ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE ARGAMASSAS COM O USO DE AGREGADOS MIÚDOS RECICLADOS

Tema: Inovação em argamassas e revestimentos.
Grupo[1]: 2

MAURO JOSÉ MAZZOCHINI[1], JULIANA A. L. SENISSE NIEMCZEWSKI[2]

[1]Graduado em Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul/UCS, mauro.maz@hotmail.com
[2] Profª. Drª, Coordenadora LBTEC/UCS, Universidade de Caxias do Sul/UCS, jalsenisse@ucs.br

RESUMO

Entre as preocupações do setor da construção civil estão as reduções de custos e de geração de resíduos. Dessa forma, o estudo objetivou analisar o uso de agregados miúdos provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas, através de ensaios de laboratório. Foram avaliados quatro teores de substituição e duas consistências. Foram realizados ensaios em estado fresco e estado endurecido. Utilizou-se o software Statistica v10 para dados mais confiáveis. O uso do material se mostrou satisfatório tanto nos ensaios de estado fresco, como nos ensaios de estado endurecido. Portanto, viabiliza-se o emprego deste material no setor da construção civil.

Palavras-chave: agregados reciclados, argamassa, RCD, resíduos da construção civil.

ANALYSIS OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF MORTARS WITH THE USE OF RECYCLED AGGREGATES

ABSTRACT

Among the sector's concerns are cost reductions and waste generation. Thus, the study aimed to analyze the use of small aggregates from construction and demolition waste (CDW) through laboratory tests. Four substitution contents and two consistencies were evaluated. Fresh and hardened tests were performed. Statistica v10 software was used for more reliable data. The use of the material proved to be satisfactory both in the fresh state tests and in the hardened state tests. Therefore, it is feasible to use this material in the civil construction sector.

Key-words: recycled aggregates, mortar, CDW, construction & demolition waste, grout.

[1] **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

1. INTRODUÇÃO

Diversas são as formas de geração de resíduos no setor da construção civil e, por conta disso, torna-se um problema recorrente dos grandes centros urbanos. De acordo com Pinto[1],estima-se valores entre 230 a 760 kg/hab.ano de geração de Resíduos de Construção e Demolição nos grandes centros. Valores coerentes, já que são diversas as formas de origem destes resíduos: desastres naturais, ausência de planejamentos e má execução dos serviços são exemplos de como são originados.

Desta forma, faz-se necessário buscar formas de diminuir os impactos gerados pelo acúmulo de RCD, dando um destino adequado a estes materiais. É importante a existência de estudos que busquem incorporar estes rejeitos de volta na cadeia produtiva e promover a redução do descarte inadequado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de verificar a viabilidade técnica do uso de agregados miúdos reciclados, foram produzidas oito composições de argamassas, tendo como variáveis controláveis: teor de substituição (0%, 25%, 75% e 100%) e a consistência (210±20mm e 260±20mm).

As variáveis respostas foram os resultados dos ensaios de Consistência e Densidade, Absorção de água por capilaridade e Resistências à tração na flexão e à compressão.

2.1. Materiais

2.1.1. Agregados miúdos

Os agregados miúdos naturais (AMN) utilizados foram os de origem quartzosa provenientes de jazidas naturais disponíveis na região nordeste do Rio Grande do Sul. Os agregados miúdos reciclados (AMR) foram fornecidos por uma empresa especializada e licenciada para a britagem de resíduos de construção e demolição. A amostra de AMR passou por processos de beneficiamento através de peneiramentos a fim de aproximar ao máximo da areia natural utilizada no estudo.

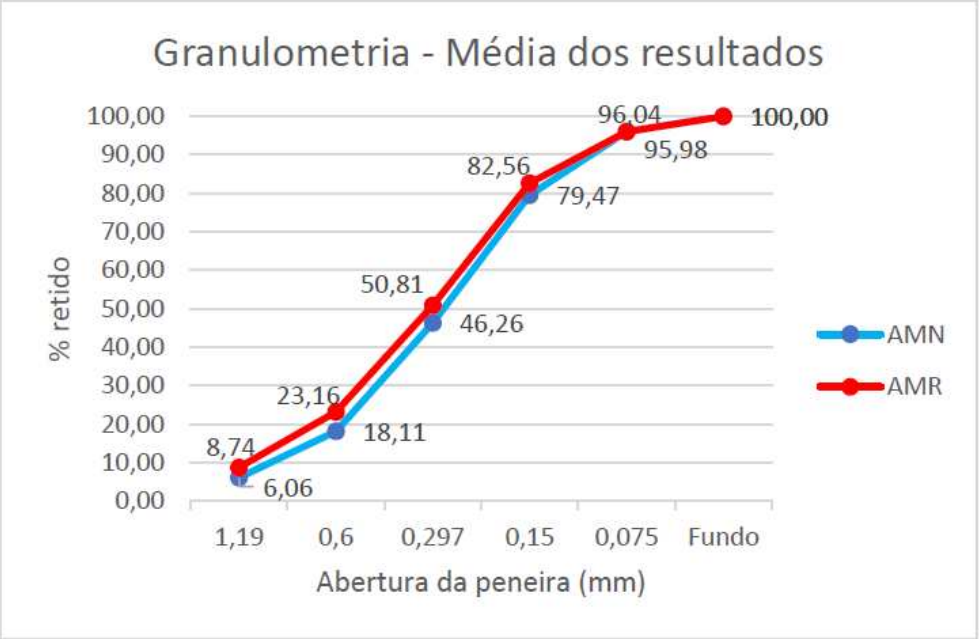
Foram realizados ensaios de massa unitária (NBR NM 45:2006)[2], massa específica (NBR NM 52:2009)[3] e a determinação do teor de pulverulentos (NBR NM 46:2006)[4] com o objetivo de caracterização das amostras de AMN e AMR. Os resultados médios são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados

Ensaio	Resultado Médio	
	AMN	AMR
Massa Unitária (kg/dm³)	1,56	1,29
Massa Específica (kg/dm³)	2,59	2,41
Teor de Pulverulentos (%)	1,01	19,76

Após estas análises, as amostras foram submetidas ao ensaio de granulometria (NBR NM 248:2003)[5], obtendo as curvas granulométricas conforme a Figura 1.

Figura 1 - Resultados do ensaio de granulometria



Fonte: Do autor

O ensaio também apresentou a dimensão máxima de ambas amostras foi de 2,4mm. Porém, o módulo de finura foi diferente: 1,50 para o AMN e 1,65 para o AMR.

2.1.2. Cimento e cal hidráulica

O cimento Portland utilizado no estudo foi do tipo CP-IV 32, de uso comum na região do estudo e a cal empregada foi do tipo CH-I. Os ensaios de massa específica foram realizados para o cimento e a cal, e as médias dos resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados ensaio de massa específica dos aglomerantes

Material	Massa Específica (kg/dm³)
Cimento CP-IV-32	2,89
Cal Hidratada CH-I	2,28

2.2. Método

Todos os ensaios foram realizados de acordo com o indicado nas suas respectivas normas técnicas, regidas pela ABNT.

2.3. Produção das argamassas

Após a separação dos materiais, a preparação das argamassas se deu de acordo com o indicado na norma NBR 13276 (2005)[6], utilizando os traços convertidos para massa, conforme Figura 2. A água foi adicionada aos poucos para que se atingisse as consistências desejadas, sem que extrapolasse o limite imposto (±20mm). Os corpos de prova permaneceram nos moldes por 48h e, até seu rompimento, sob condições controladas de cura (temperatura de 23±2°C e umidade relativa de 60±5%).

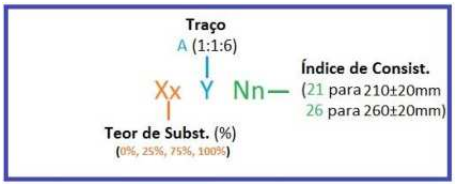
Figura 2 - Ensaio de consistência e moldagem dos CP's



Fonte: Do autor

De forma a facilitar a nomenclatura das argamassas produzidas, foi utilizado o padrão mostrado na Figura 3. Na Tabela 3 são demonstrados todos os traços estudados nesta pesquisa.

Figura 3 - Padrão utilizado para nomear os traços das argamassas



Fonte: Do autor

Tabela 3 - Nomenclatura das argamassas produzidas

Código	Teor de Subst. (%)	Traço (volume)	Consist. (mm)	Quantidade de materiais (kg)					a/agl
				Cim.	Cal	AMN	AMR	Água	
0A21	0	1:1:6	210±20	0,285	0,175	2,338	-	0,446	0,970
25A21	25	1:1:6	210±20	0,285	0,175	1,753	0,544	0,430	0,935
75A21	75	1:1:6	210±20	0,285	0,175	0,584	1,632	0,477	1,037
100A21	100	1:1:6	210±20	0,285	0,175	-	2,175	0,520	1,130
0A26	0	1:1:6	260±20	0,285	0,175	2,338	-	0,465	1,011
25A26	25	1:1:6	260±20	0,285	0,175	1,753	0,544	0,479	1,041
75A26	75	1:1:6	260±20	0,285	0,175	0,584	1,632	0,508	1,104
100A26	100	1:1:6	260±20	0,285	0,175	-	2,175	0,548	1,191

Os ensaios realizados neste trabalho podem ser resumidos através da Tabela 4, que apresenta as normas utilizadas, a idade de realização e o número de CP's (corpos de provas) ensaiados por traço estudado.

Tabela 4 - Tabela resumo dos ensaios realizados

Ensaio	Estado da argamassa	Norma	Idade (dias)	N° de CP's
Consistência	Fresco	ABNT NBR 13276	-	-
Densidade	Fresco	ABNT NBR 13278	-	-
Absorção de água por capilaridade	Endurecido	ABNT NBR 15259	28	3
Resistência à tração na flexão	Endurecido	ABNT NBR 13279	7	3
			28	3
Resistência à compressão	Endurecido	ABNT NBR 13279	7	3, sendo 6 metades
			28	3, sendo 6 metades

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados expostos de cada ensaio realizado foram examinados utilizando análise de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%, através do software STATISTICA v10. Dados considerados espúrios – cujo resultados não pertencem ao intervalo médio mais ou menos um desvio padrão – foram excluídos.

3.1. Consistência e densidade

Em função da adição de água ter se dado aos poucos, os valores de consistência se mantiveram dentro do esperado, sem grandes variações. Por questões óbvias, o aumento da consistência demandou maior quantidade de água. Entretanto, as misturas com maiores teores de AMR apresentaram maior consumo de água, como também foi observado por Assunção et. al.

(2007)[10]. O agregado reciclado ao absorver água para seu interior, retira uma parcela de água livre do sistema, responsável por dar fluidez à argamassa, prendendo-a em seus poros e demandando mais água para que se atinja a consistência desejada, fato que provocou o aumento de até 20% no consumo de água.

Ao analisar a densidade das argamassas com o uso de agregados reciclados, o uso deste material em elevados teores de substituição promove sua diminuição. Esse acontecimento já era esperado, uma vez que a massa específica do AMR é menor, o que promoveu a redução de até 9% na densidade das amostras com 100% de substituição.

3.2. Absorção de água por capilaridade

Ao realizar a análise de variância, se observa que todos os fatores isoladamente são significantes para os resultados finais. As médias dos coeficientes de capilaridade de cada tipo de amostra são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade

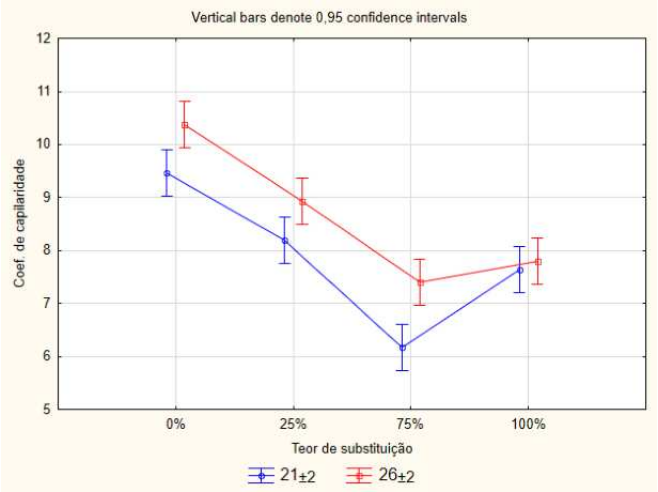
Código	Coef. de capilaridade	Código	Coef. de capilaridade
0A21	9,5	**0A26**	10,4
25A21	8,2	**25A26**	8,9
75A21	6,2	**75A26**	7,4
100A21	7,6	**100A26**	7,8

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que nas misturas com maiores teores de substituição do agregado, o coeficiente de capilaridade apresentou queda no seu valor. Pensa-se que esse comportamento se deu em função da maior dificuldade que a água teve para percolar, visto que a presença de pulverulentos pode ter ocasionado um efeito *filler*, preenchendo os vazios e diminuindo os espaços entre as partículas.

Outra observação importante a ser feita é sobre a ausência de selagem dos corpos de prova. A norma específica não menciona sobre a necessidade de cobrir as faces que não estavam em contato com a água, dessa forma, pode ter ocorrido uma possível evaporação da água absorvida através destas faces. Dessa maneira, as argamassas mais porosas – aquelas produzidas com o agregado reciclado – podem ter oportunizado esse fato, como observado na Figura 4.

ISSN 1984-8757

Figura 4 - Coeficiente de capilaridade médio



Fonte: Do autor

3.3. Resistência à tração na flexão e Resistência à compressão

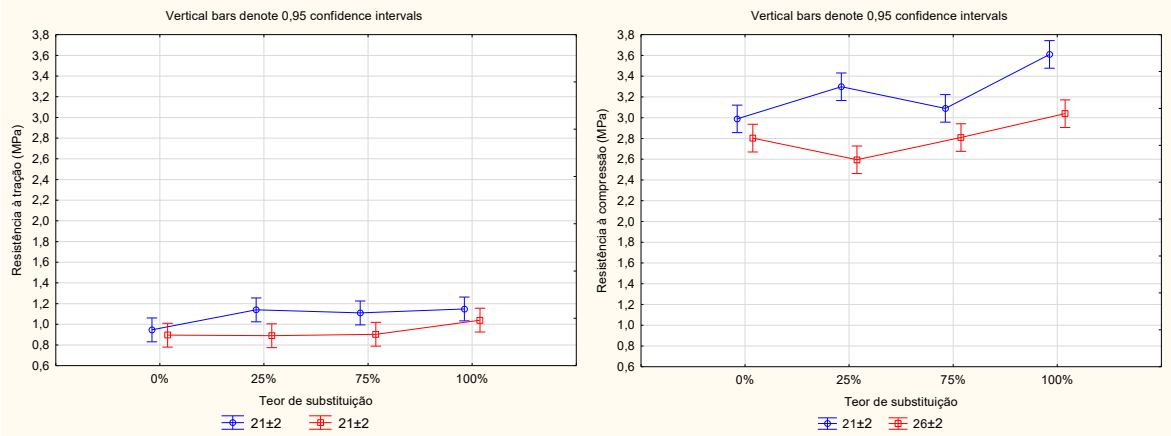
Os resultados dos ensaios de resistências são apresentados resumidamente na Tabela 6. A análise estatística mostrou que todos os fatores isolados afetam significativamente os resultados.

Tabela 6 - Resultados médios de resistência à tração na flexão e à compressão

Código	ft.-7dd (MPa)	ft.-28dd (MPa)	Código	fc.-7dd (MPa)	fc.-28dd (MPa)
0A21	0,88	1,01	0A21	2,50	3,48
25A21	0,95	1,33	25A21	2,16	4,44
75A21	0,98	1,24	75A21	2,51	3,67
100A21	1,09	1,21	100A21	2,88	4,34
0A26	0,72	1,07	0A26	2,06	3,55
25A26	0,75	1,03	25A26	1,90	3,29
75A26	0,88	0,92	75A26	1,89	3,73
100A26	1,01	1,07	100A26	2,45	3,63

Ao avaliar o comportamento das resistências através dos gráficos representados pela Figura 5, observa-se valores de resistência semelhantes ou superiores nas amostras que utilizaram o AMR em sua composição, quando comparados às amostras referências sem o uso deste material. Estes resultados surpreenderam, já que a presença do agregado reciclado parece ter elevado tanto a resistência à tração, quanto a resistência à compressão, como também foi observado por Assunção et. al. (2007)[10] e Hamassaki et. al. (1997)[11].

Figura 5 - Resultados de resistência à tração na flexão (esquerda) e resistência à compressão (direita)



Fonte: Do autor

Uma possível explicação para estes fenômenos está na possibilidade de os agregados reciclados terem absorvido parte da água de mistura, diminuindo a relação a/agl efetiva, e promovendo o aumento de ambas resistências. Outra justificativa, possivelmente, pode ser a diminuição dos índices de vazios das argamassas com presença de AMR devido ao efeito *filler* dos finos deste material.

4. CONCLUSÕES

O descarte em demasia de materiais de origem da construção civil mostra a necessidade de buscar novos usos aos resíduos de construção e demolição. Entretanto, mesmo com o aumento da oferta deste tipo de material, o mercado ainda se mostra resistente ao uso deste tipo de agregado, ao menos na região serrana do Rio Grande do Sul. Sendo assim, este trabalho buscou mostrar alternativas ao uso de agregado reciclado em argamassa, obtendo as seguintes conclusões:

i. o aumento do teor de substituição do agregado proporcionou a redução da densidade das argamassas;

ii. o uso de agregados reciclados proporciona o aumento do consumo de água;

iii. conforme houve aumento do teor de substituição do agregado, o coeficiente de capilaridade apresentou diminuição nos resultados;

iv. nota-se que embora as argamassas com elevadores teores de AMR apresentassem menores densidade, suas resistências foram superiores;

v. em relação à resistência à tração na flexão, todas as composições com a presença de agregado reciclado obtiveram resistência superior à argamassa referência

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006

3. _____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

4. _____. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

5. _____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

6. _____. **NBR 13276**: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

7. _____. **NBR 13278**: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

8. _____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de e paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

9. _____. **NBR 13279**: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

10. ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G.F.; BARATA, M.S. **Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidos com resíduos da construção e demolição com agregado**. Exacta, São Paulo, 2007

11. HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C. **Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria**. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo, 1997. Anais... São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997