results of mortar, a waste content was selected for evaluation in concrete. The characterization was done by testing the rheology and mechanical testing and durability. The ceramic residue that showed the best performance was with 20% replacement level. Its incorporation in the concrete caused a reduction in water absorption and void index. The results demonstrate the potential use of the two construction waste in cement-based materials, a technically and environmentally feasible alternative.*

**Keywords:** Waste. Mortar. Concrete.

---

<sup>1</sup> VIANA, Larissa de Souza; VELASCO, Reila Vargas; SILVOSO, Marcos Martinez. Argamassas e concretos com a adição de resíduos cerâmicos e de rochas ornamentais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

## 1 INTRODUÇÃO

Há décadas atrás, os concretos eram constituídos, basicamente, por cimento, areia, brita e água. Com o passar dos anos, novos materiais foram incorporados a sua composição. Cada novo material apresenta variações, tanto em granulometria, quanto em composição química, o que o conduz a desempenhos distintos quando da análise do produto final. Neste contexto destacam-se os resíduos do processo produtivo de tijolos de cerâmica vermelha e os resíduos gerados a partir do corte de rochas ornamentais que podem representar fontes potenciais de adições minerais para utilização em concretos.

O índice de perda do setor de cerâmica vermelha pode variar entre 3% a 30% (DIAS, 2004), já no setor de rochas ornamentais estima-se que seja entre 20 a 30% (ABIROCHAS, 2012). Considerando a abundância destes resíduos no meio ambiente, fornecer uma destinação adequada final a eles significa contribuir para a redução do impacto ambiental. Assim, a indústria da construção civil busca incorporar estes resíduos em produtos à base de cimento, o que pode ser uma prática constante com a avaliação do desempenho final. A utilização de resíduos na matriz cimentícia proporciona tanto benefício ambiental, quanto técnico e econômico.

Diferentes trabalhos têm sido realizados de forma a avaliar o potencial de resíduos como substituição parcial ao cimento. Nos resultados obtidos por Vieira (2005), os concretos com incorporação de resíduo cerâmico apresentaram valores de resistência à compressão inferiores aos concretos referência e acréscimo no índice de vazios e porosidade total. O trabalho de Gonçalves e Moura (2007) mostrou que, em argamassas, a incorporação do resíduo cerâmico provocou alterações nos resultados de compressão, sofrendo acréscimos ou decréscimos, sendo dependente da relação água/cimento. Em concretos, não observou-se incremento nos valores de resistência à compressão, e indicou que o resíduo não apresentou contribuição pozolânica.

Em relação os resíduos de rochas ornamentais, Lopes *et al* (2006) mostraram que tal resíduo não possui atividade pozolânica e que sua utilização em concretos acarretou reduções nos valores de resistência à compressão. No trabalho de Alves (2008) a incorporação do resíduo de rocha provocou acréscimos ou manutenção dos valores de resistência à compressão, sendo dependente do teor de resíduo utilizado e da relação água/cimento.

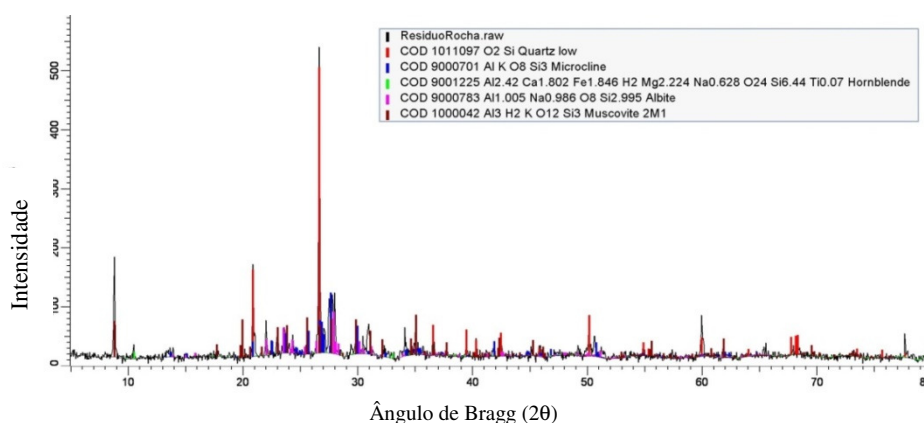
O presente trabalho tem como objetivo contribuir para ampliar o conhecimento sobre o comportamento de argamassas e concretos com incorporação de resíduo cerâmico e resíduo de rochas ornamentais. Com isso, busca-se, também, colaborar com a incorporação de novas tecnologias na indústria da construção civil desenvolvendo materiais com elevada durabilidade e de alto desempenho mecânico e ambiental.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

O cimento utilizado foi o cimento Portland CPV ARI RS de massa específica de 3,09 g/cm<sup>3</sup> determinada segundo a NBR NM 23 (2001). Sua curva granulométrica foi obtida por meio do ensaio de granulometria a laser, utilizando o equipamento Malvern Mastersizer. Com relação às adições minerais, o resíduo de rocha ornamental, proveniente do corte e polimento de diversas rochas, foi coletado em uma marmoraria no município de Duque de Caxias. Este resíduo foi utilizado praticamente na forma in natura, submetido somente ao processo de secagem. Sua massa específica é de 2,61 g/cm<sup>3</sup>, determinada segundo a NBR NM 23 (2001). A distribuição granulométrica também foi obtida pelo ensaio de granulometria a laser e será apresentada posteriormente.

A análise de difração de raios X, pelo método do pó, foi realizada em um difratômetro Siemens/Bruker - AXS D5005. A figura 1 ilustra as fases cristalinas do material referente, principalmente, aos picos de quartzo.

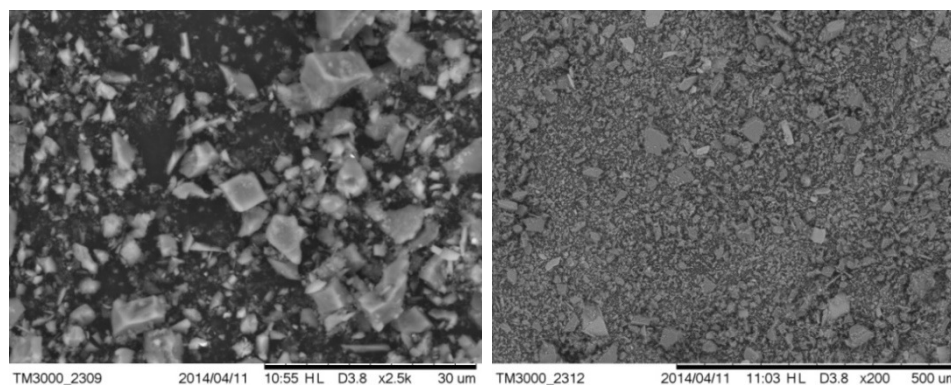
Figura 1 – Difratoograma de raio x do resíduo de rocha.



Fonte: Autores

A caracterização morfológica foi obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e está apresentada na figura 2. Observa-se que as partículas apresentam tamanhos variados, de formato poligonal e com arestas bem definidas.

Figura 2 - Análise morfológica do resíduo de rocha



Fonte: Autores

A composição química foi determinada utilizando um Espectrômetro de Fluorescência de Raios X, Shimadzu EDX-720 e a atividade pozolânica foi determinada segundo adaptação dos procedimentos da NBR 5752 (2012). Tal adaptação consistiu em utilizar aditivo na mistura com resíduo de forma a manter o mesmo espalhamento da mistura referência. Estas duas últimas caracterizações serão apresentadas em conjunto com os resultados do resíduo cerâmico.

O resíduo cerâmico utilizado foi submetido ao processo de moagem para transformação em um pó de granulometria fina, de forma a possibilitar a substituição ao cimento Portland. Nesse processo foram utilizados um moinho, barras de ferro de mesmo diâmetro, e esferas metálicas de diâmetros diferentes.

O procedimento consistiu em 3 etapas. Primeiramente, o tijolo foi quebrado em pequenos pedaços e em seguida submetido a um processo de moagem em um moinho. Obteve-se, assim, um pó de tijolo com granulometria similar a da areia, que passou por um novo processo de moagem com a utilização de esferas de aço. A última fase durou 8 horas, no qual foram retiradas amostras do moinho nos intervalos de 1, 2, 4 e 8 horas para a realização do ensaio de granulometria. A figura 3 ilustra o moinho e o resíduo cerâmico antes e após o término da moagem.

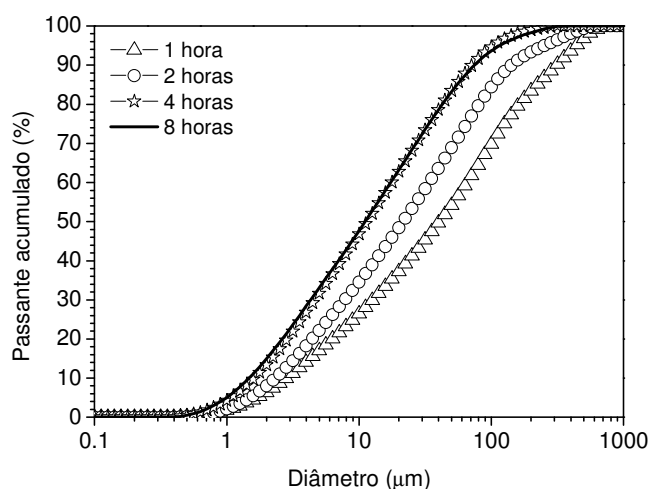
Figura 3 - Moinho, fragmentos do resíduo cerâmico e seu aspecto após a moagem



Fonte: Autores

Após este processo, o material foi caracterizado, conforme as normas, por uma série de ensaios. Assim, realizou-se o ensaio de massa específica e o valor obtido foi igual a 2,57 g/cm<sup>3</sup>. A análise granulométrica foi realizada nas amostras coletadas nos diferentes intervalos de tempo de moagem (1h, 2h, 4h e 8h). Os resultados estão apresentados na figura 4 e mostram que não houve variação expressiva no diâmetro das partículas do resíduo para as amostras moídas no período de 4 e 8 horas. Além disso, observou-se que 50% dos grãos do resíduo são inferiores a 11 µm.

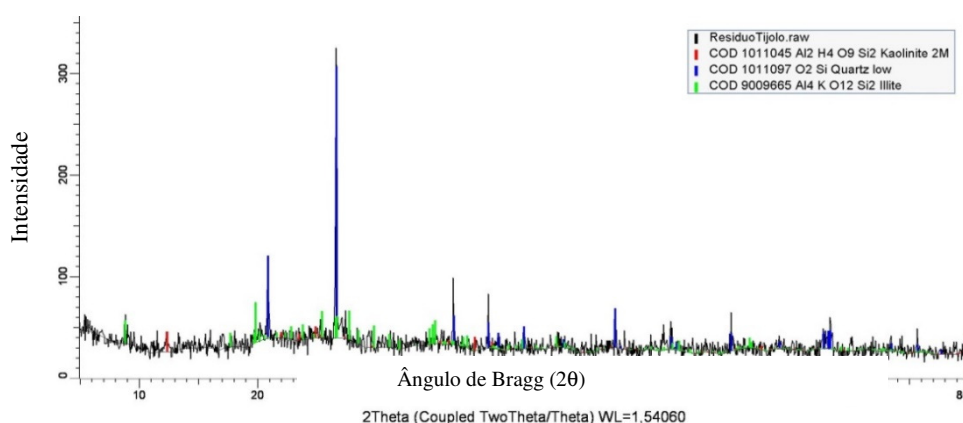
Figura 4 - Curvas granulométricas do resíduo cerâmico



Fonte: Autores

Por meio da análise de difração de raios X, obteve-se o difratograma de raio x do resíduo cerâmico (figura 5), visualizando-se as fases cristalinas do material.

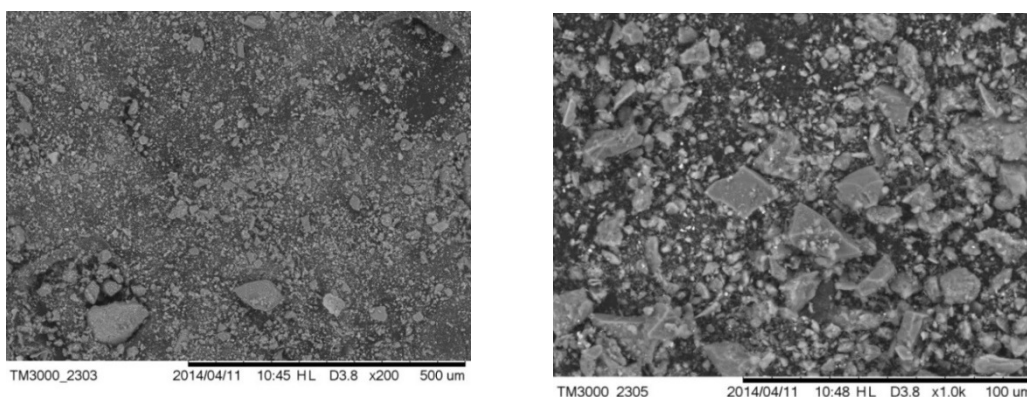
Figura 5 - Difratograma de raio x do resíduo cerâmico.



Fonte: Autores

Pela análise formológica (Figura 6), há uma variação no tamanho das partículas e algumas apresentam formato prismático com arestas definidas.

Figura 6 - Análise morfológica do resíduo





Fonte: Autores

Pela análise da composição química dos resíduos cerâmico e de rocha ornamental, os resultados mostraram que o composto de maior proporção nos resíduos é o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), sendo 55,52% para o cerâmico e 60,15% para o resíduo de rocha, o que é compatível com o resultado da difração de raio x, que mostrou as fases cristalinas do material devido à presença de quartzo (mineral de composição química  $\text{SiO}_2$ ). As impurezas (compostos  $\text{MnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), são da ordem de 40% e 20,9% para o resíduo cerâmico e de rocha, respectivamente. Por outro lado, o composto com maior proporção no cimento é o óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ). Além disso, tem-se que os resíduos atendem à exigência química da NBR 12653 (2014) para a caracterização de material pozolânico ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70$ ). A composição química completa destes materiais está apresentada no quadro 1.

Quadro 1 – Composição química dos resíduos e do cimento.

Composição química <sup>a</sup>	Teores (%) <sup>a</sup>		
	Resíduo cerâmico <sup>a</sup>	Resíduo de rocha <sup>a</sup>	Cimento <sup>a</sup>
$\text{SiO}_2$	55,517 <sup>a</sup>	60,15 <sup>a</sup>	19,32 <sup>a</sup>
$\text{Al}_2\text{O}_3$	31,498 <sup>a</sup>	16,80 <sup>a</sup>	4,91 <sup>a</sup>
$\text{CaO}$	0,392 <sup>a</sup>	6,320 <sup>a</sup>	64,85 <sup>a</sup>
$\text{K}_2\text{O}$	1,758 <sup>a</sup>	5,302 <sup>a</sup>	0,75 <sup>a</sup>
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7,849 <sup>a</sup>	3,969 <sup>a</sup>	3,02 <sup>a</sup>
$\text{MgO}$	- <sup>a</sup>	3,678 <sup>a</sup>	0,69 <sup>a</sup>
$\text{SO}_3$	0,693 <sup>a</sup>	1,915 <sup>a</sup>	2,75 <sup>a</sup>
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,973 <sup>a</sup>	1,105 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{TiO}_2$	1,098 <sup>a</sup>	0,478 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,051 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{MnO}$	0,050 <sup>a</sup>	0,085 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{ZnO}$	0,013 <sup>a</sup>	0,012 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{SrO}$	0,014 <sup>a</sup>	0,044 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{ZrO}_2$	0,064 <sup>a</sup>	0,039 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{Rb}_2\text{O}$	0,016 <sup>a</sup>	0,027 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{NbO}$	0,006 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{Y}_2\text{O}_3$	0,007 <sup>a</sup>	0,004 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>
$\text{Tm}_2\text{O}_3$	- <sup>a</sup>	0,074 <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>

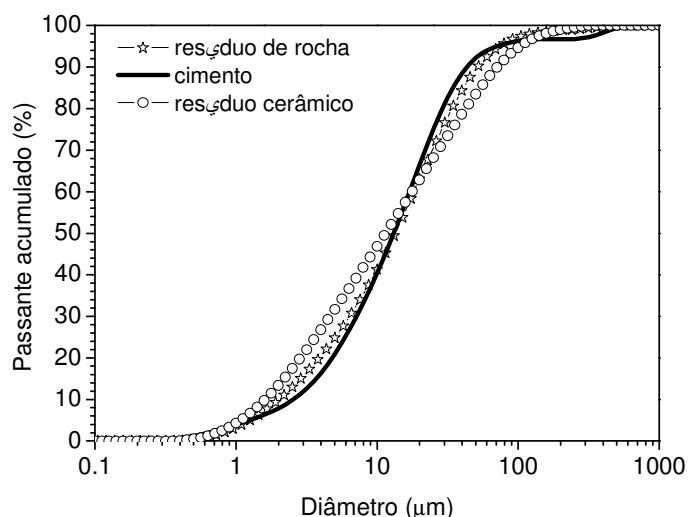
Fonte: Autores

Com relação ao ensaio de atividade pozolânica, a relação entre o valor de resistência à compressão obtido para a argamassa contendo o resíduo cerâmico (REF\_RT e para a argamassa de referência (REF) foi igual a 67%. Com base na análise com o resíduo de rocha, o valor desta relação foi igual a 58%. Os dois resultados obtidos encontram-se abaixo do valor mínimo (90%) estabelecido pela NBR 12653 (2014), para a classificação do material como pozolana.

Para efeitos comparativos entre as granulometrias do cimento e dos resíduos, tem-se a figura 7. As curvas mostram que há uma proximidade entre os diâmetros dos grãos dos materiais. Embora o cimento seja ligeiramente mais fino que os resíduos, quando se tem como análise o ponto D95, que

representa o diâmetro correspondente a 95% de passante acumulado, o ponto D50 é similar para os três materiais analisados, ou seja, 50% dos grãos dos três materiais são inferiores a 12  $\mu\text{m}$ , aproximadamente, que atende ao requisito da norma NBR 12653 (2014) para uso como adição mineral. A proximidade entre as granulometrias dos materiais pode indicar que, provavelmente, não há um empacotamento entre eles.

Figura 7 - Curvas granulométricas: cimento e resíduos.



Fonte: Autores

O agregado miúdo utilizado é uma areia quartzosa proveniente do Rio Guandú, de massa específica igual a 2,52g/cm<sup>3</sup>, determinada conforme procedimentos da norma NBR NM 52 (2009). É uma areia fina, com módulo de finura igual a 2,17 e dimensão máxima característica igual a 4,8mm. O agregado graúdo é de origem granítica de massa específica igual a 2,65g/cm<sup>3</sup> e dimensão máxima característica igual a 9,5mm. As curvas granulométricas dos agregados foram obtidas conforme procedimento da NBR NM 248 (2003).

Fez-se uso, também do superplastificante denominado "Glenium 51", produzido pela BASF, com um teor de sólidos de 32,6% e de um aditivo modificador de viscosidade (VMA). Como buscou-se um concreto de elevada trabalhabilidade de forma a possibilitar incorporação de fibras metálicas e gerar um concreto homogêneo e com bom comportamento mecânico, utilizou-se o VMA para controle de exsudação. A água foi proveniente da rede de abastecimento urbano da cidade do Rio de Janeiro.

### 3 DOSAGEM E PRODUÇÃO

As argamassas de referência (AR) possuem o seguinte proporcionamento de materiais: 694,24 kg/m<sup>3</sup> (cimento), 1264 kg/m<sup>3</sup> (areia), 294,94 l/m<sup>3</sup> (água) e 0,25% (teor de aditivo, como porcentagem de sólidos da massa de material

cimentício). O traço é dado pela relação 1:1,82:0,43. As argamassas contendo o resíduo cerâmico (AR\_RC) e o resíduo de rocha (AR\_RR) foram produzidas contendo 10%, 20%, 30% e 40% de resíduo, em substituição, em volume, ao cimento Portland. O teor de aditivo utilizado foi ajustado de forma a que cada argamassa apresentasse o espalhamento pela mesa de consistência igual a  $32 \pm 2$  cm (valor de espalhamento obtido para a argamassa de referência). A relação água/cimento foi mantida igual para todas as argamassas que foram produzidas em uma argamassadeira de 5 litros em ambiente climatizado. Após a produção, os corpos de prova foram mantidos em ambiente úmido até o momento da desmoldagem, em seguida, foram mantidos em cura úmida até a idade de ensaio.

Em relação à dosagem dos concretos, o proporcionamento dos materiais para o concreto de referência (CR) foi igual a 450 kg/m<sup>3</sup> (cimento), 819,7 kg/m<sup>3</sup> (areia), 845,7 kg/m<sup>3</sup> (brita), 191,5 l/m<sup>3</sup> (água) e 0,25% (teor de aditivo), cujo traço foi igual a 1: 1,82:1,88:0,43. O concreto com resíduo cerâmico (CR\_RC) e o concreto com resíduo de rocha (CR\_RR) foram produzidos incorporando-se à matriz cimentícia 10% de resíduo em substituição, em volume, ao cimento Portland. Com a utilização dos resíduos, o teor de aditivo foi de 0,5% e foi adicionado, também, um aditivo modificador de viscosidade no teor de 0,03% (porcentagem em relação à massa de cimento). A relação água/cimento passou a ser igual a 0,435. Os concretos foram produzidos em uma betoneira com capacidade de 120 litros. O procedimento de moldagem e cura é similar ao procedimento descrito para as argamassas.

#### 4 METODOLOGIAS DE ENSAIO

A caracterização reológica das argamassas foi obtida por meio do ensaio de espalhamento da mesa de consistência padrão. A caracterização mecânica foi obtida por meio de ensaios de resistência à compressão simples, em corpos de prova cilíndricos de dimensões 50mm de diâmetro x 100mm de altura. Os ensaios foram realizados nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias, em uma máquina com capacidade de 30 toneladas, a uma velocidade igual a 50 kgf/s.

Os concretos foram avaliados reologicamente por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme procedimentos da NBR NM 67 (1998). A avaliação mecânica foi realizada através de ensaios de resistência à compressão simples em corpos de prova cilíndricos com dimensões iguais a 100mm de diâmetro x 200mm de altura, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias. Os ensaios foram realizados em uma máquina hidráulica com capacidade para 150 toneladas, com controle de deformação a uma taxa igual a 0,025%/min.

A avaliação da durabilidade foi realizada através de ensaios de absorção de água por imersão (ABNT NBR 9778, 2005) e por capilaridade (ABNT NBR 9779, 2012). Todos os ensaios foram realizados em corpos de prova cilíndricos de dimensões 100mm de diâmetro x 200mm de altura.

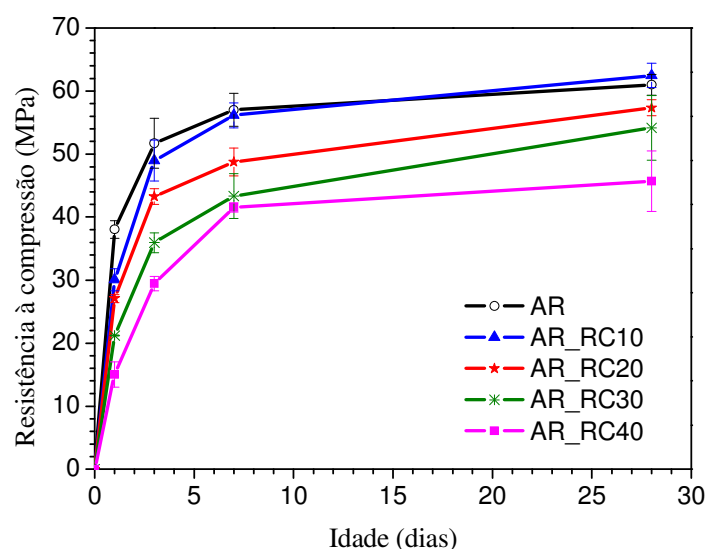


## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A argamassa de referência (AR) apresentou-se bastante fluida e de fácil trabalhabilidade com 32 cm de espalhamento e um uso de teor de aditivo de 0,25%. Com a incorporação do resíduo, houve uma tendência de redução no valor de espalhamento e, por isso, foi necessário o aumento no teor de aditivo na mistura. As argamassas produzidas com 10% de resíduo (AR\_RC10) tiveram cerca de 31 cm de espalhamento com 0,32% do uso de aditivo, enquanto as argamassas de 20% (AR\_RC20) e 30% (AR\_RC30), obtiveram um espalhamento médio de 30cm com uso de teor de sólidos de aditivo de 0,37 e 0,42 respectivamente. As argamassas com incorporação do resíduo de rocha ornamental também apresentaram valores de espalhamento na faixa de 30cm a 32cm, com uso de aditivo variando de 0,35% (10% de resíduo) a 0,45% (30% de resíduo).

A Figura 9 apresenta os valores de resistência à compressão das argamassas contendo resíduo cerâmico, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias. A argamassa contendo 10% de resíduo cerâmico foi aquela que apresentou valores de resistência à compressão mais próximos aos valores obtidos para a referência.

Figura 9 - Resistência à compressão das argamassas com resíduo cerâmico.



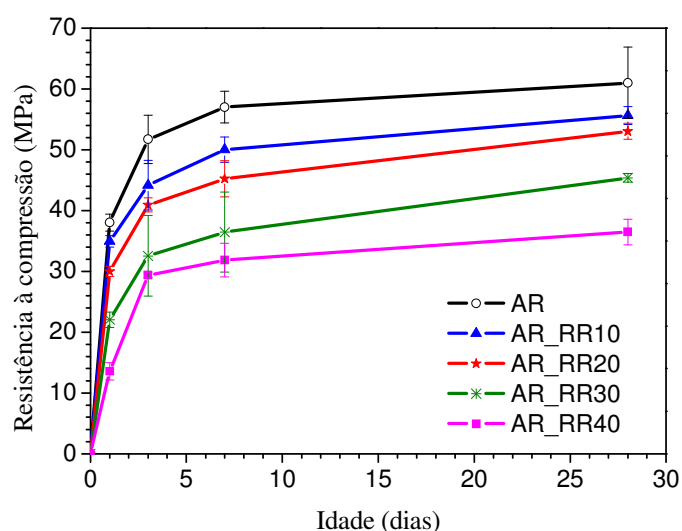
Fonte: Os autores

Para a argamassa AR\_RC40 a diferença entre os valores de resistência à compressão aos 7 e 28 dias foi inexpressiva. Para a idade de 28 dias, a argamassa com 10% de resíduo apresentou valores de resistência à compressão ligeiramente superior à argamassa de referência. Mesmo considerando a análise de difratograma de raios-X e o ensaio de atividade pozolânica onde mostra que o material possui fases cristalinas e seu índice de atividade pozolânica é inferior ao limite definido pela norma, para consideração do material como pozolana, o resíduo cerâmico mostrou que, principalmente, para as idades de 7 e 28 dias, há uma tendência de obtenção de valores de resistência à compressão próximos aos valores

obtidos para a argamassa de referência. Quando foram incorporados maiores teores (20%, 30% e 40%), os valores de resistência à compressão obtidos foram inferiores quando comparados com a argamassa de referência.

Com relação ao resíduo de rocha (figura 10), independentemente da idade, as argamassas apresentaram menores valores de resistência à compressão, em relação à argamassa de referência. Quanto maior o teor de substituição de cimento por resíduo, menor foi a resistência à compressão axial obtida. A análise de difratograma (figura 1) e o resultado do ensaio de atividade pozzolânica (tabela 1) confirmam tal resultado. Além disso, um provável efeito filler também não foi constatado, uma vez que há uma proximidade entre o tamanho médio dos grãos, conforme está mostrado no gráfico das curvas granulométricas do cimento e do resíduo de rocha (figura 7). Ainda assim, aos 28 dias, as reduções observadas nos valores de resistência à compressão foram ligeiramente inferiores aos teores de substituição do cimento pelo resíduo, por exemplo, para uma substituição de 30% de cimento por resíduo (argamassa AR\_RR30), foi observada uma redução de 25% no valor de resistência à compressão, em relação à argamassa de referência.

Figura 10 - Resistência à compressão das argamassas com resíduo de rocha.



Fonte: Os autores

Em função dos resultados obtidos nas argamassas, a avaliação do efeito dos resíduos nos concretos foi feita com a incorporação de 10% de resíduo, em substituição parcial ao cimento Portland.

O quadro 2 apresenta os resultados obtidos pela avaliação do abatimento do tronco de cone realizado nos concretos. O concreto referência (CR), apresentou um valor de abatimento igual a 19cm. Não foi determinado o valor de espalhamento para este concreto, uma vez que o mesmo não apresentou fluidez suficiente para se medir o diâmetro da massa de concreto sobre a placa de ensaio. Os resultados também mostram que mesmo com incorporação de resíduo foi possível a produção de concretos

com alto valor de espalhamento, da ordem de 50 cm, com ausência de exsudação (figura 11).

Quadro 2 – Resultados da avaliação reológica dos concretos.

Concretos	Abatimento (cm)	Espalhamento (cm)
CR	19	-
CR_RC10	-	50,5
CR_RR10	-	50,0

Fonte: Os autores

Figura 11 - Ilustração do espalhamento do concreto CR\_RC10.



Fonte: Os autores

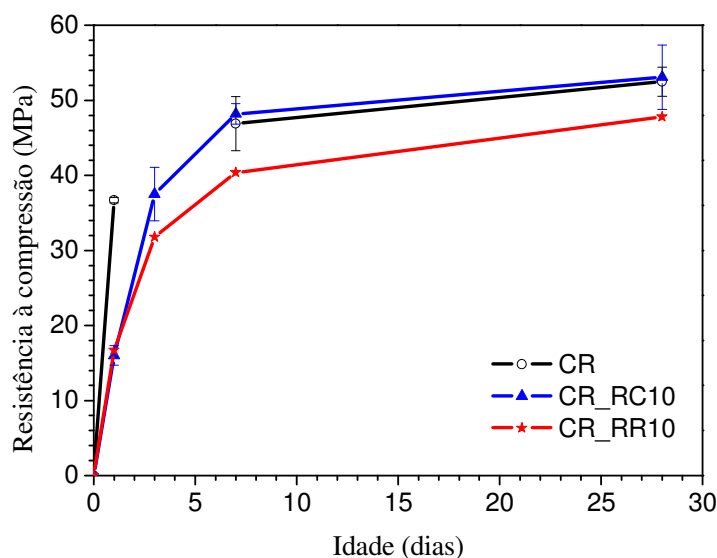
Os valores médios e respectivos coeficientes de variação de resistência à compressão ( $f_c$ ), deformação axial ( $\epsilon_a$ ) e módulo de elasticidade ( $E$ ), obtidos aos 1, 3, 7 e 28 dias de idade, estão apresentados no quadro 3. Observa-se, entretanto, que, por problemas decorridos durante o período de execução de alguns ensaios, nem todos os resultados puderam ser obtidos. Os resultados de resistência à compressão também estão ilustrados na figura 12.

Quadro 3 – Propriedades mecânicas dos concretos.

Concretos	Idades	$f_c$ - CV (MPa) - (%)	$\epsilon_a$ - CV ( $\mu\epsilon$ ) - (%)	E - CV (GPa) - (%)
CR	1	36,7 - 1,0	-	-
	3	- -	-	-
	7	46,9 - 7,7	-	-
	28	52,5 - 3,7	-	-
CR_RC10	1	16,0 - 8,2	4008 - 8,1	17,5 - 1,2
	3	37,5 - 9,5	2908 - 3,4	24,0 - 4,0
	7	48,2 - 2,8	2612 - 6,3	27,0 - 4,5
	28	53,1 - 8,1	2338 - 13,5	29,0 - 3,2
CR_RR10	1	16,7 -	3860 -	18,0 -
	3	31,8 -	2640 -	25,0 -
	7	40,4 -	2868 -	27,0 -
	28	47,8 -	2364 -	29,0 -

Fonte: Os autores

Figura 12 - Resistência à compressão dos concretos.



Fonte: Os autores

Os resultados mostram uma tendência de melhor comportamento mecânico do concreto com resíduo cerâmico quando comparado ao concreto com resíduo de rocha.

Quando se faz uma comparação dos concretos com resíduo em relação ao concreto sem resíduo (CR), observa-se que, assim como observado nos resultados das argamassas, o efeito da introdução do resíduo foi mais pronunciado em idades mais avançadas, ou seja, há uma redução na diferença entre os valores de resistência à compressão com a evolução da idade. Com 1 dia de idade, observa-se uma diferença de 56,0% (redução) entre os os valores de resistência à compressão dos concretos CR e CR\_RC10. Entretanto, aos 7 e 28 dias de idade, essa diferença (incremento) é de 2,7% e 1,1%, respectivamente. Aos 28 dias de idade, o melhor resultado foi do concreto com incorporação de resíduo cerâmico. A variação observada nos valores de deformação axial e módulo de elasticidade entre os concretos com incorporação de resíduos foi de no máximo 10%.

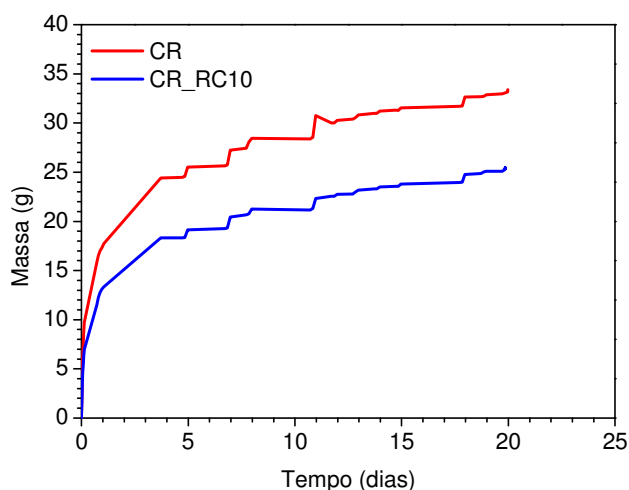
Com relação à durabilidade, o quadro 4 apresenta os valores de absorção de água por imersão e índice de vazios e a figura 13 apresenta a absorção de água por capilaridade, ilustrando o ganho de massa com o tempo. Estas propriedades foram avaliadas somente no concreto com incorporação do resíduo cerâmico (CR\_RC10) em comparação ao concreto referência (CR).

Quadro 4 - Resultados de absorção.

Concretos	Absorção de água por imersão (%)	Índice de vazios (%)
CR	2,59	4,48
CR_RC10	2,12	3,16

Fonte: Os autores

Figura 13 - Curva de absorção de água por capilaridade dos concretos.



Fonte: Os autores

Os resultados mostram que a incorporação do resíduo cerâmico nos concretos foi benéfica uma vez houve redução na absorção de água tanto por imersão quanto por capilaridade, além da redução no índice de vazios.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise experimental em argamassas permitiu avaliar diferentes teores de utilização dos resíduos estudados. O resíduo cerâmico apresentou melhor comportamento, sob compressão, quando comparado com o resíduo de rocha. Para o resíduo cerâmico os resultados indicaram que teores de substituição maiores que 10% acarretam uma redução significativa da resistência à compressão. Para o resíduo de rocha em todos os teores analisados houve redução da resistência à compressão. A análise experimental realizada em concretos utilizando teores de substituição de 10% permitiu verificar a viabilidade da utilização dos resíduos estudados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPERJ pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ALVES, M. S.. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da UFMG, 2008. 133 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Situação e perspectivas do setor brasileiro de rochas ornamentais. In: 46º Congresso Brasileiro de Geologia, 2012 Santos, São Paulo. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br>. Acesso em 19 de nov. 2012.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**. Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653**: materiais pozzolânicos - requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 5752**: materiais pozzolânicos: determinação de atividade pozzolânica com cimento Portland. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2004. 251 p.

GONÇALVES, J. P., MOURA, W. A. **Uso de resíduos sólidos como materiais de construção: uma alternativa para redução do impacto ambiental no setor da construção civil**. Diálogos & Ciência – Revista da Rede de Ensino FTC, 2007.

LOPES, J. L. M. P., BACARJI, E., FIGUEIREDO, E. J. P., RÊGO, J. H. S., PEREIRA, A. C. **Estudo do potencial de utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como fíler, na produção de concreto**. Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG, 2006.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozzolânica em argamassas e concretos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 2005. 107 p.