

# UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS INTERTRAVADAS DE CONCRETO

## USE OF SAW WASTE FROM ORNAMENTAL ROCKS IN THE MANUFACTURING OF INTERLOCKED CONCRETE PARTS

Antonio Rafael de Souza Alves Bôssolo 1  
Aline Araujo Sopran 2  
Caroline Knopf dos Santos 3  
Roberta Paula Medeiros Silva 4  
Adriano dos Guimarães de Carvalho 5  
Paulo dos Santos Batista 6

Doutor em Química, UniCatólica. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0965547414059401>. ORCID: 0000-0002-3113-9246.  
E-mail: [rafaelbosso@catolica-to.edu.br](mailto:rafaelbosso@catolica-to.edu.br)

Engenheira Civil, UniCatólica. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5041766577840808>. ORCID: 0000-0002-6832-4736.  
E-mail: [aline.a.sopran@gmail.com](mailto:aline.a.sopran@gmail.com)

Engenheira Civil, UniCatólica. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9649357049845502>. ORCID: 0000-0002-0687-859X.  
E-mail: [carolknopf97@gmail.com](mailto:carolknopf97@gmail.com)

Mestre em Mecânica das Estruturas, UniCatólica. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5349213998665996>. ORCID: 0000-0001-5984-6930.  
E-mail: [roberta.medeiros@p.catolica-to.edu.br](mailto:roberta.medeiros@p.catolica-to.edu.br)

Doutor em Ciências do Ambiente, IFTO. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8261115135036352>. ORCID: 0000-0002-9130-2877.  
E-mail: [agcarvalho@ifto.edu.br](mailto:agcarvalho@ifto.edu.br)

Doutor em Química, IFTO. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0136855258713745>. ORCID: 0000-0002-5133-1163.  
E-mail: [pbatista@ifto.edu.br](mailto:pbatista@ifto.edu.br)

**Resumo:** Os resíduos sólidos gerados pelo homem são constantemente problema enfrentado pela sociedade, o setor de rochas ornamentais produz toneladas de resíduos anualmente durante seus processos de beneficiamento, e reintegrar esses resíduos na cadeia produtiva traz uma alternativa para amenizar os impactos gerados pela indústria. Portanto, o estudo desenvolvido propõe o uso o Resíduo de Serragem de Rocha Ornamental (RSRO) para produção de peças intertravadas de concreto, utilizadas na pavimentação, que atendam a legislação vigente, incentivando a adoção do material em seu processo produtivo. A pesquisa utilizou a matéria-prima reciclada na substituição parcial do aglomerante convencional, nos teores de 0, 4, 8 e 12% em massa, avaliando-se o comportamento mediante o uso de aditivos em duas curas distintas: por imersão e aspersão. O uso do RSRO teve aumento na resistência para os traços com 8 e 12% de substituição, para aqueles que foram submetidos a imersão e não foi feito o uso de aditivos, para o restante houve um leve decréscimo, porém, manteve a resistência determinada pela norma. O uso do aditivo com a diminuição da água obteve resultados inferiores aos que não o utilizaram. As diferentes curas alcançaram resultados semelhantes, porém os traços com aditivo decaíram muito para a aspersão.

**Palavras-chave:** Concreto Sustentável. Reutilização. Mármore. Granito. Beneficiamento.

**Abstract:** The solid waste generated by man is a constant problem faced by society, the ornamental stone sector produces tons of waste annually during its processing processes, and reintegrating this waste into the production chain provides an alternative to mitigate the impacts generated by the industry. Therefore, the study developed proposes the use of Ornamental Rock Sawdust Waste (RSRO) for the production of interlocking concrete pieces, used in paving, that meet current legislation, encouraging the adoption of the material in its production process. The research used the recycled raw material in the partial replacement of the conventional binder, in the contents of 0, 4, 8, and 12% by mass, evaluating the behavior through the use of additives in two different cures: by immersion and spraying. The use of RSRO had an increase in strength for the mixes with 8 and 12% of substitution, for those that were subjected to immersion and no additives were used, for the rest, there was a slight decrease, however, it maintained the resistance determined by the standard. The use of the additive with the reduction of water had lower results than those who did not use it. The different cures achieved similar results, but the additive mixes decayed too much for spraying.

**Keywords:** Sustainable Concrete. Reuse. Marble. Granite. Processing.

## Introdução

As rochas ornamentais estão bastantes presentes na construção civil, por sua beleza, durabilidade, facilidade de conservação e resistência mecânica. Os termos da Norma Brasileira (NBR) 15.012 (2013) da Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) a definem como: material rochoso, que é sujeito a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, empregado para exercer função estética, como no revestimento de pisos, paredes e escadas, na bancada de uma pia, em uma mesa ou até mesmo na decoração. Alencar (2013) destaca que alguns conceitos podem variar, mas as principais rochas que constituem esse setor são os mármore e os granitos.

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a extração mundial de rochas ornamentais e de revestimento atingiu por volta de 145 Megatoneladas (Mt) no ano de 2016, sendo o Brasil detentor de 6,4% desta produção (DNPM, 2017), ficando atrás apenas da China, Índia e Turquia. De acordo com os dados do Anuário Mineral Brasileiro (AMB) do DNPM (2016) as reservas recuperáveis do Brasil alcançam a ordem de 6 bilhões de metros cúbicos de rochas ornamentais. O que é importante salientar é que para chegar ao consumidor final essas rochas passam por diversos processos, gerando uma grande quantidade de resíduos que, Rocha e Sousa (2010) avaliam atingir de 30 a até 40% da matéria inicial, desde a extração até a última etapa. Considerando a produção mundial em 2016, como já mencionado anteriormente, foi de 145 Mt, estima-se que foram produzidos 43,5 milhões de toneladas de resíduos aproximadamente.

Concomitantemente as indústrias não têm uma destinação adequada para o Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais (RSRO) que acaba sendo descartado em terrenos baldios ou aterros sanitários. A disposição deste material no meio ambiente pode acarretar a contaminação do solo, podendo chegar aos leitos dos Rios, como também ocasiona a perda de grandes áreas em aterros, desperdiçando um resíduo que poderia ser reutilizado como matéria prima para um novo produto.

Vários autores já fizeram pesquisas com o propósito de inserir o RSRO na cadeia produtiva. Dentre eles, vale mencionar: Gonçalves (2000) que baseou seu estudo na fabricação de concreto, Falcão e Stellin Junior (2001) que trata da aplicação do resíduo para a elaboração de peças cerâmicas e blocos estruturais, Moura *et al* (2002) que examina o uso do resíduo em argamassas de revestimento e também Calmon *et al* (1997) com argamassas de assentamento. De modo que, é possível reutilizar o RSRO como matéria prima reciclada para obtenção de diversos itens.

A ideia de incorporar o RSRO na construção civil parte da grande necessidade de insumos que o setor demanda diariamente, de acordo com Pedroso (2009) só o concreto representa um consumo médio de 1,9 toneladas por habitante por ano, perdendo apenas para o consumo de água. Com isso, na busca para desenvolver um produto com característica sustentável, optou-se pelas Peças Intertravadas de Concreto (PIC), que vem se destacando pela sua ampla utilização como opção para a pavimentação, isso porque elas apresentam diversas vantagens como a permeabilidade, instalação fácil e rápida com uso imediato, não necessitando de mão-de-obra especializada, além de que, sua estrutura pode ser desmontada e reutilizada, gerando menos resíduos.

Nesse sentido, a proposta é implementar o material reciclado na obtenção de PIC, e então analisar qual o comportamento das propriedades físicas e mecânicas destas ao agregar o RSRO em sua composição. Logo, o objetivo é verificar a viabilidade da incorporação de RSRO nas proporções 0, 4, 8 e 12% na produção de PIC, comparando a adição de aditivos, submetidas dois tipos de cura: úmida por aspersão e úmida por imersão.

Portanto, a pesquisa busca alcançar um concreto com o comportamento físico-mecânico semelhante ao convencional e que esteja dentro da legislação vigente, de modo a incentivar que as empresas do ramo adotem a matéria prima reciclada em seu processo produtivo, trazendo uma alternativa para diminuir os impactos ambientais ocasionados pelo setor de rochas e dispor uma nova perspectiva na fabricação de PIC diminuindo o consumo de insumos na construção civil.

## Metodologia

Com o propósito de alcançar resultados satisfatórios ao tema abordado utilizou-se a pesquisa bibliográfica através de livros, artigos, periódicos, entre outros para obter subsídios teóricos, planejar e compreender os dados obtidos com os experimentos. A pesquisa exploratória experimental consistiu na produção de PIC para obtenção das respostas experimentais: absorção de água e teste de resistência à compressão axial. Os experimentos foram planejados conforme a Tabela 1, em que as variáveis independentes de estudos foram: a incorporação do RSRO como matéria prima reciclada através da substituição parcial do cimento nas proporções 0, 4, 8 e 12% em massa; tipo de cura; presença ou não de aditivo.

**Tabela 1** Planejamento dos experimentos.

Resposta Experimental	Quantidade de corpos de Provas							
	Sem aditivo				Com aditivo			
	Substituição do cimento pelo RSRO				Substituição do cimento pelo RSRO			
	0%	4%	8%	12%	0%	4%	8%	12%
Absorção de água com cura úmida por aspersão	3	3	3	3	3	3	3	3
Resistência à Compressão com cura úmida por aspersão	6	6	6	6	6	6	6	6
Absorção de água com cura úmida por imersão	3	3	3	3	3	3	3	3
Resistência à Compressão com cura úmida por imersão	6	6	6	6	6	6	6	6

Fonte: Autores, 2020.

## Materiais

Para o desenvolvimento do programa experimental, foram utilizados: RSRO, cimento, areia média, brita 1, e água. O aglomerante empregado foi o CP II F 40 regularizado pela NBR 11.578 (ABNT, 1991), que é basicamente o Cimento Portland Composto com Fíler, o fíler é um pó fino oriundo da moagem de calcário, basalto, materiais carbonáticos, etc., ou seja, um pó que advém de rochas, semelhante à proposta do resíduo utilizado e está associado ao cimento em teor entre 6 e 10%, além disso, a associação dele ao cimento tem como característica o aumento da trabalhabilidade, e diminuição da permeabilidade, o que influenciou na escolha, visto que o resíduo utilizado retém muita água.

O agregado miúdo constitui-se de areia lavada, proveniente do Lago de Palmas, localizado em Palmas - TO, com um módulo de finura de 2,61 considerada como areia média. Como agregado graúdo, fez-se o uso da Brita 1, com módulo de finura de 4,11.

Devido às características do material, foi feito o uso de aditivo plastificante (Vedalit) líquido e concentrado, que entra como uma alternativa para aumentar a trabalhabilidade do material, e a possível melhoria da resistência com a redução da quantidade de água inserida no concreto, diminuindo o fator água/cimento. Além disso, foram desenvolvidos traços com e sem a presença do aditivo, com a finalidade de analisar qual apresentaria um melhor desempenho.

## Métodos

- Caracterização do RSRO

A amostragem do RSRO foi coletada na Taquaralto Marmoraria, localizada na perimetral da Rodovia TO-050, na região de Taquaralto município de Palmas - TO, a qual trabalha com corte das placas de granitos e mármore para aplicação em revestimentos, pias, pisos, balcões entre outros. Para dar forma às placas faz-se o uso de disco de corte diamantado, esses discos possuem grãos abrasivos que desgastam o elemento até o corte, enquanto isso a água resfria a área de contato e remove a poeira (que é o RSRO), o processo gera uma lama que é direcio-

nado para uma caixa onde o resíduo é armazenado, e posteriormente descartado. O esquema implantado pela empresa é bastante simples, visto que permite a organização no ambiente de trabalho, tornando-o mais limpo e evitando que o resíduo se espalhe, além de que, a caixa pode ser limpa mensalmente, sem ter que se tornar um trabalho diário.

Por conseguinte, segundo o proprietário, a caixa é esvaziada cerca de uma vez por mês, considerando que são duas caixas de 1,00 m<sup>2</sup> com altura de 1,50 m, temos que o volume de resíduos produzidos é de por volta de 36 metros cúbicos anualmente. Para a pesquisa, esse sistema é muito proveitoso, pois permite que o resíduo seja coletado com mais facilidade e tenha menos impurezas, na Figura 1 pode-se observar o local em que o material foi retirado.

**Figura 1.** Local de retirada do material.



**Fonte:** Autores, 2020

Após a sua coleta, o material foi levado ao laboratório do Centro Universitário Católica do Tocantins, onde foi secado em estufa e peneirado para que se tornasse pó, como mostra a Figura 2.

**Figura 2.** (a) e (b) processo de secagem do RSRO.

(a) RSRO coletado em forma de lama

(b) RSRO após a secagem e peneiramento



**Fonte:** Autores, 2020.

Posto isso, foram realizados os ensaios de granulometria e ensaio químico do mesmo, os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Granulometria do Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais (RSRO).

Peneira (µm)	Peso (g)	% Retida	%Acumulada
850	7	0,83	0,83
600	7	0,83	1,66
300	26	3,08	4,73
150	124	14,67	19,41
90	327	38,7	58,11
75	200	23,67	81,78
Fundo	154	18,22	100
<b>Total</b>	<b>845</b>	<b>100</b>	<b>Módulo de finura 1,67</b>

**Fonte:** Autores, 2020.

A partir da Tabela 2 é possível perceber que o material em sua maioria ficou na peneira 90, portanto, seu módulo de finura é 1,67, assim classificado o mesmo como fino. O aspecto visual do material se assemelha ao cimento, a cor e a textura, porém pode-se verificar a existência de alguns grãos maiores, como cristais de mármore que brilham em meio ao pó. Apesar de aparentar com um solo argiloso, o RSRO ao entrar em contato com a água não adquire plasticidade, não é moldável, que é uma particularidade importante para ser agrupado a essa classe de solo.

Para compreender melhor esse material houve o ensaio químico, onde o mesmo foi enviado para o Centro Analítico de Instrumentação da Universidade de São Paulo (USP) – Central Analítica, em que foram analisadas as porcentagens de quatro elementos, que julgamos determinantes na composição do resíduo. A digestão das amostras transcorreu utilizando mistura 3:2: 24 de água régia, ácido fluorídrico e ácido bórico e aquecimento em forno de micro-ondas, em frascos fechados. Os resultados estão apresentados na Tabela 3:

**Tabela 3.** Composição Química do RSRO.

Resultado	Al (%)	Ca (%)	Fe (%)	Si (%)
1	6,91	6,51	4,57	23,82
2	6,77	6,11	4,82	24,79

**Fonte:** Centro Analítico de Instrumentação da Universidade de São Paulo (USP).

Com base nos resultados é possível perceber a predominância do Silício em quase 25% da sua composição, de acordo com Peixoto (2001), ele só é encontrado na natureza combinado a outros elementos, sendo assim, presente em quase todas as rochas, areias, barros e solos, comumente aparece ligado ao oxigênio formando a sílica (SiO<sub>2</sub> - dióxido de silício). A junção da sílica com outros elementos (como alumínio, magnésio, cálcio, sódio, potássio ou ferro) formam os silicatos, que agrupados formam as rochas.

Como no teste realizado, todo e qualquer silício presente é identificado, não é possível afirmar se há predominância da sílica ou de silicatos e nem quais tipos de silicatos são presentes.

- Produção das PIC

Baseado nas características dos materiais foi definido a proporção ideal entre os agregados, estabelecendo um traço de referência para as peças intertravadas, de modo que atendes-se a resistência mínima de 35 MPa exigida pela norma NBR 9781 (ABNT, 1987), considerando o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. As proporções obtidas são 1 : 1,88 : 2,49 : 0,49 (cimento: areia: brita : água), sendo o RSRO incorporado como substituição parcial do cimento nas proporções 4, 8, e 12% em massa, além disso, foram feitos traços com e sem o uso de aditivo plastificante, e que aqueles que foram acrescidos o aditivo obteve 10% de redução de água. Os traços seguiram as combinações da Tabela 4, que consta também a identificação dada para cada traço.

**Tabela 4.** Combinações dos traços produzidos.

Aspersão		Imersão	
Com aditivo	Sem aditivo	Com aditivo	Sem aditivo
T01 - 0%	T05 - 0%	T09 - 0%	T13 - 0%
T02 - 4%	T06 - 4%	T10 - 4%	T14 - 4%
T03 - 8%	T07 - 8%	T11 - 8%	T15 - 8%
T04 - 12%	T08 - 12%	T12 - 12%	T16 - 12%
<b>Total de combinações</b>			<b>16</b>

Fonte: Autores, 2020

Conforme observada na Tabela 4, as combinações dividem-se de acordo com o tipo de cura, o uso de aditivo e as porcentagens de substituição do aglomerante pelo RSRO, totalizando 16 diferentes traços para serem analisados.

Posto isso, avançou-se para o processo de fabricação, a mistura do concreto foi elaborada em betoneira de eixo inclinado, acrescentando a brita com metade da água, por 30 segundos, em seguida foi adicionada a areia e o cimento, agitando por mais 30 segundos, sem parar, por conseguinte foi somado o restante da água e misturado por mais 90 segundos.

O RSRO, quando utilizado, foi acrescentado ao cimento, já o aditivo foi adicionado em conjunto com água. Logo, a massa de concreto pronta foi inserida em formas untadas com desmoldante (uma combinação de óleo queimado e diesel), e colocadas sobre uma mesa vibratória por 30 segundos, deste modo, o concreto molda-se adequadamente a fôrma, evitando o surgimento de vazios, a Figura 3 (a) e (b) ilustra algumas etapas da fabricação.

**Figura 3.** Produção dos corpos de prova.

(a) - Fôrmas sobre a mesa vibratória



(b) - Fôrmas preenchidas com concreto



Fonte: Autores, 2020.

A Figura 3 (a) apresenta as formas dispostas sobre a mesa vibratória onde recebem o concreto, e na Figura 3 (b) as formas já vibradas devidamente preenchidas aguardando a desenforma. Após passadas 24 horas, as PIC foram retiradas das fôrmas e separadas em dois grupos, para realizar as diferentes curas.

- Cura

Para a cura das PIC foram utilizados dois métodos: a cura por imersão no qual metade das peças produzidas para cada traço foi imersas em tanques de água, onde permaneceram por 28 dias; e a cura por aspersão detentora da outra metade ficou disposta empilhada sobre paletes, sendo molhada com o uso de uma mangueira por cerca de 1 minuto, duas vezes por dia. O primeiro método permite um ambiente ideal para a hidratação do concreto, já o segundo método representa a forma comumente utilizada nas indústrias, desse modo é possível

verificar efetivamente a viabilidade da produção em empresas do ramo.

## Ensaio

### Ensaio de Absorção

O ensaio de absorção de água foi desenvolvido com o amparo da NBR 9781 (ABNT, 2013) que especifica os métodos de ensaios para peças de concreto utilizadas na pavimentação, o objetivo é verificar o aumento em massa devido à penetração de água nos corpos em relação a sua massa seca, que ainda segundo a norma, deve apresentar valor médio menor ou igual a 6%, não podendo dispor de valores individuais maiores que 7%. Neste ensaio, as PIC são imersas em tanques por 24 horas, e submetidas à pesagem uma a uma, em seguida sua massa é medida a cada 2 horas até que alcance a condição de saturação. Saturados, são dispostos em estufa para que alcancem a condição de seco, e com isso foram confrontados os valores obtidos.

**Figura 4** Ensaio de absorção.

**(a)** Peças imersas para saturação



**(b)** Peças em estufa para secagem



Fonte: Autores, 2020

As Figuras 4 (a) e (b) mostram as peças imersas para saturação em água e secagem na estufa, realizados no Laboratório de materiais do Instituto Federal do Tocantins.

### Ensaio de Compressão

O ensaio de compressão foi realizado também conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), a finalidade deste ensaio é averiguar as resistências à compressão máxima de cada peça. Para isso, foi necessária a utilização de máquina de compressão devidamente calibrada e duas placas circulares com diâmetro de 85 cm, essas placas foram posicionadas para que ficassem no centroide das PIC, que já contavam com superfície lisa e nivelada, como mostra a Figura 5.

**Figura 5** Ensaio de Compressão axial.



**Fonte:** Autores, 2020.

Como podemos ver na Figura 5, as placas ficam posicionadas de modo a coincidir com o centroide da peça.

## **Análise estatística**

- Análise de Variância (ANOVA)

Pelas informações experimentais atingidas, fez-se a análise estatística descritiva formada pela média, variância amostral, desvio padrão amostral, coeficiente de variação, tabelas e gráficos estatísticos. A partir disso, foi feita a Análise de Variância (ANOVA), o uso dessa técnica possibilita a análise de grupos de observações, fazendo uma comparação da variação das médias aritméticas entre grupos distintos, ou dentro de um mesmo grupo (NANNI e RIBEIRO, 1992). Para ele testamos duas hipóteses, o  $H_0$  representou a hipóteses de que as médias são iguais, e  $H_1$  que as médias são diferentes.

- Teste de Tukey

Para determinar a diferença mínima significativa entre as médias, e quais delas são diferentes, foi aplicado o Teste de Tukey, que segundo Nanni e Ribeiro (1992) é o teste de comparação de médias mais utilizado por ser bastante rigoroso, e também de fácil aplicação, é empregado para comparar todo e qualquer dessemelhança entre as médias de tratamento. O Teste de Tukey é representado pela equação (LEVINNE, 2012):

Onde,  $q_{\alpha; k; k(n-1)}$  expressa a amplitude estudentizada no nível  $\alpha$  de significância almejada, que para este caso 5% com  $k$  tratamentos e  $n$  repetições, QMR é o quadrado médio da análise de variância. A sigla HSD representa a diferença honestamente significativa e simboliza o maior valor possível para que não haja diferença entre as médias, isto é, qualquer diferença entre médias maior que o HSD mostra que as médias são diferentes, conforme a significância escolhida (LEVINNE, 2012).

## **Apresentação dos Resultados**

### **Ensaio de absorção**

Na Tabela 5 estão apresentados os valores obtidos através do ensaio de absorção de água, foram consideradas 3 amostras para cada combinação.



**Tabela 5** Resultados dos testes de absorção das PIC.

Amostra	Porcentagem de água em relação a massa seca (%)															
	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
(A)	4,2	4,2	3,5	4,3	4,2	4,8	4,7	5,0	3,9	2,7	3,1	2,4	2,4	5,1	5,0	4,7
(B)	3,9	3,8	4,0	4,4	4,2	4,1	5,2	4,8	4,1	2,9	2,6	3,0	2,4	4,0	5,2	5,4
(C)	4,2	3,8	4,6	5,4	4,8	4,3	5,4	5,0	4,3	3,0	2,6	3,5	3,0	4,5	5,5	4,7
<b>Média</b>	4,1	3,9	4,0	4,7	4,4	4,4	5,1	4,9	4,1	2,9	2,7	3,0	2,6	4,5	5,3	5,0
<b>s</b>	0,17	0,23	0,55	0,61	0,35	0,36	0,36	0,12	0,20	0,15	0,29	0,55	0,35	0,55	0,25	0,40

Onde s representa o desvio padrão, e T01 à T16 referem-se aos traços descritos na Tabela 4

Conforme visto na Tabela 5, nenhuma média se sobrepôs a 6% e não obtivemos valores individuais maiores que 7%, estando assim, portanto de acordo com a norma NBR 9781 (2013).

### Ensaio de Compressão

A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes de resistência a compressão das PIC bem como suas médias, desvios, variâncias e coeficientes de variação.

**Tabela 6** Resultados do Ensaio de Compressão axial das PIC.

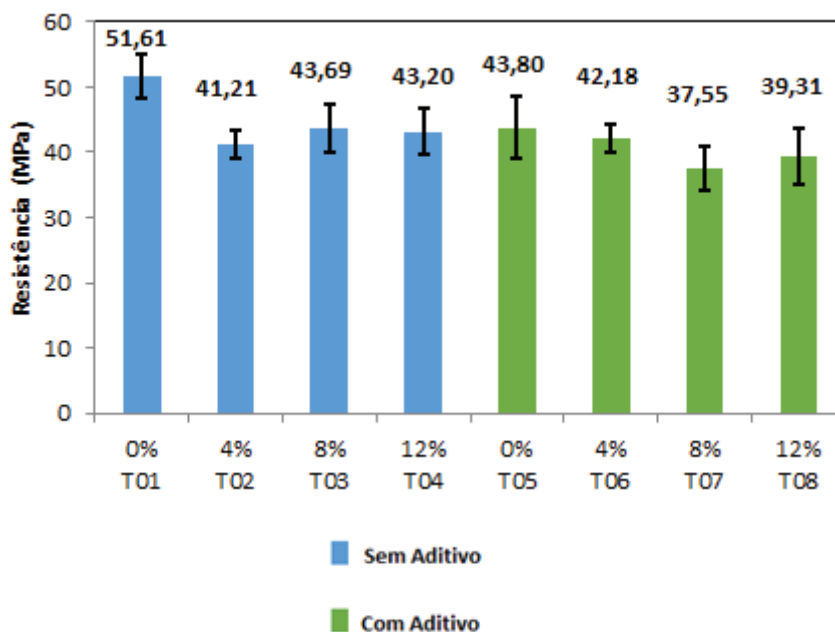
	Imersão								Aspersão							
	Sem aditivo				Com aditivo				Sem aditivo				Com aditivo			
	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
Resistência a compressão axial (MPa)	53,6	44,1	42,6	45,1	51,1	42,4	42,4	35,6	42,9	44,4	48,6	46,1	39,9	37,0	38,1	32,0
	48,6	41,1	48,0	44,7	44,1	41,0	41,0	42,5	45,9	35,8	44,2	41,6	42,3	36,8	35,2	33,8
	48,9	40,9	48,8	43,7	38,0	40,6	36,9	37,1	45,2	48,6	48,3	44,2	45,9	36,6	34,3	32,7
	51,9	38,2	40,2	35,9	47,7	41,0	34,0	35,7	44,7	40,1	50,0	44,6	45,8	32,2	34,2	34,1
	47,3	44,6	46,4	45,3	44,5	42,5	38,1	45,1	41,5	49,7	51,4	43,9	42,3	34,5	39,1	36,0
	57,2	40,5	42,5	47,6	45,8	46,7	34,2	45,1	39,6	43,8	44,5	49,7	40,6	32,7	33,0	33,4
	55,0	41,1	42,7	41,8	42,2	39,9	39,5	38,0	44,6	38,9	44,6	41,4	36,7	40,6	35,8	31,5
	50,4	39,2	38,3	41,5	37,0	43,3	34,3	35,4	46,1	33,3	47,4	48,6	38,4	38,1	38,4	31,7
<b>M<sub>e</sub></b>	51,6	41,2	43,7	43,2	43,8	42,2	37,6	39,3	43,8	41,8	47,4	45,0	41,5	36,1	36,0	33,2
<b>s</b>	3,5	2,2	3,7	3,6	4,7	2,2	3,3	4,2	2,3	5,8	2,7	3,0	3,3	2,8	2,3	1,5
<b>s<sup>2</sup></b>	11,9	4,8	13,8	12,6	22,2	4,6	10,6	18,0	5,3	34,1	7,4	9,0	10,7	7,9	5,1	2,3
<b>cv (%)</b>	6,7	5,3	8,5	8,2	10,8	5,1	8,7	10,8	5,2	14,0	5,7	6,7	7,9	7,8	6,3	4,5

Onde, r é o número de repetições, s é o desvio padrão, s<sup>2</sup> representa a variância amostral e cv o coeficiente de variação expresso em porcentagem.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 6 é possível analisar superficialmente pelas médias que a resistência decresceu com a adição do RSRO, em relação ao traço base (0%). Somente para o traço submetido à aspersão e que não foi feito o uso de aditivo que se obteve um aumento de 8,15% na resistência com a adição de 8% de RSRO, e aumento de 2,34% para 12% de RSRO. Com isso, foi feito os comparativos através do Teste de Tukey, para poder definir se esse aumento ou diminuição das resistências são significativos.

- Comparativo das Resistências das PIC por Imersão  
Fazendo um comparativo das resistências das PIC submetidas à imersão, com relação à adição de aditivos, obtivemos os seguintes resultados observados no Gráfico 1.

**Gráfico 1** Resultados dos comparativos das PIC por Imersão.



Fonte: Autores, 2020.

Após os comparativos, realizaram-se os cálculos para análise de variância, na Tabela 7, temos a descrição dos resultados alcançados.

**Tabela 7** Análise de Variância I.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrática	Quadrado Médio	F <sub>Calculado</sub>	F <sub>Crítico</sub>
Tratamento	7	98,54	12,32	11,34	2,18
Resíduos	56	122,24	139,7		
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>220,78</b>	A	<b>0,05</b>	-

Fonte: Autores, 2020.

Utilizando a estatística tabelada, a um nível de significância de 5%, o  $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{Crítico}}$  apresentado na Tabela 7, rejeitando assim a hipótese  $H_0$ , ou seja, existe pelo menos uma média diferente das demais. O comparativo entre as médias apresenta-se na Tabela 8.

**Tabela 8** Teste de Tukey I.

Traço	Média	Código
T01	51,61	a
T02	41,21	b
T03	43,69	b
T04	43,2	b
T05	43,8	b
T06	42,18	bc

T07	37,55	c
T08	39,31	bc
<b>HSD</b>	<b>5,37</b>	-

Fonte: Autores, 2020.

Os traços que não fizeram o uso de aditivos (T01 à T04) obtiveram um melhor desempenho para 0% de adição do RSRO, porém a resistência permaneceu a mesma adicionando 4, 8 ou 12% do material.

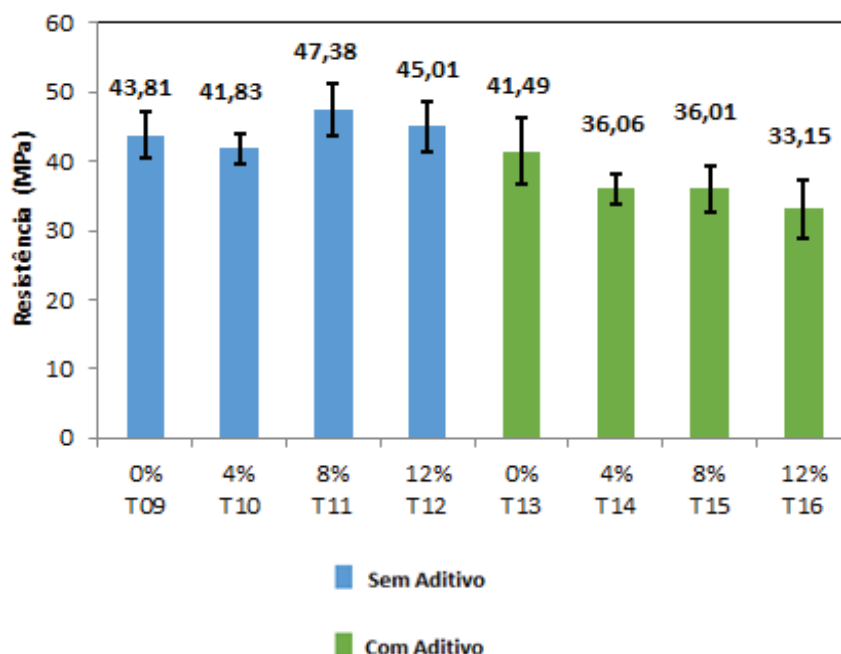
Os traços que fizeram o uso de aditivos (T05 à T08), não obtiveram uma diferença significativa no desempenho com a adição do RSRO, como visto na Tabela 8, a média para 0%, 4% e 12% é estatisticamente igual, e mesmo com o uso de 8% de adição não ser igual ao de 0%, ele se assemelha às médias de 4 e 12%.

Com relação aos aditivos, aqueles que não fizeram o uso do mesmo (T01 à T04) apresentaram resistências muito parecidas com os que tiveram, a ressaltar o traço T01 que obteve um desempenho superior aos demais. Sendo assim, não se pode dizer que o uso de aditivos teve impacto sobre a resistência das PIC.

- Comparativo das Resistências das PIC por Aspersão

O Gráfico 2 mostra as resistências e os desvios padrões das PIC submetidas a aspersão, fazendo um comparativo entre as que usaram ou não aditivos, com relação a substituição do RSRO.

**Gráfico 2** Resultados do comparativo das PIC por Aspersão.



Fonte: Autores, 2020.

Baseado nos cálculos feitos para as resistências obtidas no ensaio de compressão foi feita uma comparação entre as PIC que foram submetidas à cura por aspersão, tanto com aditivo como para as sem. Nos comparativos avaliamos a hipótese  $H_0$ , onde as médias são iguais e  $H_1$  que possui médias distintas, na Tabela 9, pode-se observar os dados obtidos.

**Tabela 9** Análise de Variância II.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrática	Quadrado Médio	F <sub>Calculado</sub>	F <sub>Crítico</sub>
Tratamento	7	81,69	10,21	19,6	2,18
Resíduos	57	175,12	200,13		
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>256,8</b>	$\alpha$	<b>0,05</b>	-

**Fonte:** Autores, 2020.

Com o  $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{Crítico}}$  rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais, e a partir da Tabela 10 pode-se verificar o comparativo das médias.

**Tabela 10** Teste de Tukey II.

k	Média	Código
T09	43,81	a
T10	41,83	a
T11	47,38	c
T12	45,01	ac
T13	41,49	a
T14	36,06	b
T15	36,01	b
T16	33,15	b
<b>HSD</b>	<b>4,89</b>	-

**Fonte:** Autores, 2020.

Os traços que não fizeram o uso de aditivos (T09 à T012) obtiveram o mesmo desempenho para 0, 4, e 12% de adição do RSRO, já a resistência para 8% se destacou ficando superior a 0 e 4%, e semelhante a 12%.

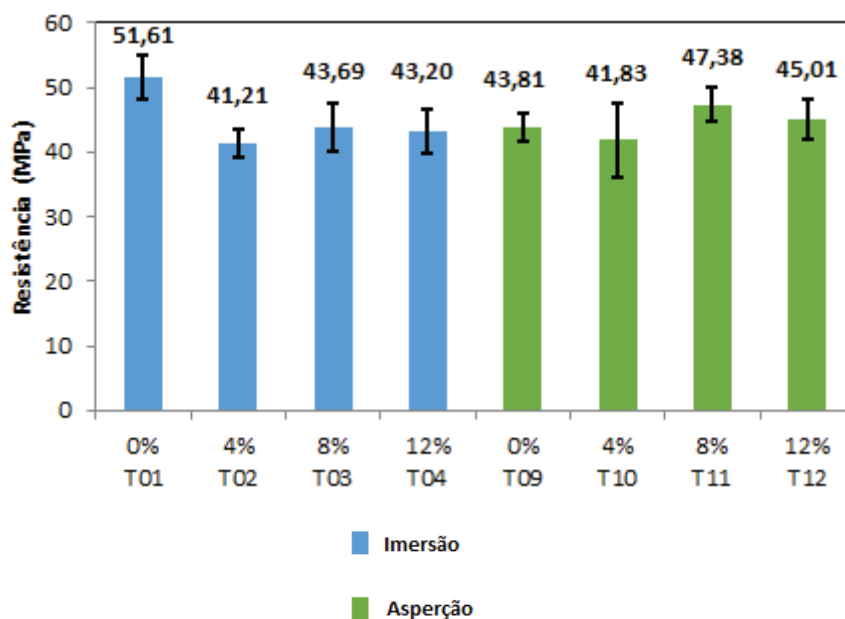
Os traços sem aditivos (T13 a T16) sofreram uma queda na resistência com a adição do RSRO, porém as médias de 4, 8 e 12% se mantiveram as mesmas independentemente do aumento da adição.

Relacionando ao uso dos aditivos, os isentos obtiveram um comportamento superior àqueles que continham o aditivo na sua composição, e foram adicionados RSRO, pois o traço T13, alcançou uma média semelhante aos traços T10 à T12. Neste caso, pela cura de aspersão, o aditivo juntamente a adição do RSRO pode ter interferido na resistência das mesmas.

- Comparativo das Resistências das PIC sem Aditivo

Ao confrontar as resistências das PIC produzidas sem aditivo, curadas por aspersão e imersão, adquirimos os dados expresso no Gráfico 3.

**Gráfico 3** Resultados do comparativo das PIC sem aditivo.



Fonte: Autores, 2020.

Após os comparativos, realizaram-se os cálculos para análise de variância, onde as informações necessárias encontram-se na Tabela 11.

**Tabela 11** Análise de Variância III.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrática	Quadrado Médio	F <sub>Calculado</sub>	F <sub>Crítico</sub>
Tratamento	7	98,82	12,35	7,36	2,18
Resíduos	57	79,52	90,89		
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>178,35</b>	$\alpha$	<b>0,05</b>	-

Fonte: Autores, 2020.

Com o  $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{Crítico}}$  rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais, e a partir da Tabela 12, observa-se o comparativo das médias.

**Tabela 12** Teste de Tukey III.

k	Média	Código
T01	51,61	a
T02	41,21	b
T03	43,69	b
T04	43,2	b
T09	43,81	b
T10	41,83	b
T11	47,38	ac
T12	45,01	bc
HSD	5,37	-

Fonte: Autores, 2020.

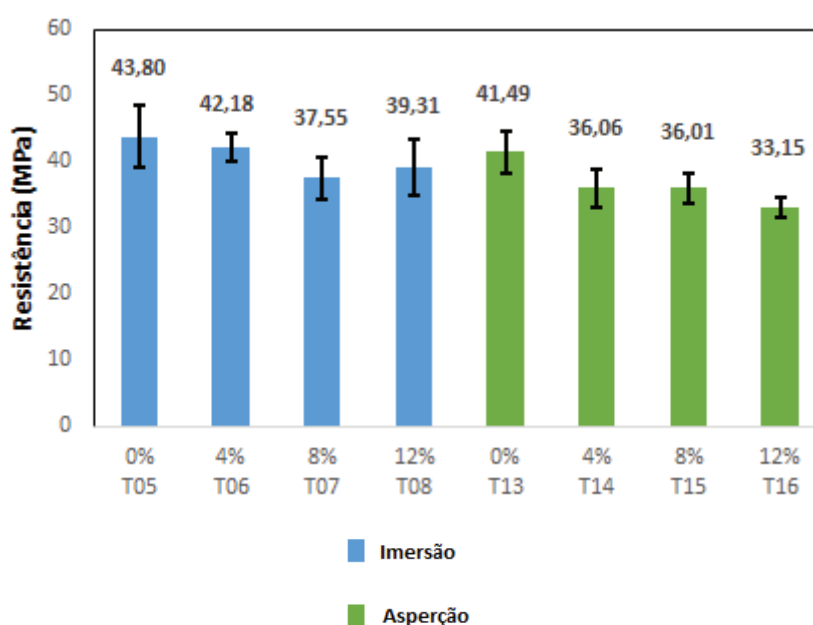
Ambos os traços não foram incorporados aditivos nas suas composições, o que está sendo analisado é qual tipo de cura teve um melhor desempenho nessas condições. T01 à T04 tiveram a cura por imersão e T09 a T12 por aspersão.

A cura por imersão se apresentou como superior a aspersão para 0%, igual para 4% e 12%, e inferior para 8%. As PIC dispostas a imersão tiveram uma queda com a adição do RSRO, porém se mantiveram linear para 4 a 12%, e as dispostas à aspersão permaneceram com a mesma resistência para 0, 4 e 12%, com um leve aumento para 8%.

- Comparativo das Resistências das PIC com Aditivo

Ao comparar as resistências obtidas do ensaio de compressão das PIC com adição de aditivo, com relação às curas por aspersão e imersão, chegou-se à análise mostrada no Gráfico 4.

**Gráfico 4** Resultados do comparativo das PIC com aditivo.



**Fonte:** Autores, 2020.

Sustentado pelos comparativos, sucedeu-se os cálculos para análise de variância, onde seus principais dados estão expostos na Tabela 13.

**Tabela 13** Análise de Variância IV.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrática	Quadrado Médio	F <sub>Calculado</sub>	F <sub>Crítico</sub>
Tratamento	7	81,4	10,18		
Resíduos	57	92,53	105,75	10,39	2,18
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>173,93</b>	$\alpha$	<b>0,05</b>	-

**Fonte:** Autores, 2020.

Com o  $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{Crítico}}$  rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais, e a partir da Tabela 14 percebe-se o comparativo das médias.

**Tabela 14** Teste de Tukey IV.

<b>k</b>	<b>Média</b>	<b>Código</b>
T05	43,8	a
T06	42,18	ab
T07	37,55	bc
T08	39,31	abc
T13	41,49	ab
T14	36,06	cd
T15	36,01	cd
T16	33,15	d
<b>HSD</b>	<b>4,88</b>	-

**Fonte:** Autores, 2020.

Ambos os traços tiveram aditivos incorporados nas suas produções, o que está sendo analisado é qual tipo de cura teve um melhor desempenho nessas condições. T05 à T08 tiveram a cura por imersão e T13 a T16 por aspersão.

A cura por imersão se apresentou como superior a aspersão para 4% (T06 comparado a T14) e 12% (T08 comparado a T16), igual para 0% (T05 e T13) e 8% (T07 e T15).

As peças dispostas a imersão tiveram queda nas médias com a adição de RSRO, porém pelo teste de Tukey essa diferença não se mostra significativa, sendo considerada igual para 0, 4 e 12% (T05, T06 e T08), e, mesmo 8% (T07), obtendo uma média um pouco diferente, ela foi semelhante a 12% (T08).

Todavia, as peças dispostas a aspersão alcançaram uma resistência considerada inferior com a adição do RSRO. Neste caso, a imersão se mostrou mais eficiente, com o uso do RSRO e com adição de aditivos.

### Considerações Finais

Em conclusão ao estudo realizado, foi possível constatar que numa visão geral o uso do RSRO não houve impacto considerável para a absorção de água, sendo assim, todos os traços elaborados estão dentro dos critérios exigidos pela norma.

Em relação ao ensaio de compressão axial o uso do aditivo plastificante juntamente a redução de 10% da água, não teve um comportamento positivo, pois houve diminuição da resistência referente às PIC sem aditivos, todavia apenas o traço T16 não se manteve dentro da NBR 9781. Já, conforme ao tipo de cura, as peças imersas tiveram um desempenho superior àquelas dispostas à aspersão, porém não houve diferença muito significativa entre elas, se mantendo na resistência esperada, exceto pelo traço T16.

A utilização do RSRO nas PIC representou um aumento linear na resistência, somente para as médias 8 e 12% de adição do resíduo, para cura em aspersão sem aditivos, comparado ao traço base (0%). O que é bastante vantajoso, visto que este tipo de cura é o mais utilizado nas empresas do ramo.

Analisando o conjunto percebeu-se que os traços foram todos dentro da norma, atendendo aos 35 MPa, exceto o traço T16 que teve uma resistência média de 33,15 MPa mostrando que para o uso de aditivo, dispostas à aspersão, a adição do RSRO limita-se a um valor menor que 12%. Também vale ressaltar, que os traços com maiores resistências foram: T01 (0% de RSRO, sem aditivo, imersão); T11(8% de RSRO, sem aditivo, aspersão) e T12 (12% de RSRO, sem aditivo, aspersão).

Desse modo, pode se afirmar que é viável a inserção do RSRO como substituição parcial do aglomerante convencional em até 12%, sem o uso de aditivo, podendo ser curado tanto por imersão ou aspersão, e até 8% com o uso de aditivos plastificantes. Isso mostra uma grande vantagem econômica e ambiental, pois seu uso como material suplementar apresenta-se como boa alternativa para minimizar impactos: prolongar a vida útil dos aterros sanitários e/ou locais onde se dispõem o resíduo; garantir a destinação mais adequada para o resíduo;

diminuir o consumo de matéria-prima na produção de PIC, em especial o cimento; diminuir os gastos na fabricação de PIC devido à redução do cimento.

## Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781 – **Peças de concreto para pavimentação - Especificação**. Rio de Janeiro, 2013. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

\_\_\_\_\_. NBR 11578 - **Cimento Portland Composto**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. NBR 15012 - **Rochas para revestimentos de edificações - Terminologias**, 2013.

ALENCAR, Carlos Rubens Araujo. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais**. Cachoeiro de Itapemirim: IEL, 2013.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Sumário Mineral. Coords. LIMA, Thiers Muniz; NEVES, Carlos Augusto Ramos. Brasília: DNPM, 2017.

CALMON, João Luiz *et al.* **Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA AS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997. p. 64-75

FALCÃO, P. I.; STELLIN JÚNIOR, A. **Utilização de finos de serrarias do Espírito Santo nas indústrias de construção civil**. In: Jornadas IBERMAC Materiais de construção. Anais. Madri/Espanha, 2001

GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. 2000, 135f. Dissertação (Pós-graduação 25 em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística: Teoria e Aplicações**. Tradução de Teresa Cristina Padilha de Souza. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

MOURA, Washington A.; GONÇALVES, Jardel P., LEITE, Rôneison da Silva. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas para revestimento e confecção de lajotas para piso**. Revista Sitientibus, Feira de Santana, v.26, p.49 - 62, 2002.

NANNI, L.F.; RIBEIRO, J.L., (1991). **Planejamento e avaliação de experimentos**. Caderno de Engenharia 17/87, 2a ed., CPGEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

PEDROSO, F. L.: **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**. Revista Concreto & Construções. Ano XXXVII, nº 53. São Paulo, 2009

PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. **Silício**. Revista Química nova na escola. Novembro, nº14, São Paulo, 2001.

ROCHA, Cezar Henrique Barra; SOUSA, José Gonçalves. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim – ES**. 2010, 17f. Artigo científico - ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 2010.