ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO (RCMG) COMO ADIÇÃO MINERAL INERTE PARA A PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS AUTONIVELANTES

Tema: Tecnologia dos materiais
Grupo: 2

AUGUSTO FELIPPE CHIELLA[1], VINÍCIUS FELIPPE CHIELLA[2], NATHÁLIA CORTES TOSI[3], JULIANA ALVES DE LIMA SENISSE NIEMCZEWSK[4]

[1]Engenheiro Civil, Universidade e Caxias do Sul/UCS, afcheilla@gmail.com
[2]Engenheiro Civil, Universidade e Caxias do Sul/UCS, vfcheilla@gmail.com
[3]Engenheira Civil, Universidade e Caxias do Sul/UCS, nathaliatosi07@gmail.com
[4]Profª. Draª, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade de Caxias do Sul/UCS, julianasenisse@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica do emprego de Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG) como adição mineral em argamassas autonivelantes. Para tal, produziu-se argamassas de traços 1:4 e 1:5 (cimento:areia, em massa), empregando-se o resíduo em teores de 0,5,10,15 e 20%, sobre a massa de cimento. Estas foram ensaiadas quanto a sua consistência, viscosidade e resistência à tração na flexão e à compressão. Os resultados obtidos indicam a potencialidade da utilização deste resíduo, visto que ele proporcionou uma melhoria na resistência mecânica, acréscimo na viscosidade e (para o traço 1:5) um aumento na consistência.

Palavras-chave: argamassa autonivelante, Resíduo de Corte e Granito (RCMG), resíduo reciclado, adição mineral, contrapiso.

ANALYSIS OF TECHNICAL FEASIBILITY OF THE USE OF RESIDUE OF COURT OF MARBLE AND GRANITE (RCMG) AS INERT MINERAL ADDITION FOR THE PRODUCTION OF SELF-LEVELING MORTAR

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the technical feasibility of the use of Residue of Court of Marble and Granite (RCMG) as a mineral addition to self-leveling mortar production. To do this, mortars with 1:4 and 1:5 traces (cement:sand, in mass) were produced, using the residue in contents of 0,5,10,15 and 20%, on the mass of cement. These were tested about your consistency, viscosity and flexural and compressive strength. The results indicate the potentiality of the use of this residue, as it provided an improvement in mechanical strength, increase in viscosity and (for the 1:5 trace) an increase in consistency.

Key-words: self-leveling mortar, Residue of Court of Marble and Granite (RCMG), recycled waste material, mineral addition, subfloor.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil apresenta um grande potencial ao reaproveitamento de materiais reciclados provenientes de outras atividades industriais. Averígua-se que – quando bem empregado – tais materiais alternativos proporcionam a redução de custo das misturas e do impacto ambiental. Neste contexto enquadra-se o Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG), um rejeito oriundo de marmorarias, produzido a partir dos processos de corte e polimento das pedras ornamentais. Quando gerado, tal resíduo é despejado em lagoas de sedimentação por onde fica armazenado por tempo indeterminado, acarretando custos para a empresa geradora. Conforme uma estimativa apresentada por Matta *et al*. (2013)[(1)], em 2011 gerou-se, no Brasil, em torno de 2 milhões de toneladas de resíduo de corte de pedras ornamentais, assim, destaca-se a importância do desenvolvimento de estudos propondo uma nova utilização a este tipo de rejeito industrial.

Além do justaposto acima, há – no mercado da construção civil – uma exigência por obras mais rápidas. Neste contexto, desenvolveu-se, na década de 80, na Europa, um sistema de contrapisos autonivelantes (CICHINELLI, 2012)[(2)], que permite a execução da camada de regularização de pisos de forma mais rápida e fácil, permitindo a liberação ao tráfego em até 3 horas após a aplicação (NAKAKURA; BUCHER, 1997[(3)]).

O contrapiso autonivelante – desenvolvido com o emprego de argamassas autonivelantes – ao ser lançado, nivela-se pela ação conjunta da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo, não sendo necessária a execução de procedimentos complexos para adensamento ou acabamento superficial. Deste modo a argamassa empregada deve apresentar elevada fluidez e uma viscosidade adequada para que atenda aos três requisitos de trabalhabilidade de sistemas autonivelantes: capacidade de enchimento, capacidade de passagem de obstáculos e a resistência à segregação (EFNARC, 2002[(4)]). Para a obtenção destas características reológicas, faz-se necessário o uso de aditivos químicos. Ainda pode-se empregar algumas adições minerais, que – por serem materiais finos – podem contribuir para a melhoria da viscosidade da mistura, representando uma alternativa de redução dos custos de produção.

Mediante ao exposto, este trabalho propôs avaliar a viabilidade técnica do emprego de RCMG como adição mineral para produção de argamassas autonivelantes. Para isto, foi realizada uma série de ensaios que permitem avaliar a influência deste resíduo nas misturas.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o programa experimental, estabeleceu-se como parâmetros controláveis o teor de adição de RCMG empregado na mistura (0,5,10,15 e 20% sobre a massa de aglomerante) e o traço das argamassas produzidas – 1:4 e 1:5, cimento:agregado, em massa – e verificou-se a influência destes fatores nas propriedades das argamassas produzidas. O comportamento das argamassas foi avaliado mediante os ensaios de consistência pelo método de mini *slump test*, viscosidade (tempo de fluxo) pelo ensaio no mini-funil V (ambos apresentados pela EFNARC, 2002[(4)]) e resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT NBR 13279:2005[(5)]).

3. MATERIAIS UTILIZADOS

As argamassas foram produzidas com Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos (massa específica=2,96 g/cm³; módulo de finura=0,8%), fixando-se uma relação a/c de 0,95. O agregado miúdo utilizado corresponde a uma composição de 50% de areia fina natural (massa específica=2,63 g/cm³; massa unitária=1,42 g/cm³; módulo de finura=0,81) e 50% de areia industrial (massa específica=2,54 g/cm³; massa unitária=1,20 g/cm³; módulo de finura=3,39). Para conferir a fluidez e viscosidade requeridas às argamassas autonivelantes, foram utilizados dois aditivos químicos, um deles desenvolvidos especificamente para autonivelantes – aqui chamado de AN – a base de resinas sintéticas e policarboxilato e um aditivo superplastificante (SP), de composição básica de policarboloxilatos.

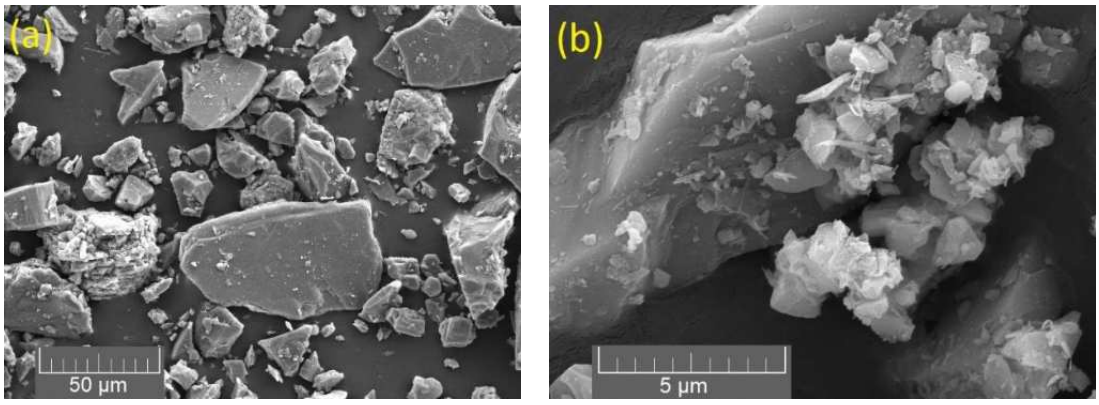
Quanto a adição mineral empregada, utilizou-se o RCMG obtido da atividade de corte de placas de mármore e granito, de uma marmoraria localizada em Bento Gonçalves/RS. Após a coleta, o resíduo foi seco em estufa e peneirado em uma malha de 0,3mm. A granulometria do resíduo foi avaliada por peneiramento (Tabela 1) e através da análise das imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (Figura 1).

Tabela 1 - Granulometria do RCMG

Peneiras (µm)	150	75	38	25	<25	Diâmetro Máximo (µm)
Percentual médio retido	2,05%	4,13%	33,27%	58,98%	1,58%	150
Percentual médio retido acumulado	2,05%	6,18%	39,44%	98,42%	100,00%	

Fonte: Autores (2019).

Figura 1 - Imagem produzida por MEV. (a) ampliação de 1.000 vezes. (b) ampliação de 15.000 vezes.



Fonte: Autores (2019).

Conforme pode-se constatar nas imagens, as partículas do RCMG apresentam geometrias irregulares, com arestas vivas, e grande variedade de dimensões, observando-se desde fragmentos inferiores a 5µm até frações com dimensão de 150µm. Ainda, a capacidade de reatividade do RCMG foi avaliada no ensaio de Índice de Atividade Pozolânica (IAP) (ABNT NBR 5752:2014[6]), onde verificou-se que a amostra não apresenta potencial pozolânico, visto que apresentou um IAP de 88%.

Para a mistura dos materiais, primeiramente adicionou-se na argamassadeira a água (a/c=0,95) conjuntamente com o cimento e o RCMG, misturando-os por 1 minuto em velocidade média. Após, durante 1 minuto em velocidade alta, acrescentou-se o agregado miúdo aos poucos, sem parar o processo de mistura. Posteriormente, adicionou-se os aditivos químicos e misturou-se a argamassa por mais 10 minutos. Quanto aos aditivos químicos, foi empregada uma quantidade suficiente destes para que as argamassas de referência – sem RCMG – obtivessem um diâmetro de espalhamento no ensaio de mini *slump test* entre 24 e 26cm (conforme a recomendação da EFNARC (2002)[4]), sendo estes mantidos para todas as argamassas de mesmo traço para eliminar qualquer influência que os aditivos pudessem exercer nas argamassas. Para o traço 1:4, fixou-se um teor de aditivo AN de 1,0% e de SP de 0,7% e para o traço 1:5, utilizou-se, respectivamente, 1,0% e 1,5%.

4. MÉTODOS DE ENSAIO

4.1. Consistência e tempo de fluxo (viscosidade plástica)

A determinação da consistência das argamassas produzidas foi realizada mediante a medição do diâmetro de espalhamento destas no ensaio de mini *slump* e da viscosidade plástica pelo ensaio do mini-funil V, ambos apresentados pela norma europeia EFNARC (2002)[4]. O ensaio de consistência consiste no preenchimento de um molde tronco cônico com a argamassa, liberação desta e verificação do diâmetro de espalhamento. A norma indica como valores de referência um espalhamento entre 24 e 26cm. Já o ensaio de viscosidade consiste no enchimento de um funil com a argamassa, liberação desta e medição do tempo de queda (tempo de fluxo). Tal ensaio fornece parâmetros para avaliar a viscosidade da argamassa, pois, segundo a EFNARC (2002)[4], tempos de queda inferiores a 8s indicam uma baixa viscosidade.

4.2. Resistência à tração na flexão e à compressão

A caracterização mecânica das argamassas foi realizada através da metodologia apresentada na ABNT NBR 13279:2005[5], pelo ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão, nas idades de 7 e 28 dias, em uma prensa hidráulica modelo EMIC PC200i. Para tal, foram produzidos 6 corpos de prova prismáticos (4x4x16cm) para cada tipo de argamassa. Em função das características da argamassa autonivelante, o processo de moldagem descrito pela norma foi adaptado, realizando-se em uma única camada sem a aplicação de golpes.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Consistência e tempo de fluxo

Os resultados médios dos espalhamentos apresentados pelas argamassas no ensaio de mini *slump* e do ensaio de tempo de fluxo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de consistência e tempo de fluxo

Traço	1:4					1:5				
Teor de adição de RCMG	0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
Consistência (cm)	25,67	24,17	24,10	25,57	23,33	25,97	26,73	28,17	26,87	27,67
Tempo de fluxo (s)	1,97	2,20	2,35	2,44	2,55	3,40	3,56	3,63	3,70	3,76

Fonte: Autores (2019).

Através da análise dos resultados, verifica-se que todas as argamassas de traço 1:4 com resíduo em sua composição apresentaram uma consistência inferior a aquela obtida pela argamassa de referência deste traço. Ainda, com exceção da argamassa com 15% de RCMG, observa-se uma relação inversamente proporcional entre o teor de resíduo e o espalhamento apresentado pela argamassa. Crê-se que – por ter uma maior relação de finos – os poros da matriz cimentícia das argamassas deste traço já estão praticamente colmatados, assim, quando inserido na mistura, o RCMG colabora para o aumento do atrito interno em condições de fluxo visto que as partículas deste material apresentam geometria angular (conforme constatado no ensaio MEV).

Já para o traço 1:5, verifica-se uma tendência ao aumento do diâmetro de espalhamento com a inserção do resíduo, em virtude deste traço apresentar – em sua composição – uma menor proporção de aglomerante. Deste modo, comparadas com as argamassas do traço 1:4, as do traço 1:5 apresentam uma matriz com mais espaços entre os agregados, o que permite o RCMG acomodar-se nos interstícios desta. Assim acredita-se que, ao ser inserido na argamassa, o resíduo auxilia a manter os demais sólidos da mistura suspensos (dispersando-os) e – com isto – reduzindo o atrito interno da argamassa e aumentando sua fluidez.

Quanto ao ensaio de tempo de fluxo, os resultados revelam que todas as argamassas produzidas apresentam um tempo de escoamento inferior ao limite apresentado pela norma, de 8s, indicando uma deficiência na viscosidade o que pode, segundo Repette (2005)[7] acarretar em uma segregação da mistura. Verifica-se que – para ambos os traços – o aumento do teor de RCMG proporcionou um aumento no tempo de fluxo e, consequentemente, uma melhoria na viscosidade das argamassas. Ainda, destaca-se que as argamassas do traço 1:5 apresentaram resultados mais satisfatórios (em média, 57% maior que as do outro traço), isto, provavelmente em função da maior proporção de agregado miúdo que este traço apresenta. Afinal, as partículas de maior dimensão – por proporcionarem um maior atrito interno – reduzem a velocidade do escoamento da argamassa.

5.2. Resistência à tração na flexão e à compressão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado dos ensaios de resistência mecânica

Traço			1:4					1:5				
Teor de adição de RCMG			0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
Resistências médias (MPa)	Tração na flexão	7 dias	3,44	3,72	4,00	4,20	4,37	4,37	4,60	4,58	4,63	4,71
		28 dias	5,10	5,44	5,34	5,78	5,69	5,14	5,73	5,69	5,57	5,91
	Compressão	7 dias	11,65	13,84	13,23	13,31	12,15	10,59	10,58	11,63	12,78	11,97
		28 dias	19,47	18,77	19,85	20,15	19,68	18,69	17,12	19,58	21,60	18,70

Fonte: Autores (2019).

Através da análise dos resultados constata-se que – para ambos os ensaios – o emprego do RCMG proporcionou uma melhoria no desempenho mecânico das argamassas. Em virtude de o resíduo não demonstrar potencial pozolânico no ensaio de IAP sabe-se que o incremento da resistência mecânica decorre do efeito físico que uma adição mineral pode apresentar, que – segundo Dal Molin (2005)[8] – pode ser pelo efeito de microfiler, refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento ou alteração da microestrutura da zona de transição.

Quanto ao ensaio de resistência à tração na flexão, acredita-se que o incremento na resistência com a utilização do RCMG deve-se – principalmente – ao fato destas partículas atuarem como pontos de nucleação para os produtos de hidratação, produzindo cristais de menor dimensão e distribuídos de forma mais homogênea pela matriz cimentícia. Assim, tal resíduo contribuiu para densificar a zona de transição entre as partículas de agregado e a pasta cimentícia, sendo esta a região de maior fragilidade para o ensaio de resistência à tração.

Em relação a resistência à compressão, acredita-se que a melhoria no desempenho apresentado com a acréscimo do RCMG dá-se, de forma mais expressiva, pelo efeito fíler apresentado pelo resíduo. Quanto aos resultados apresentados, destaca-se que apenas as argamassas contendo 5% de resíduo exibiram uma perda na resistência aos 28 dias em relação as argamassas de referência. Ainda em relação aos resultados exibidos para a idade mais avançada, observa-se uma convergência de ambos os traços, apontando o teor de RCMG de 15% como o melhor resultado (observando-se um aumento de 3,50% para o traço 1:4 e 15,57% para o 1:5). Averígua-se um acréscimo mais acentuado para o segundo traço, em virtude de este apresentar – em sua matriz – uma maior quantidade de vazios, portanto, a inserção do resíduo nesta mistura permite uma melhoria mais efetiva da colmatação dos poros existentes na argamassa.

Através da análise estatística, pelo método de variância (ANOVA), realizada através do *software* Excel, utilizando-se um percentual de confiança de 95%, verificou-se a influência do teor de RCMG, do traço, da idade de ruptura e das interações entre estas variáveis nos resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica (Tabela 4).

Conforme pode-se constatar, as três variáveis avaliadas separadamente apresentaram influência significativa nos ensaios de resistência mecânica. Em relação ao traço, tal comportamento demostra a influência de diferentes consumos de cimento nas resistências

das argamassas. Quanto a idade de ruptura, a significância está associada ao ganho de resistência devido o desenvolvimento das reações de hidratação do aglomerante.

Tabela 4 - Resumo da ANOVA dos ensaios de resistência mecânica

Variável	Resistência à tração na flexão		Resistência à compressão	
	valor-P	Significância	valor-P	Significância
Traço(1)	0,000143289	S	0,002945443	S
Teor de RCMG(2)	0,000820364	S	0,000310881	S
Idade(3)	5,85327E-17	S	2,84419E-44	S
1x2	0,484191136	NS	0,042849422	S
1x3	0,010881138	S	0,13511917	NS
2x3	0,950021965	NS	0,125795378	NS
1x2x3	0,662746729	NS	0,562592704	NS
Onde: valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (sendo efeito significativo com p<5%).				

Fonte: Autores (2019).

O efeito não significativo observado entre a interação do teor de resíduo e da idade de ruptura indica que o RCMG não provoca ganhos significativos na resistência mecânica ao longo do tempo, sendo tal comportamento esperado para as adições sem potencial pozolânico (GONÇALVES, 2000[9]). Isto porque, a melhor compactação proporcionada pelo efeito fíler apresenta-se imutável em relação à idade das argamassas. Deste modo, o ganho de resistência, ao passo que há um aumento na idade das argamassas, decorre exclusivamente pelo desenvolvimento das reações de hidratação do cimento. Quanto a significância da interação do traço e do teor de RCMG observada para o ensaio de resistência à compressão conclui-se que a amplitude de influência do emprego do resíduo está em função do traço da argamassa. Quanto mais porosa for a argamassa, maior a potencialidade da influência exercida pelas partículas da adição mineral.

6. CONCLUSÕES

Nas argamassas de traço 1:4, devido a elevada proporção de finos, verificou-se que o acréscimo do resíduo resultou em um decréscimo em sua consistência. Já nas argamassas de traço 1:5 – que contém uma maior quantidade de poros em sua matriz – verificou-se que o RCMG, ao ser inserido, auxiliou a manter os demais sólidos suspensos, reduzindo o atrito interno da mistura e aumentando sua fluidez. Quanto aos resultados do ensaio de tempo de fluxo observou-se que – para ambos os traços – a inserção do resíduo provocou uma melhoria na viscosidade das argamassas. Por atuar como fíler e – possivelmente – auxiliar para o refinamento da estrutura de poros da matriz cimentícia, na maior parte dos casos, o emprego do RCMG proporcionou um aumento na resistência mecânica.

Deste modo, a viabilidade técnica da utilização do RCMG como adição mineral inerte em argamassas autonivelantes foi constatada para o traço 1:5, visto que o resíduo permitiu obter resultados satisfatórios nos ensaios realizados. Ainda, com a utilização do RCMG, verificou-se uma maior consistência nas argamassas, remetendo a necessidade de emprego de menores

quantidades de aditivos químicos, o que pondera em favor da redução do custo para fabricação de argamassa autonivelante com este traço.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MATTA, Vanessa Ribeiro Peixoto da *et al.* Efeitos da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) no desempenho das argamassas de Cimento Portland no estado endurecido**.** *In*: IX FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 9, n.1. 2013. **Periódicos eletrônicos** [...]. Tupã: Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista (ANAP), 2013. p. 87-104.

2. CICHINELLI, Gisele**. Execução de contrapiso autonivelante industrial.** Revista Téchne. 192. ed., mar. 2012. Disponível em: http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/192/execucao-de-contrapiso-autonivelante-industrial-286998-1.aspx. Acesso em: 12 set. 2016.

3. NAKAKURA, Elza Hissae; BUCHER, Hans Roman Edmundo. Pisos Auto-nivelantes: Propriedades e Instalações. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais** [...]. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), 1997. p. 305-316.

4. EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete**, Farnham, United Kingdom, fev. 2002.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5752**: Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

7. REPETTE, Wellington Longuini. Concretos de última Geração: Presente e Futuro. In: ISAIA, Geraldo C. **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v.2. p. 1509-1550.

8. DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Minerais para Concreto Estrutural. *In*: ISAIA, Geraldo C. **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v.1. p. 345-379.

9. GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2000.