ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Utilização de resíduos de materiais de construção civil na fabricação de argamassas

Use of construction material waste in the manufacture of mortars

Jônathas Ferreira Rabêlo Silva
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | jonathas.ferreira@ufpe.br
Iranilza Costa da Silva
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | iranilza.costa@ufpe.br
Joaquín Vega Fuentes
Universidad de la República | Montevideo | Uruguai | joaquin.vega.fuentes@fing.edu.uy
Marcos David dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | marcos.david@ufpe.br
Arnaldo Manoel Pereira Carneiro
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | arnaldo.carneiro@ufpe.br

Resumo

A exploração excessiva de agregados minerais para produção de argamassas resulta em escassez e impactos ambientais. A utilização de resíduos de construção civil, como pó de pedra e resíduos de demolição, surge como uma alternativa sustentável. O estudo investiga a dosagem de argamassas com esses resíduos, usados individualmente e em misturas binárias, como fração inerte acima de #0,075 mm (peneira 200), substituindo a areia por uma composição granulométrica otimizada para melhor empacotamento dos grãos. Foram analisadas a composição granulométrica e a densidade de massa aparente das misturas no estado anidro. No estado fresco, avaliou-se a trabalhabilidade, teor de ar e densidade de massa fresca. No estado endurecido, analisou-se a resistência à compressão. Em amostras binárias com pó de pedra e resíduos de construção e demolição, houve um aumento de resistência de 15,30% e 2,49%, respectivamente, comparado à amostra de referência. Todas as argamassas apresentaram resistência à compressão superior a 6,0 MPa, atendendo aos requisitos para argamassas de assentamento com e sem função estrutural. Esses resultados promovem a sustentabilidade, reduzindo impactos ambientais e reciclando resíduos na construção civil.

Palavras-chave: Argamassas. Resíduos. Granulometria. Construção. Sustentabilidade.

Abstract

The excessive exploitation of mineral aggregates for mortar production results in scarcity and environmental impacts. The use of construction waste, such as stone dust and demolition

Como citar:
SILVA, J. F. R; SILVA, I. C.; FUENTES, J. V.; SANTOS, M. D.; CARNEIRO, A. M. P. Utilização de resíduos de materiais de construção civil na fabricação de argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

waste, emerges as a sustainable alternative. This study investigates the dosage of mortars with these wastes, used individually and in binary mixtures, as an inert fraction above #0.075 mm (sieve 200), replacing sand with an optimized granulometric composition for better grain packing. The granulometric composition and bulk density of the mixtures in the anhydrous state were analyzed. In the fresh state, workability, air content, and fresh bulk density were evaluated. In the hardened state, compressive strength was analyzed. In binary samples with stone dust and construction and demolition waste, there was an increase in strength of 15.30% and 2.49%, respectively, compared to the reference sample. All mortars showed compressive strength above 6.0 MPa, meeting the requirements for masonry mortars with and without structural function. These results promote sustainability, reducing environmental impacts and recycling waste in construction.

Keywords: Mortars. Waste. Granulometry. Construction. Sustainability.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais, destacando-se os agregados minerais, utilizados na produção de concretos e argamassas. A intensa exploração das jazidas desses agregados resulta na escassez de matérias-primas e na geração de altos impactos ambientais. Nesse contexto, a literatura tem investigado alternativas para mitigar esses problemas, como a incorporação de resíduos no processo de fabricação das argamassas. Essa prática visa melhorar as propriedades das argamassas e proporcionar benefícios ambientais, uma vez que permite a reciclagem de resíduos e a redução do impacto ambiental gerado por eles, além de diminuir a demanda por matérias-primas naturais.

Dentre esses materiais, destacam-se aqueles provenientes do processo de britagem de rochas (pó de pedra) e os resíduos de construção e demolição (RCD). Diversos estudos, como os de [1] [2] [3] [4] [5], investigaram a substituição parcial do agregado natural (areia quartzosa) por diferentes tipos de resíduos em argamassas, analisando a influência de diferentes teores dessas substituições. A incorporação de resíduos afeta as propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, influenciando aspectos como resistência mecânica e trabalhabilidade, conforme evidenciado nas pesquisas de [6] [7] [8].

De acordo com [9], a granulometria dos agregados influencia nos custos e na trabalhabilidade das misturas. Areias muito grossas resultam em misturas ásperas e de baixa trabalhabilidade, enquanto areias muito finas exigem maior consumo de água e cimento, acarretando custos mais elevados. Agregados com granulometria contínua, ou seja, sem grandes ausências ou excessos de qualquer dimensão, produzem argamassas mais trabalháveis e econômicas.

Neste contexto, a proposta deste trabalho é realizar um estudo exploratório sobre a dosagem de argamassas utilizando resíduo de construção civil e pó de pedra.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no presente trabalho foram: cimento Portland (CPV-ARI MAX), areia natural lavada (AN1), areia natural caxitu (AN2), pó de pedra (AR1) e resíduos de construção de demolição (AR2).

O cimento utilizado foi o CPV – ARI MAX (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – Máxima Performance), desenvolvido pela empresa Cimento Nacional, na fábrica localizada em Pitimbu, Paraíba. A massa específica de 3,06 g/cm³ do cimento Portland foi fornecida pelo fabricante.

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

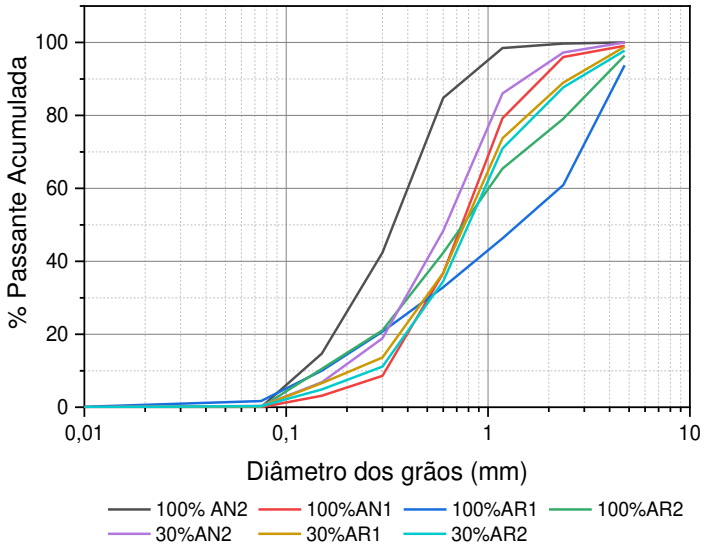
A caracterização física dos agregados foi obtida através dos ensaios de massa unitária e granulometria. As massas unitárias dos agregados foram determinadas conforme [11]. O resumo das propriedades físicas dos agregados é ilustrado na Tabela 1. As distribuições granulométricas dos agregados foram obtidas mediante peneiramento de acordo com [10], os intervalos granulométricos são apresentados na Figura 1.

Tabela 1: Características físicas dos agregados

Material	Massa Unitária (g/cm³)	Módulo de Finura
AN1	1,385	3,531
AN2	1,457	2,730
AR1	1,461	4,576
AR2	1,291	3,497

Fonte: Os autores.

Figura 1: Curvas granulométricas dos agregados.



Fonte: Os autores.

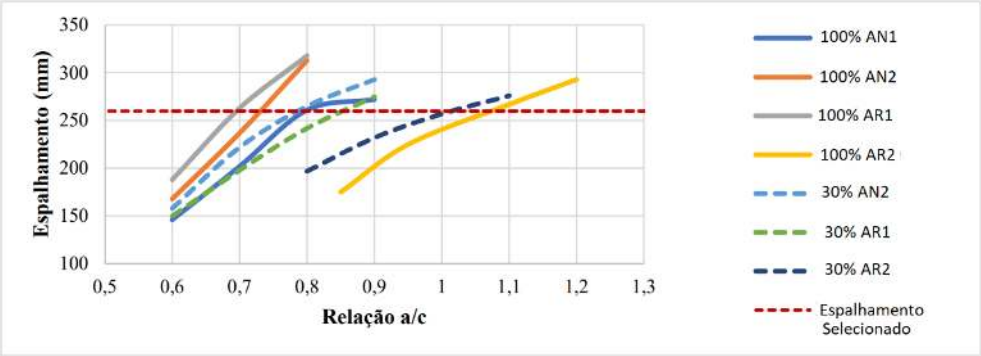
DOSAGEM DAS MISTURAS

O traço utilizado *in natura* foi 1:4 (aglomerante:agregado), em massa. Para misturas binárias foi utilizado um traço com substituição parcial da AN1 pelos agregados (AN2,

AR1 e AR2) com teor de 30% em massa, sendo 1:2,8:1,2 (aglomerante:AN1:agregado), em massa.

O teor de água foi determinado através do ensaio de índice de consistência (Flow table), conforme [12], referente a quantidade de água necessária para obtenção do espalhamento de 260 ± 10mm. Na Figura 2, são apresentados os resultados dos testes pilotos, utilizados para indicar o espalhamento fixado e, na Tabela 2, as quantidades de materiais das misturas analisadas, executadas de acordo com o procedimento indicado em [13].

Figura 2: Espalhamento das argamassas – Teste piloto.



Fonte: Os autores.

Tabela 2: Identificação e quantidade de materiais das misturas analisadas.

Argamassas	CP-V (g)	Agregados (g)				Água (g)
		Natural 1	Natural 2	Resíduo 1	Resíduo 2	
100% AN1	500	2000	-	-	-	320
100% AN2	500	-	2000	-	-	292
100% AR1	500	-	-	2000	-	280
100% AR2	500	-	-	-	2000	430
30% AN2	500	1400	600	--	-	320
30% AR1	500	1400	-	600	-	330
30% AR2	500	1400	-	-	600	330

Fonte: Os autores.

ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Foram analisadas as características no estado fresco, que incluem: Trabalhabilidade, teor de ar incorporado e densidade de massa fresca. O ensaio da mesa de consistência (Flow table) foi executado conforme [12].

A determinação do teor de ar incorporado e a densidade de massa foi realizada utilizando-se os corpos de prova cilíndricos de volume e massa conhecidos, de acordo com os procedimentos indicados em [14].

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Foram produzidos 3 corpos de prova (CPs) em moldes cilíndricos (dimensões: 5 mm x 10 mm) para cada amostra conforme [15]. Após 24 horas no molde, os corpos de prova foram mantidos em laboratório sobre monitoramento em cura seca, sendo analisadas

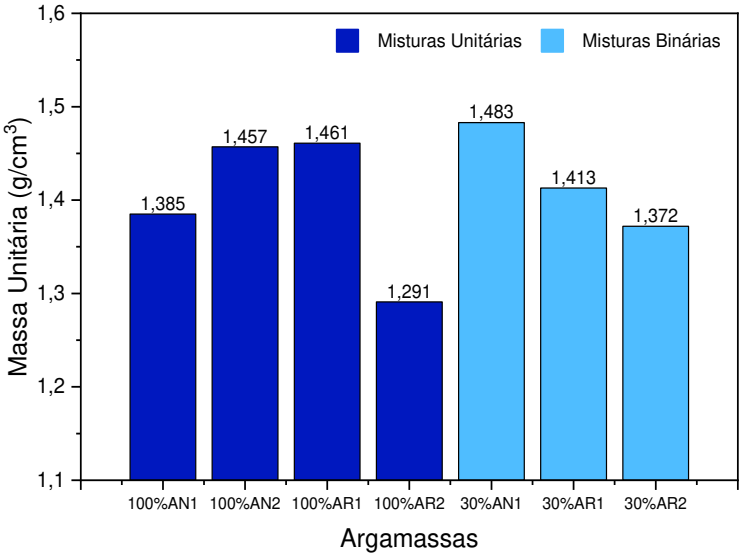
as variações de massa até a idade de 28 dias. Após este período, as amostras foram submetidas aos ensaios de densidade de massa aparente, em que os valores determinados seguindo as recomendações de [16] e o ensaio de resistência à compressão axial, de acordo com [15]. Para tanto, os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica manual SOLOTEST com célula de 20 tf.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ESTADO ANIDRO

A Figura 3 mostra os resultados para a massa unitária dos agregados e das misturas.

Figura 3: Massa unitária dos agregados e das misturas.



Fonte: Os autores.

Os valores obtidos de massa unitária de cada amostra permitem observar a relação entre a estrutura e a composição de cada material. Comparando AN1 e AN2, nota-se que AN2 apresenta um maior valor de massa unitária, possivelmente devido a um melhor preenchimento dos vazios entre as partículas pelos grãos mais finos dos agregados. Em relação a AR1 e AR2, embora ambos contenham uma quantidade considerável de finos, AR2 possui uma maior proporção de agregados de baixa densidade, principalmente devido à argamassa cimentícia antiga aderida à superfície dos grãos, resultando em um menor valor de massa unitária [17] [18].

Ao analisar as misturas binárias, observa-se um aumento no valor da massa unitária após a substituição de 30% de AN1 por AN2 e AR1, devido ao melhor rearranjo dos grãos na mistura, reduzindo os vazios. Em contrapartida, houve uma redução na massa unitária com a substituição de 30% de AN1 por AR2, devido à característica porosa dos agregados de AR2, como mencionado anteriormente.

Com base na composição granulométrica dos materiais e nas misturas binárias, foi possível definir os índices d60 e d10, bem como o coeficiente de uniformidade (CU) destes, por meio da razão d60/d10. Os resultados são ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3: d60, d10 e coeficiente de uniformidade dos agregados e misturas analisadas.

	100% AN2	100% AN1	100% AR2	100% AR1	30% AR2	30% AN2	30% AR1
d60	0,39	0,85	0,98	1,14	0,95	0,73	0,89
d10	0,13	0,32	0,15	0,16	0,28	0,19	0,24
CU	3	2,66	6,53	7,13	3,39	3,84	3,71

Fonte: Os autores.

As curvas granulométricas das misturas unitárias de AN1 e AN2 apresentaram uma distribuição não uniforme, ao contrário das curvas de AR1 e AR2, que demonstraram maior uniformidade [19]. Esse comportamento pode ser explicado pelo processo de produção de AR1 e AR2, onde o material passa por britadores, resultando em uma variedade de diâmetros. Nas misturas binárias, cuja constituição é predominantemente de AN1, as curvas granulométricas apresentaram um comportamento semelhante ao de AN1.

ESTADO FRESCO

Avaliou-se a variação do espalhamento no ensaio de flow table para todas as argamassas analisadas, com o objetivo de determinar a relação a/c necessária para atingir a consistência ideal. Os valores de a/c obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Relação a/c das argamassas produzidas.

Traço	100% AN1	100% AN2	100% AR1	100% AR2	30% AN2	30% AR1	30% AR2
a/c	0,80	0,73	0,70	1,08	0,80	0,83	0,83

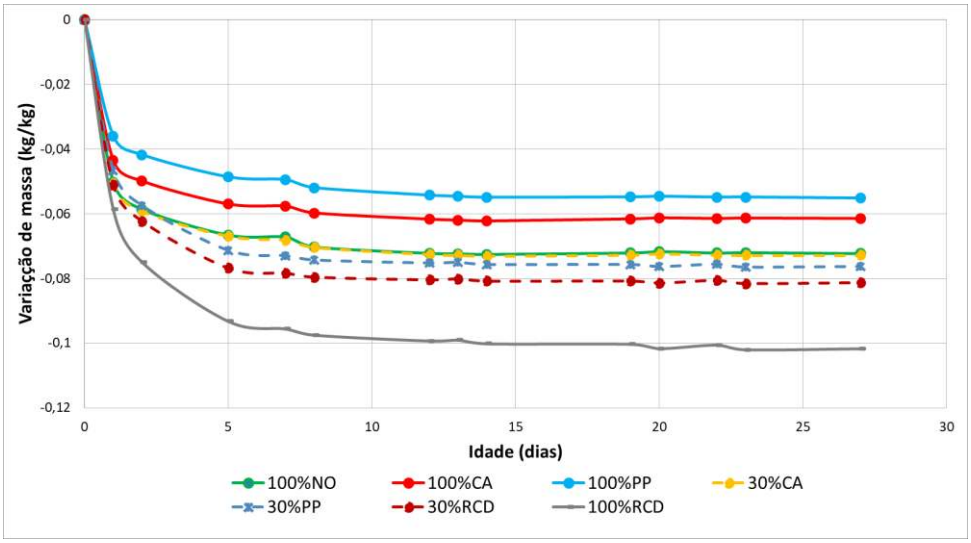
Fonte: Os autores.

Para obter o abatimento ideal no ensaio de flow table, de (260 ± 20) mm, foi observada uma variação nos valores da relação a/c das amostras. O menor valor de a/c, 0,7, foi encontrado nas misturas com 100% de AR1, o que pode ser explicado pela curva granulométrica uniforme. Em contrapartida, o maior valor de a/c, 1,08, foi observado na mistura com 100% de AR2. Apesar de também apresentar granulometria uniforme, AR2 possui uma elevada quantidade de agregados porosos, exigindo uma maior quantidade de água em comparação com as demais misturas [18] [20].

ESTADO ENDURECIDO

A Figura 4 ilustra os resultados do ensaio de variação de massa das argamassas durante o processo de cura.

Figura 4: Variação de massa das argamassas produzidas.



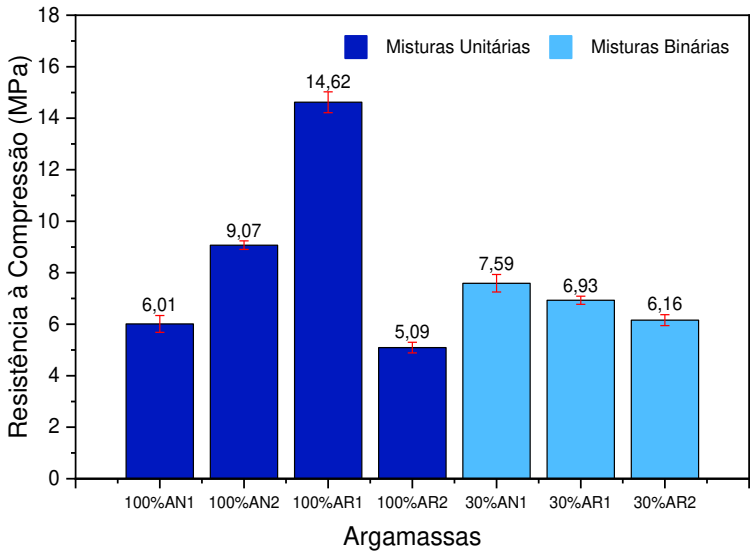
Fonte: Os autores.

É possível verificar que houve um aumento considerável da taxa de variação de massa dos corpos de provas nos primeiros dias, com tendência de diminuir com o tempo, tanto para as misturas unitárias, quanto para as misturas binárias. Esse comportamento mostrou estar ligado ao valor da relação a/c utilizado nas amostras, onde quanto maior a relação a/c, maior a taxa de variação de massa.

A maior taxa de variação foi observada na amostra com 100% de AR2, que, como mencionado na discussão sobre os teores de a/c, demanda uma grande quantidade de água devido à característica porosa de seus agregados. De modo semelhante, as misturas com 30% de AR1 e AR2 apresentaram valores de a/c superiores aos da AN1, resultando em curvas de variação de massa superiores à curva de referência.

A Figura 5 mostra os resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias de cura.

Figura 5: Resistência à compressão das argamassas produzidas.



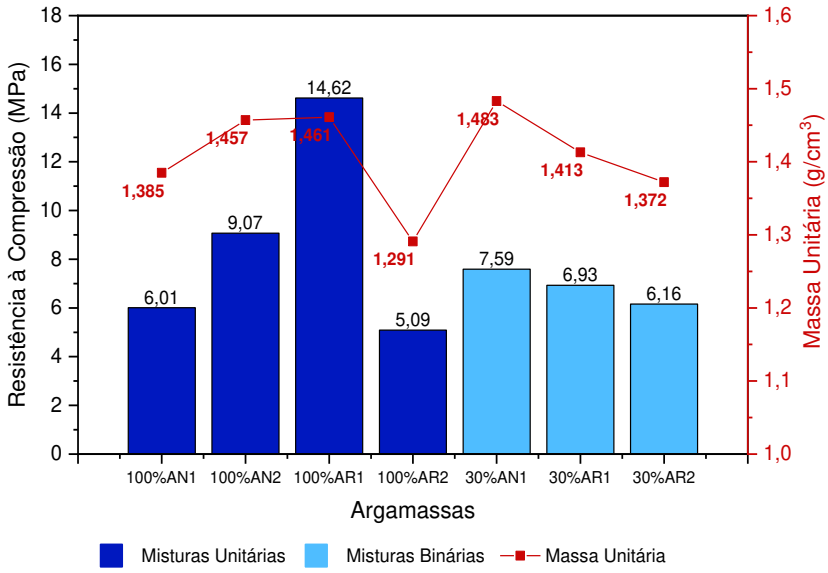
Fonte: Os autores.

O maior valor de resistência foi obtido para a amostra com 100% AR1 (argamassa composta exclusivamente por pó de pedra), enquanto o menor valor foi registrado para a amostra com 100% AR2 (argamassa composta exclusivamente por RCD). Esse comportamento está relacionado à granulometria, massa unitária, relação a/c e composição dos agregados, apresentando valores de resistência semelhante aos resultados encontrados por [21] [22] [23] [24].

CORRELAÇÕES

Na Figura 6, temos a correlação entre a resistência à compressão e a massa unitária das amostras.

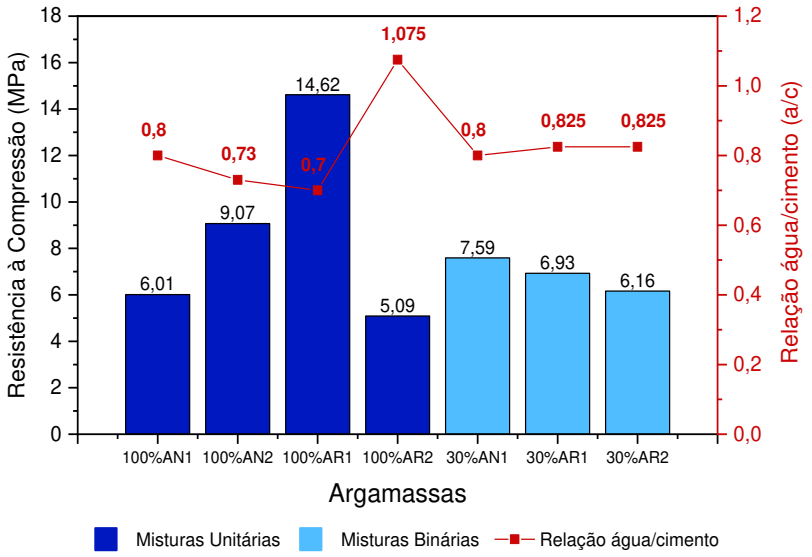
Figura 6: Resistência à compressão e massa unitária das argamassas produzidas.



Fonte: Os autores.

A Figura 7 mostra a relação entre a resistência à compressão e os dados da relação a/c.

Figura 7: Resistência à compressão e relação a/c das argamassas produzidas.



Fonte: Os autores.

Foi observada uma maior resistência na mistura com 100% AN2 em comparação à amostra de referência com 100% AN1. Isso se deve à maior quantidade de finos e ao melhor rearranjo entre as partículas na mistura com 100% AN2.

Além disso, foi notada uma tendência de aumento da massa unitária das misturas, indicando maior densidade e, consequentemente, maior resistência à compressão, como exemplificado pela amostra com 100% AR1. Nas misturas binárias, a maior massa unitária em comparação à mistura de referência também resultou em maiores resistências à compressão, demonstrando que a incorporação de misturas melhorou os resultados em relação a 100% AN1.

De forma semelhante aos resultados encontrados por [23], observou-se que uma menor relação a/c está associada a uma maior resistência da argamassa. A análise da mistura com 30% AN2 revelou o efeito positivo do preenchimento dos vazios pelos menores grãos presentes na AN2, aumentando a resistência mecânica. Da mesma forma, a mistura com 30% AR1 destacou o efeito das propriedades do material na melhoria do valor da resistência.

Além disso, de acordo com [25], que estabelece requisitos e métodos de ensaio para argamassas de assentamento e fixação de alvenaria, todas as argamassas analisadas apresentaram valores de resistência à compressão superiores aos requisitos para argamassas inorgânicas de assentamento de unidades de alvenaria sem função estrutural (AAV, 2,0 MPa ≤ fa < 5,0 MPa) e também atenderam aos critérios de resistência para argamassas inorgânicas de assentamento de unidades de alvenaria estrutural (AAE).

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, foi possível avaliar de forma abrangente a influência da granulometria e das misturas unitárias e binárias nas propriedades das argamassas nos estados anidro, fresco e endurecido.

No estado anidro, observou-se uma correlação clara entre a composição granulométrica, o arranjo das partículas de agregado e as variações na massa unitária dos materiais. Essas variações influenciaram diretamente o desempenho das argamassas nos estados fresco e endurecido.

No estado fresco, o ensaio de flow table revelou uma relação direta entre as variações nos agregados e a demanda de água de cada mistura para alcançar espalhamentos semelhantes.

No estado endurecido, a argamassa com 100% de AR1 demonstrou um desempenho superior em comparação às demais, um resultado que pode ser atribuído à forma e composição específicas desse agregado. As demais misturas apresentaram a seguinte relação: quanto maior a relação a/c, menor foi a resistência mecânica obtida, e o inverso também foi válido. Quanto à variação de massa, foram observadas taxas mais elevadas nas misturas com maior teor de água.

Os valores de resistência mecânica das argamassas analisadas atendem aos requisitos normativos, permitindo sua utilização para argamassas de assentamento seja ela com ou sem função estrutural. No entanto, é importante ressaltar a necessidade de avaliar outras propriedades, como aderência, deformação e aspectos microestruturais, para uma análise mais completa da qualidade das argamassas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (PPGEC).

REFERÊNCIAS

[1] DIÓGENES, A. G. **Estudo do comportamento de argamassas de revestimento com areia de britagem da Região Metropolitana de Fortaleza**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

[2] ABATE, S. Y.; IL SONG, K.; SONG, J. K.; LEE, B. Y.; KIM, H. K. Internal curing effect of raw and carbonated recycled aggregate on the properties of high-strength slag-cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 165, p. 64–71, 2018.

[3] MUÑOZ, A.; TORRES, N.; GUZMÁN, A. Evaluación de un mortero preparado con agregados reciclados de un concreto mejorado por carbonatación: una mirada a la construcción sustentable. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 34, n. 1, p. 25–32, 2019.

[4] QUEIROZ JÚNIOR, C. C. de. **Estudo da influência da substituição parcial da areia natural pelo resíduo proveniente do corte de pedras ornamentais nas propriedades de argamassas para impressão 3D**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

[5] ERBA, L. A. **Influência da substituição parcial de areia natural por areia de britagem em argamassas de revestimento: características, propriedades e condutividade térmica. 2022**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

[6] BAUER, E. **Revestimentos de Argamassa. Características e Peculiaridades**. 2. ed. Brasília: LEM-Unb; Sinduscon, 2005. 92 p.

[7] SAHMARAN, M.; LACHEMI, M.; HOSSAIN, K. M. A.; RANADE, R.; LI, V. C. Influence of aggregates type and size on ductility and mechanical properties of engineered cementitious composites. **ACI Materials Journal**, v. 106, n. 3, p. 308-316, mai.-jun. 2009.

[8] CARASEK, H. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon – Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. 795 p.

[9] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Editora Ibracon, 2008. 674 p.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

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

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

[17] CARASEK, H. C. et al. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. **Cerâmica**, v. 64, p. 288–300, 2018.

[18] GOMES, R. I. et al. CO2 sequestration by construction and demolition waste aggregates and effect on mortars and concrete performance—An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, p. 111668, 2021.

[19] FERREIRA, R. L. da S. **Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.

[20] CARRICO, A. et al. Mortars with thermo activated recycled cement: Fresh and mechanical characterization. **Construction and Building Materials**, v. 256, p. 119502, 2020.

[21] LE, M. T.; TRIBOUT, C.; ESCADEILLAS, G. Durability of mortars with leftover recycled sand. **Construction and Building Materials**, v. 215, p. 391–400, 2019.

[22] MUÑOZ, A.; TORRES, N.; GUZMÁN, A. Evaluación de un mortero preparado con agregados reciclados de un concreto mejorado por carbonatación. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 34, n. 1, p. 25–32, 2019.

[23] MORÓN, A. et al. Experimental study with cement mortars made with recycled concrete aggregate and reinforced with aramid fibers. **Applied Sciences**, v. 11, n. 17, p. 7791, 2021.

[24] BATISTA, B. C. C. et al. Influência da adição de RCD misto na resistência à compressão e na porosidade de argamassa. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 59, n. 3, p. 934–946, 2022.

[25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-2**: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023.