**PÓ DE MÁRMORE BEGE BAHIA PARA ARGAMASSA AUTOADENÁVEL**

**Giulia Costa Ghirardi1**; Luara Batalha Vieira2 Edna dos Santos Almeida3 Larissa da Silva Paes Cardoso4 Bruna Bueno Mariani5

1 Engenheira civil, bolsista de PD&I; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador- BA; costa\_giulia@hotmail.com

2 Professora Assistente; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; luara.batalha@fieb.org.br

3 Professora Adjunta; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador – BA; ednasa@fieb.org.br

4 Professora Adjunta; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador- BA; Larissa.paes@fieb.org.br

5 Professora Assistente; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador- BA; bruna.mariani@fieb.org.br

**RESUMO**

As atividades industriais geram impactos ambientais e, por isso, tem-se buscado equilibrar as demandas do setor industrial com o desenvolvimento sustentável. Para tanto, a utilização de materiais alternativos pode contribuir, não apenas à diminuição da extração de recursos naturais, como também para redução de deposição inadequada de resíduo sólido. Este projeto buscou avaliar a viabilidade técnica na incorporação de resíduo de serragem de mármore Bege Bahia em argamassa autoadensável. Esta argamassa necessita de um alto teor de finos, por isso o uso deste resíduo pode ser uma alternativa promissora em relação às adições naturais, tradicionalmente utilizados. Assim, este projeto, que abrangeu duas fases (Informacional e Conceitual), desenvolveu formulações destas argamassas substituindo parte da areia natural por resíduo. Espera-se obter com os resultados deste projeto uma solução que mitigue os impactos ambientais causados pela exploração de rochas ornamentais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argamassa; Mármore Bege Bahia; Resíduo; Argamassa Autoadensável

**1. INTRODUÇÃO**

A produção brasileira de rochas ornamentais, segundo Chiodi Filho,1 foi estimada em 2017, em 9,2 milhões de toneladas. Junto a esse elevado número de produção, cresce, aceleradamente também, a quantidade de resíduo gerado por essa indústria. Segundo Sant´ana e Gadioli,2 estima-se que no Brasil foram geradas mais de 22 milhões de toneladas de resíduo de rochas ornamentais em 2012.

Relativo à Bahia, este estado é o terceiro maior produtor de rochas ornamentais no Brasil e, de acordo com Sant´ana e Gadioli,2 em 2017, a produção estadual foi de 850.000 toneladas.

Alguns estudos na área de reutilização de resíduos industriais vêm sendo desenvolvidos, em busca de soluções que mitiguem os impactos relacionados à estas atividades, seja pela alta extração de matéria-prima natural, ou pela alta geração de resíduo sólido.

No contexto da indústria da Construção Civil e no que diz respeito ao uso de resíduo de serragem de mármore e granito em argamassas, já existem alguns estudos na literatura, tais como, o de Apolinário,3 Afonso,4 Sales, Sá e Santos,5  Barros,6 Khyaliya, Kabeer e Vyas,7 Mendes,8 Kabeer e Vyas.9

Desta forma, o objetivo deste trabalho é reutilizar o resíduo resultante do processo de beneficiamento do mármore Bege Bahia, através do desenvolvimento de uma nova formulação de argamassa autoadensável para contrapiso autonivelante, a partir da avaliação de diferentes traços, obtidos através da substituição da areia natural por pó de pedra (resíduo) em quatro diferentes teores.

**2. METODOLOGIA**

 Este trabalho desenvolveu formulações de argamassas autoadensáveis para contrapisos autonivelantes de edificações, utilizando o resíduo oriundo da serragem das placas de mármore Bege Bahia (RSMBB).

 Nesta primeira etapa (informacional) foi realizado estudo do estado da arte sobre o tema, a fim de identificar as lacunas e oportunidades na literatura em relação ao reuso deste tipo de resíduo (ou similar) em produtos de matriz cimentícia. Além disso, foi feita uma pesquisa de prospecção, a fim de buscar patentes já publicadas sobre o tema.

Após a etapa de revisão da literatura o resíduo foi coletado e passou por processo de beneficiamento. Esse processo foi baseado em estudos de autores como, Afonso4 e Sadek, El-attar e Ali,10 e constituiu-se das etapas de moagem no moinho de bolas, durante um período de uma hora; peneiramento na peneira de malha 4,8 mm; e por fim, o material foi seco em estufa a uma temperatura de 110 +/- 5ºC, por 24 horas.

Nesta etapa também ocorreu a caracterização do resíduo (RSMBB) no Laboratório de Materiais de Construção (LEMC) – Senai Cimatec, e os ensaios realizados estão descritos da Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaios de caracterização do RSMBB.

|  |
| --- |
| **Ensaios de caracterização do RSMBB** |
| Análise Granulométrica – ABNT NBR 7181:2016. |
| Determinação de impurezas orgânicas – ABNT NBR NM 49:2001. |
| Determinação da massa específica – Grãos de solos que passam na peneira de abertura 4,8 mm – ABNT NBR 6458:2016. |
| Determinação da massa unitária – ABNT NBR NM 45:2006. |
| Análise química por Fluorescência de Raios X (FRX). |
| Análise mineralógica por Difração de Raios X (DRX). |
| Análise Morfológica e elementar (MEV e EDS). |

Fonte: Autoras (2019)

A segunda etapa (conceitual) consistiu na fase experimental do projeto. O agregado miúdo foi caracterizado conforme Tabela 2. Em seguida foram preparadas misturas de argamassas autoadensáveis, conforme a Norma ABNT NBR – 16541:2016 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para realização de ensaios11, com cimento Portland CP II F- 40, da marca Poty, comercialmente disponível na cidade de Salvador, areia fina natural, oriunda de jazida de Camaçari, Região Metropolitana de Salvador, Resíduo de Serragem de Mármore Bege Bahia (RSMBB), aditivos superplastificante de alto desempenho – MC PowerFlow 1180 e modificador de viscosidade – Centrament Stabi 520 e água proveniente da rede pública de abastecimento da Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A - Embasa.

Tabela 2 – Ensaios de caracterização do agregado miúdo.

|  |
| --- |
| **Ensaios de caracterização da areia fina** |
| Análise granulométrica – ABNT NBR NM 248:2001. |
| Determinação da absorção de água – ABNT NBR NM 30:2001. |
| Determinação de impurezas orgânicas – ABNT NBR NM 49:2001. |
| Determinação da massa específica – ABNT NBR NM 52:2009. |
| Determinação da massa unitária – ABNT NBR NM 45:2006. |

Fonte: Autoras (2019)

Essas argamassas foram testadas nos estados fresco e endurecido, e os ensaios realizados estão descritos na Tabela 3. Além disso foi feito um projeto executivo da execução do protótipo de contrapiso autonivelante em BIM (*Building Information Modeling*) 3D/ 4D/ 5D. Ao final desta etapa foi desenvolvido um relatório conceitual abrangendo os resultados dos ensaios realizados e o projeto executivo em BIM.

Tabela 3 – Ensaios realizados nos traços de argamassas autoadensáveis.

|  |  |
| --- | --- |
| **Ensaios realizados no estado fresco** | **Ensaios realizados no estado endurecido** |
| Determinação do Índice de Consistência – ABNT NBR 13276:2016. | Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão – ABNT NBR 13279:2005. |
| Determinação da Retenção de Fluxo – ASTM C 1708:2012. | Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade – ABNT NBR 15259:2005. |
| Determinação da Retenção de Água – ABNT NBR 13277:2005 | Determinação do Módulo de Elasticidade Dinâmico – ABNT NBR 15630:2018 |
| Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado – ABNT NBR 13278:2005 | Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – ABNT NBR 9778:2005 |
| Determinação da viscosidade pelo método do funil V – ABNT NBR 15823-5:2017 | Determinação da variação dimensional – ABNT NBR 15261:2005 |

Fonte: Autoras (2019)

**3. RESULTADOS PARCIAIS**

 Os resultados obtidos até então neste projeto PD&I estão descritos a seguir.

3.1REVISÃO DA LITERATURA (ETAPA INFORMACIONAL)

 A partir da revisão literária feita e do estudo de prospecção constatou-se que, dentre os trabalhos encontrados na literatura que abordam a temática acerca do uso de resíduo de mármore e granito em argamassas, muitos deles apresentam pesquisas relacionadas à substituição parcial de cimento por resíduo de mármore, como por exemplo o de Mendes,8 Apolinário,3 Afonso.4 Além disso, o tipo de argamassa analisada nesses estudos é a argamassa tradicional, usada em revestimentos de paredes e tetos, assentamento de blocos ou chapisco.

Dentre os trabalhos encontrados na literatura sobre incorporação de resíduo do corte de mármore e granito em argamassas de revestimento, as mesmas, no estado fresco, apresentaram maior coesão e consistência, em relação às argamassas de referência.3,5

Dois estudos mostraram que para atingir níveis de trabalhabilidade satisfatórios, foi necessário menor incremento de água, para teores em torno de 20% de incorporação de resíduo do corte de mármore nas argamassas de revestimento.9,12

Em relação às características analisadas no estado endurecido, as argamassas com incorporação de resíduo de mármore e granito, no geral, absorvem mais água, devido ao aumento do teor de finos à mistura.9,12,13 Em relação às resistências mecânicas, os resultados não apresentaram uma tendência. Em alguns estudos, como os de Apolinário,3 Sales, Sá e Santos,5 e Buyuksagis, Uygunoglu e Tatar,13 os melhores resultados para resistência à compressão foram apresentados pelos traços com teores mais baixos de incorporação. Já em outros trabalhos, como os de Khyaliya, Kabeer, Vyas,9 Kabeer e Vyas,12 teores com até 60% de incorporação de resíduo de mármore, apresentaram resultados de resistência equivalente aos apresentados pelas argamassas tradicionais. Essas variações nos valores de resistência mecânica podem estar ligadas ao aumento de absorção de água, que abaixa o valor de a/c (relação água/cimento).

Não foram encontrados trabalhos na literatura que avaliassem a incorporação de resíduo da serragem de mármore do tipo Bege Bahia como adição em argamassa autoadensável.

Nesta primeira etapa (Informacional) também foi realizada a caracterização do resíduo foi realizada e ficou constatado que o RSMBB é um material pulverulento, composto predominantemente de óxido de cálcio (CaO) e extremamente fino (diâmetro máximo menor que 0,002 mm).

3.2 ETAPA EXPERIMENTAL (CONCEITUAL)

 Nesta etapa foram desenvolvidas formulações de argamassas autoadensáveis com cimento CP II – F, areia fina, aditivos superplastificante e modificador de viscosidade, e RSMBB. As formulações desenvolvidas foram baseadas no trabalho de Martins,14 que usou materiais semelhantes aos utilizados neste trabalho para dosagem de argamassa autonivelante. Após os testes, a formulação mais promissora para atender às características de autoadensabilidade foi 1:1,5:0,45 (cimento: areia: água) com 0,9% de aditivo modificador de viscosidade e 0,5% de aditivo superplastificante, ambos teores em relação à massa do cimento. A areia foi substituída pelo RSMBB nos seguintes teores: 0%, 7,5%, 10%, 12,5% e 15%.

 Após as formulações, as argamassas foram submetidas a ensaios nos estados fresco e endurecido. Os resultados dos ensaios no estado fresco mostraram que o resíduo aumenta a coesão da mistura de argamassa, diminuindo assim, o diâmetro médio de espalhamento, no que diz respeito à consistência. Isso pode estar ligado à elevada finura do resíduo. Além disso, notou-se que o resíduo pode causar um empacotamento das partículas componentes da mistura de argamassa, o que pode influenciar o teor de incorporação de ar da mistura.

 No estado endurecido, todos os traços de argamassa com resíduo apresentaram valores próximos aos valores apresentados pelo traço de referência, porém um pouco abaixo. Ainda no estado endurecido, notou-se que a densidade de massa aumentou com o acréscimo de resíduo à mistura. De acordo com Apolinário,3 isto pode estar relacionado com o fato de o resíduo promover um maior empacotamento das partículas dos componentes das argamassas.

**4. CONSIDERAÇÕES PARCIAIS**

A partir dos resultados parciais apresentados pode-se concluir que:

* O RSMBB é um material de elevada finura, composto majoritariamente de óxido de cálcio (CaO);
* As argamassas com resíduo, no estado fresco, apresentaram uma tendência de diminuição do diâmetro máximo de espalhamento com o aumento do incremento do RSMBB.
* Devido à elevada finura do RSMBB há um empacotamento das partículas dos componentes das argamassas;
* Os valores resultantes dos ensaios realizados nas argamassas autoadensáveis com RSMBB foram, na sua maioria, equivalentes, ou superiores, aos valores encontrados para argamassa autoadensável sem resíduo.

**Agradecimentos**

À MJ BEGE POLIDO;

 À EMBRAPII pela bolsa concedida.

**5. REFERÊNCIAS**

1CHIODI FILHO, Cid. **Tipologia das Rochas Ornamentais**. 2018. ABIROCHAS. Disponível em: <http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/SobreRochas/Tipologia\_das\_Rochas\_Ornamentais.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.

2SANT’ANA, Maria Angélica Kramer; GADIOLI, Mônica Castoldi Borlini. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas**. 2018. CETEM. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2225/1/STA-104.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2019.

3APOLINÁRIO, Elenice Carmo de Abreu. **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento Portland**. 2014. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

4AFONSO, Wllisses Menezes. **Caracterização de resíduo de corte de rochas na produção de argamassas**. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2005.

5SALES, Angela Teresa Costa; SÁ, Bárbara Ramos Carvalho de; SANTOS, Débora de Gois. **Argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por pó de mármore**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, v. 15, n. 1, p.2472-2481, 11 nov. 2014. Marketing Aumentado. <http://dx.doi.org/10.17012/entac2014.235>.

6BARROS, Pedro Gustavo dos Santos. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto adensável obtido com resíduo de corte de mármore de granito**. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

7KHYALIYA, Rajendra Kumar; KABEER, K.i. Syed Ahmed; VYAS, Ashok Kumar. Evaluation of strength and durability of lean mortar mixes containing marble waste. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 147, p.598-607, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.199>.

8MENDES, Gabriela Azambuja. **Dosagem de argamassa autonivelante com adição de resíduos do corte de mármores e graníticos (RCMG): análise das propriedades físicas e mecânicas**. 2019. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2019.

9KABEER, K.i. Syed Ahmed; VYAS, Ashok Kumar. Utilization of marble powder as fine aggregate in mortar mixes**. Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 165, p.321-332, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.061>.

10SADEK, Dina.; EL-ATTAR, Mohamed.; ALI, Haitham. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 121, p.19-32, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.044>.

11ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016d. 2 p.

12KABEER, K.i. Syed Ahmed; VYAS, Ashok Kumar. Utilization of marble powder as fine aggregate in mortar mixes. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 165, p.321-332, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.061>.

13BUYUKSAGIS, Ismail Sedat; UYGUNOGLU, Tayfun; TATAR, Ertunc. Investigation on the usage of waste marble powder in cement-based adhesive mortar. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 154, p.734-742, nov. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.014.

14MARTINS, Eliziane Jubanski. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante**.2009. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.