

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”**INCORPORAÇÃO DE PÓ DE MÁRMORE NA PREPARAÇÃO DE ARGAMASSAS AUTOADENSÁVEIS: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E SEUS BENEFÍCIOS**Tiago Gutiérrez García-Urrutia¹ (IC), Valquíria Claret dos Santos (PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá.**Palavras-chave:** Argamassa autoadensável; Módulo de elasticidade; Pó de mármore; Resistência à compressão; Sustentabilidade.**Introdução**

O presente trabalho avaliou a utilização do pó de mármore, resíduo do corte e polimento de rochas ornamentais, como substituto parcial da areia fina em argamassas. Além de mitigar impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado desse material, buscou-se analisar sua viabilidade técnica e os efeitos sobre propriedades mecânicas e de desempenho.

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos com diferentes teores de substituição da massa da areia pelo pó de mármore (0%, 20%, 40% e 60%) e submetidos a duas condições de cura: ambiente seco e submerso. Os ensaios realizados incluíram fluidez (determinação do escoamento), viscosidade (funil V), resistência à compressão e módulo de elasticidade. Os resultados foram comparados com dados da literatura, a fim de identificar semelhanças e diferenças no comportamento observado.

Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida a partir da produção de corpos de prova de argamassa, em que a areia fina foi parcialmente substituída por pó de mármore nos teores de 0%, 20%, 40% e 60%. Além disso, também se usou o Cimento Portland II-F-32, sílica da marca Palmyra do Brasil Ind. Com. de Silício Met. e Rec. Naturais Ltda., água e do superplastificante ADI-SUPER H25. Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos a duas condições de cura: ambiente seco e submerso em água por 28 dias. Cabe ressaltar que, para cada traço, foram feitos 3 corpos de prova secos e 3 corpos de prova submersos.

No estado fresco, as propriedades foram avaliadas por meio da determinação do escoamento e do Funil V, seguindo Gomes (2009) e a NBR 15823/2017.

A determinação do escoamento realizado conforme Gomes (2009) significa determinar a fluidez e a capacidade de auto adensamento, medindo o espalhamento da argamassa pelo seu próprio peso. Para isso, um cone de Abrams sobre uma base quadrada reta e lisa foi preenchido com a argamassa autoadensável, em seguida, retirou-se o cone e, com o auxílio de um cronômetro e uma régua, mediu-se o diâmetro que a argamassa se espalhou em aproximadamente 7 segundos.

Já o Funil V foi conduzido conforme Gomes (2009) e NBR 15823-5 (ABNT, 2017), para medir o tempo de escoamento e avaliar a viscosidade da mistura. Para isso, preencheu-se completamente um Funil V com a argamassa e, com o auxílio de um cronômetro, abriu-se a porta de saída após aproximadamente 15 segundos, medindo o tempo que foi necessário para esvaziar o funil.

No estado endurecido, após 28 dias de cura, realizou-se o ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, segundo a NBR 8522-1 (ABNT, 2021), utilizando o software Sonelastic a partir da excitação por impacto e medição das frequências de ressonância. Também foi conduzido o ensaio de resistência à compressão axial, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), por meio de máquina universal de ensaios, com cálculo da resistência a partir da força máxima de ruptura em relação à área da seção transversal do corpo de prova.

Para este artigo científico, foi estabelecido um traço base T0 como grupo de controle, mais os traços T1, T2 e T3, com uma substituição de 20%, 40% e 60%, respectivamente, com o intuito de descobrir qual dos

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

traços dará o resultado mais benéficos.

Para a determinação do traço base, teve-se como referência o traço utilizado em Braga (2022) de 1:2 para a relação cimento e areia, com uma relação água/cimento de 0,46 e 1% de superplastificante na composição do corpo de prova, adaptando a proporção de 1:1,5 para a relação cimento e areia.

Tabela 1 - Traço base em massa de argamassa autoadensável (AAA)

Traço	Cimento (kg)	Silica ativa (kg)	Substituição de areia por pó de mármore (%)	Substituição de areia por pó de mármore (kg)	Areia (kg)	a/c	SPA (%)	Consumo de cimento (kg/m ³)
T0	1	0,1	0	0	2	0,46	1,00	667,28
T20	1	0,1	20	0,8	1,6	0,46	1,00	667,28
T40	1	0,1	40	1,2	1,2	0,46	1,00	667,28
T60	1	0,1	60	1,6	0,8	0,46	1,00	667,28

Resultados e discussão

Primeiramente, ao realizar o ensaio para determinar a fluidez da argamassa, seguindo Gomes (2009), pode-se afirmar que a argamassa está fluída, como está mostrado na tabela 2.

Tabela 2 - Ensaio de espalhamento para determinação do parâmetro de fluidez Gm

Ensaio de espalhamento para determinação do parâmetro de fluidez Gm				
Traço	d1 (cm)	d2 (cm)	Gm	Valor sugerido de Gm
GC	39,5	41,5	3,1	Entre 3 e 8
20%	53,2	51,9	5,9	
40%	56,2	53,5	6,52	
60%	55,7	56,2	6,83	

Fonte: Autor

Para o ensaio do Funil V, segundo Gomes (2009), para a argamassa ser considerada viscosa, toda a argamassa deve sair do funil entre 6 e 15 segundos e, como evidenciado na tabela 3, todos os traços passaram por

esse parâmetro, provando que a argamassa no estado fresco está atendendo as condições para ser considerada que possui um bom traço.

Tabela 3 - Ensaio de Funil V para determinação do parâmetro de Viscosidade Rm

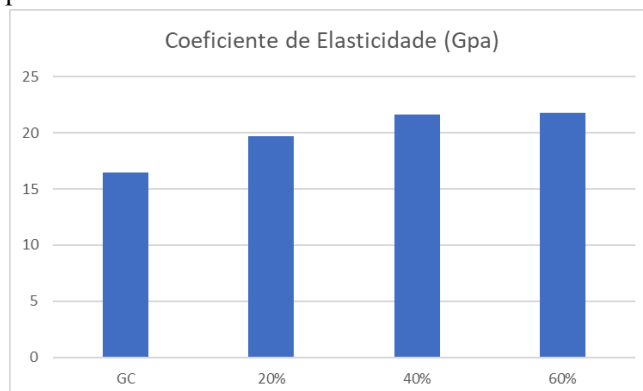
Ensaio de Funil V para determinação do tempo de viscosidade Tv		
Traço	Tv (s)	Tempo padronizado (s) por Gomes
GC	6,7	6 a 15
20%	7,5	
40%	8,9	
60%	9,4	

Fonte: Autor

Após realizados esses testes, pode-se determinar tanto o coeficiente de elasticidade quanto a resistência à compressão.

As figuras 1 e 2 contêm os coeficientes de elasticidade dos corpos de prova secos e submersos após 28 dias, em que percebeu-se que os ensaios submersos apresentaram maiores módulos de elasticidade do que os secos de mesma proporção de massa de pó de mármore, com o maior valor obtido na mistura com 60% de pó de mármore submerso. Este resultado indica que a cura úmida promove a formação de uma matriz mais rígida, resultando em maiores valores de módulo de elasticidade.

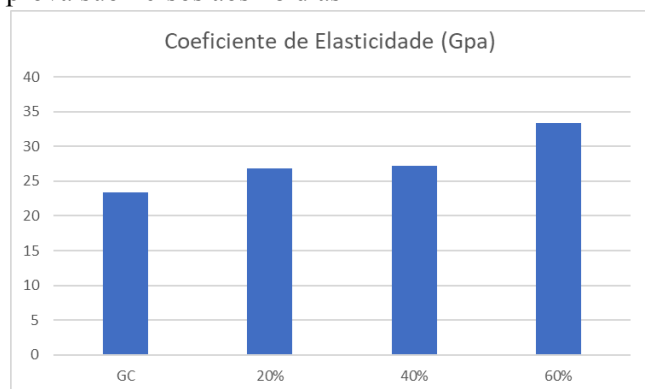
Figura 1 – Coeficiente de elasticidade dos corpos de prova secos aos 28 dias



Fonte: Autor

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

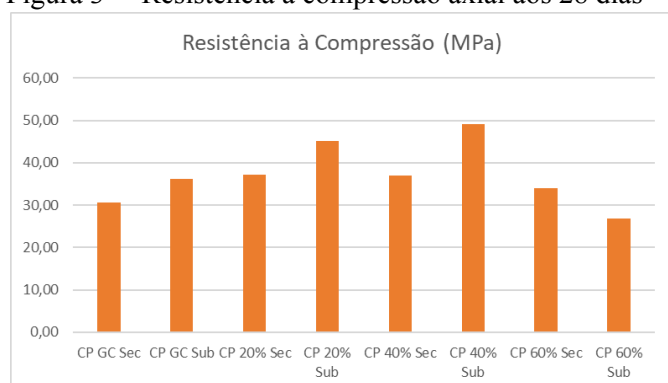
Figura 2 – Coeficiente de elasticidade dos corpos de prova submersos aos 28 dias



Fonte: Autor

A figura 3 registrou as resistências à compressão das amostras após 28 dias, em que as submersas apresentaram maior resistência à compressão do que suas as secas de mesmo traço, com exceção do traço de 60% de pó de mármore. A maior resistência encontrada foi a do corpo de prova submerso com 40% de pó de mármore. Além disso, o pó de mármore, quando combinado com o uso de aditivos superplastificantes, contribui para a redução das necessidades de água e aumenta as melhorias de resistência. Embora o presente estudo mostre que a substituição da massa da areia por pó de mármore podem ser viáveis e benéficas, o traço T60 expõe que a taxa de substituição possui um limite em que ela aumenta a resistência de um corpo de prova.

Figura 3 – Resistência à compressão axial aos 28 dias



Fonte: Autor

Conclusões

O estudo demonstrou que a substituição parcial da massa da areia fina por pó de mármore em argamassas autoadensáveis apresenta potencial técnico e ambientalmente sustentável. Os ensaios no estado fresco indicaram que todas as misturas atenderam aos critérios de fluidez e viscosidade estabelecidos, garantindo adequada capacidade de escoamento e trabalhabilidade.

No estado endurecido, verificou-se que a condição de cura exerce influência significativa no desempenho das argamassas. Os corpos de prova submetidos à cura submersa apresentaram, de forma geral, valores superiores de módulo de elasticidade e resistência à compressão, em comparação com os curados em ambiente seco. Esse resultado confirma a importância do controle adequado de cura para potencializar as propriedades mecânicas.

Em relação ao teor de substituição, observou-se que o uso de até 40% de pó de mármore contribuiu positivamente para o aumento da resistência à compressão, destacando-se como proporção tecnicamente viável. Já a substituição em 60% mostrou-se limitante, pois apesar de elevar o módulo de elasticidade, não manteve o ganho de resistência à compressão, evidenciando um ponto de saturação da adição do resíduo.

Portanto, a incorporação de pó de mármore surge como alternativa promissora para reduzir o consumo de areia natural e minimizar impactos ambientais, sem comprometer o desempenho da argamassa quando utilizado em proporções controladas. Como trabalhos futuros, recomenda-se investigar diferentes tipos de aditivos, condições de cura prolongada e a durabilidade das misturas, de modo a ampliar a compreensão do comportamento dessa argamassa em aplicações práticas.

Agradecimentos

Agradeço a Prof.^a Dr.^a Valquíria Claret dos Santos pela oportunidade e pelos ensinamentos ao decorrer do trabalho.

Aos membros da Wrecking Ball Otávio Mesquita Lagranha Gomes e Michel Henry e aos técnicos Fabiano Nazario Santos e Fagner[VC1] Luiz Campos Cardoso por me ajudarem para realizar e testar os corpos de prova.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

A Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela oportunidade.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

BRAGA, Sofia Martins. Ensaio de expansividade de amostras de argamassa autoadensável e resíduo de vidro. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2022.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G.; NAIK, T. R. Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete. *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 1, p. 113 – 117, 2010. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70349731924&doi=10.1016%2Fj.conbuildmat.2009.08.013&partnerID=40&md5=7829a12146cd6e4f817301c3a8d47a9a>>..

ERGÜN, A. Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 2, p. 806 – 812, 2011. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78649876368&doi=10.1016%2Fj.conbuildmat.2010.07.002&partnerID=40&md5=596dcbe20cae2ddff09c195e84e88897>>..

FAIZ, H.; ALAM, M.; NG, S.; et al. Carbon dioxide emission evaluation of biochar based vegetation concrete for ecological restoration projects. *Case Studies in Construction Materials*, v. 21, 2024. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85206641462&doi=10.1016%2Fj.cscm.2024.e03874&partnerID=40&md5=b28cec59d1acd6d8554e7248a0ab83cb>>..

GENCEL, O.; OZEL, C.; KOKSAL, F.; et al. Properties of concrete paving blocks made with waste marble. *Journal of Cleaner Production*, v. 21, n. 1, p. 62 – 70, 2012. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80455173830&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2011.08.023&partnerID=40&md5=39c64daf06856a65b236b90bb2cdc5ca>>..

GESOĞLU, M.; GÜNEYISI, E.; KOCABAĞ, M. E.; BAYRAM, V.; MERMERDAŞ, K. Fresh and hardened characteristics of self compacting concretes made with combined use of marble powder, limestone filler, and fly ash. *Construction and Building Materials*, v. 37, p. 160 – 170, 2012. Disponível em:

<<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84870199496&doi=10.1016%2Fj.conbuildmat.2012.07.092&partnerID=40&md5=ad4988f4a8466b4a7bad27a190ba0afe>>..

GHANI, A.; ALI, Z.; KHAN, F. A.; et al. Experimental study on the behavior of waste marble powder as partial replacement of sand in concrete. *SN Applied Sciences*, v. 2, n. 9, 2020. Springer Nature. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85100772974&doi=10.1007%2Fs42452-020-03349-y&partnerID=40&md5=df1658a96425eb35baab3092e39c0160>>..

ÖZKILIÇ, Y. O.; ZEYBEK, Ö.; BAHRAMI, A.; et al. Optimum usage of waste marble powder to reduce use of cement toward eco-friendly concrete. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 25, p. 4799 – 4819, 2023. Elsevier Editora Ltda. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85165233322&doi=10.1016%2Fj.jmrt.2023.06.126&partnerID=40&md5=f571d904536facb34fd026fa758781e9>>..

PAULO CÉSAR CORREIA GOMES, A. R. DE B. Métodos de dosagem de concreto autoadensável. 1. ed. São Paulo: EDITORA PINI LTDA, 2009.

SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M.; ALI, H. A. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, v. 121, p. 19 – 32, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84975698110&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2016.02.044&partnerID=40&md5=9dec0140c4e694fe73b2182c15072be>>..

UYSAL, M.; SUMER, M. Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 11, p. 4112 – 4120, 2011. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79959858084&doi=10.1016%2Fj.conbuildmat.2011.04.032&partnerID=40&md5=4a2ffff23f7c9616fcf8f5c5ab6d622b>>..

UYSAL, M.; YILMAZ, K. Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Composites*, v. 33, n. 7, p. 771 – 776, 2011. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79958223390&doi=10.1016%2Fj.cemconcomp.2011.04.005&partnerID=40&md5=be5cf4e069070712eddfee05b7fe18cc>>..