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

Avaliação de propriedades no estado fresco de argamassa estabilizada para revestimento com incorporação de areia de britagem

Evaluation of properties in the fresh state of stabilized mortar for coating with incorporation of crushed sand

Pedro Lucas da Costa Duarte Cerqueira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, BA | Brasil | pedrolucascerqueira@hotmail.com
Jocelia Santana dos Santos
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, BA | Brasil | joceliasantosjl@gmail.com
Regiane Filgueira Bôto
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, BA | Brasil | regianeboto15@gmail.com
Vinicius Silveira Oliveira Caldas
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, BA | Brasil | vinicius.caldas17@gmail.com
Fernanda Nepomuceno Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, BA | Brasil | fernandacosta@ufrb.edu.br

Resumo

Este estudo investiga várias formulações de argamassa estabilizada para revestimento de paredes e tetos, incorporando areia de britagem (AB) em substituição parcial à areia natural (AN), com o objetivo de avaliar a influência da substituição parcial do agregado por teores da AB no comportamento da argamassa estabilizada no estado fresco. Foram elaborados traços para dois tempos de estabilização (36 e 72h), com proporções específicas de materiais e aditivos. Para as formulações, foram realizadas misturas sem a presença de AB (traço referência) e com substituições parciais de 5, 10 e 15% de AN por AB, com utilização de cimento CP II – F 32 e aditivos incorporador de ar e estabilizador da hidratação. A avaliação das propriedades no estado fresco seguiu os requisitos especificados na NBR 13281-1:2023 para investigar o comportamento de cada traço produzido. Os resultados apontam que a substituição de AN por AB afeta significativamente as propriedades das argamassas no estado fresco, sendo que os traços de argamassas estabilizadas para 72h apresentam maior fluidez, enquanto as de 36h são mais consistentes. O teor de umidade é mais elevado em argamassas de 72h, assim como os traços com AB e em ambos os tempos de estabilização não há variações

Como citar:
CERQUEIRA, P. L. C. D.; SANTOS, J. S.; BÔTO, R. F.; CALDAS, V. S. O.; COSTA, F. N. Avaliação das propriedades no estado fresco de argamassa estabilizada para revestimento com incorporação de areia de britagem. ENTAC2024. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

significativas na retenção de água. A densidade das argamassas aumenta com a substituição de AN por AB, devido à maior massa específica da AB. A avaliação do teor de ar incorporado revela que, enquanto as argamassas de 36h liberam ar gradualmente, as de 72h incorporam mais ar devido a maior quantidade de água e aditivos. Diante dos resultados obtidos essa pesquisa contribui com a destinação do resíduo de britagem como insumo para a produção de argamassas reduzindo o descarte de resíduos de processamento industrial.
Palavras-chave: Valorização de resíduos. Reaproveitamento. Argamassa estabilizada. Aditivo estabilizador de hidratação. Aditivo incorporador de ar.

Abstract

This study investigates various formulations of stabilized mortar for wall and ceiling coatings, incorporating crushed sand (CS) as a partial replacement for natural sand (NS), aiming to evaluate the influence of the partial replacement of the aggregate with CS content on the behavior of stabilized mortar in its fresh state. Mixes were prepared for two stabilization times (36 and 72 hours), with specific proportions of materials and additives. For the formulations, mixes were made without the presence of CS (reference mix) and with partial replacements of 5%, 10%, and 15% of NS by CS, using CP II – F 32 cement and air-entraining and hydration stabilizer additives. The evaluation of the properties in the fresh state followed the requirements specified in NBR 13281-1:2023 to investigate the behavior of each produced mix. The results indicate that the replacement of NS with CS significantly affects the properties of the mortars in the fresh state, with the 72-hour stabilized mortar mixes exhibiting greater fluidity, while the 36-hour ones are more consistent. The moisture content is higher in 72-hour mortars, as well as in the mixes with CS, and in both stabilization times, there are no significant variations in water retention. The density of the mortars increases with the replacement of NS by CS, due to the higher specific gravity of CS. The evaluation of the incorporated air content reveals that while the 36-hour mortars gradually release air, the 72-hour ones incorporate more air due to the greater amount of water and additives. Based on the results obtained, this research contributes to the use of crushing residue as a raw material for mortar production, reducing the disposal of industrial processing waste.
Keywords: Valorization of waste. Reuse. Stabilized mortar. Hydration stabilizer admixture. Air-entraining admixture.

INTRODUÇÃO

O alarmante índice de resíduos gerados na construção civil causa preocupações no setor devido à destinação insustentável de subprodutos gerados na fabricação de materiais de construção, nos canteiros de obras e em demolições. A preocupação com o meio ambiente e o beneficiamento dos resíduos gerados demandam o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, na área da construção civil, para o reaproveitamento de materiais de descarte como material incorporado na constituição de materiais de construção [1].

Na produção de agregados graúdos em pedreiras, ocorre a geração de fragmentos de rochas em diversas granulometrias, as quais, conforme a NBR 7211:2022 [2], possuem zona utilizável como agregado graúdo de 75 mm a 4,75 mm. No entanto, esses fragmentos gerados durante o processo de britagem podem alcançar diâmetro dos grãos menores que a zona utilizável. Segundo Abreu [3], resíduos que não têm uma destinação específica possuem potencial de serem utilizados na incorporação de materiais de construção, a fim de diminuir impactos causados pelo descarte deste resíduo no meio ambiente.

Nesse contexto, uma potencial aplicação desse material é na composição de argamassas estabilizadas para revestimentos de paredes e tetos, que, segundo Macioski *et al.* [4], a define como uma formulação de argamassa industrializada, à base de cimento, disponível em estado fresco e pronta para uso. Esta argamassa mantém sua trabalhabilidade por período prolongado dependendo do teor de aditivo incorporado a ela em a sua preparação.

A argamassa estabilizada pode ter, além da sua composição tradicional, a incorporação de outros materiais aglomerantes além do cimento Portland e outros agregados além da areia natural e pode possuir em sua mistura aditivos incorporadores de ar para o melhoramento da trabalhabilidade e aditivos estabilizadores/inibidores de hidratação que servem para retardar a reação de hidratação da água com o cimento enquanto a argamassa estiver em seu recipiente de armazenamento [5].

Como agregado, é tradicional o uso de areia natural, que, de acordo com Carasek [6], é um agregado miúdo extraído principalmente do leito dos rios. Trata-se de um material relativamente fino que possui granulometria que varia de 0,075 a 2,00 mm, sendo que o diâmetro desses grãos influência nas proporções de aglomerantes e de água na mistura da argamassa devido ao fato que, quando a curva granulométrica não é contínua, o consumo de água é aumentado, o que prejudica a resistência mecânica da argamassa devido à retração durante a secagem [7].

Diante do problema da geração de resíduos, outras alternativas de matéria-prima na produção de argamassas têm sido testadas em diversas pesquisas. Assim, o presente artigo tem o objetivo de avaliar a influência da substituição parcial do agregado miúdo por teores da areia de britagem no comportamento da argamassa estabilizada no estado fresco, contribuindo com a análise da viabilidade da utilização desse subproduto como insumo na produção de argamassas e colaborar com a destinação ambientalmente adequada desse material.

Dessa forma, esse artigo avalia propriedades no estado fresco de argamassas estabilizadas produzidas com substituição parcial da areia natural (AN) por 5%, 10% e 15%, em massa, de resíduo do processo de britagem, em forma de areia de britagem (AB), para formulações com tempo de estabilização de 36h e 72h, comparando-as ao traço de referência (sem incorporação da AB).

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Para a produção das argamassas, empregou-se cimento Portland do tipo CP II – F 32 (Cimento Portland Pozolânico tipo II, com uma classe de resistência de 32 MPa), aditivo incorporador de ar e aditivo estabilizador de hidratação.

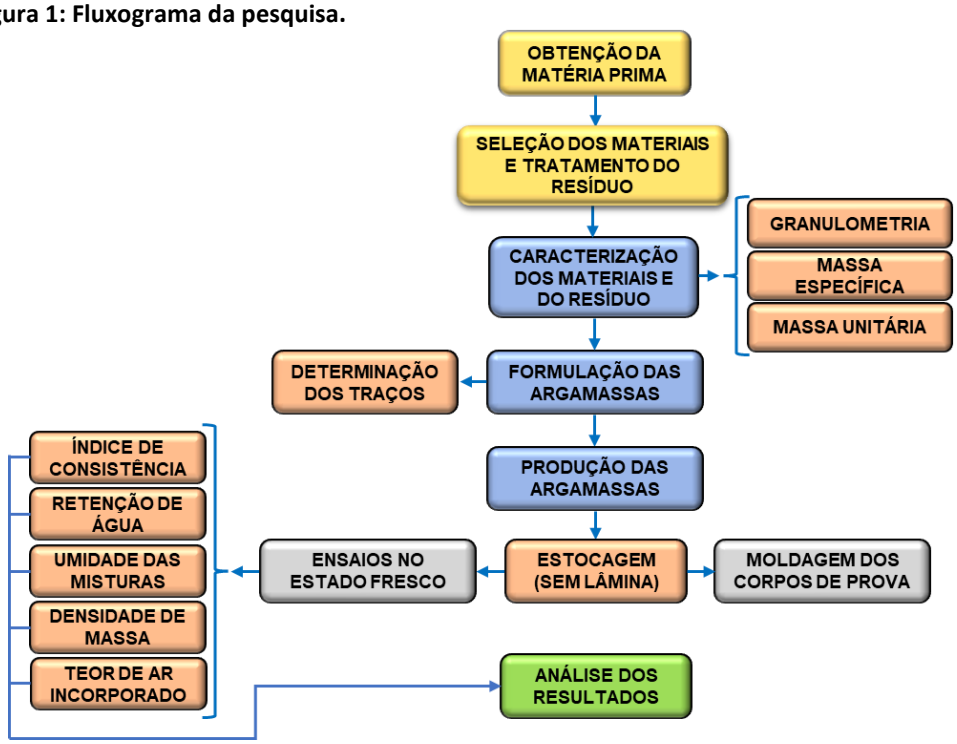
Os agregados utilizados foram a areia natural proveniente de uma jazida localizada na cidade de Alagoinhas - BA e os resíduos do processamento de britagem da Mineradora Pedra do Cavalo da cidade de Governador Mangabeira - BA. A água utilizada passou por processo de destilação no laboratório com o objetivo de eliminar impurezas e

evitar reações indesejadas que comprometam os comportamentos dos materiais contidos nas argamassas.

MÉTODOS

A metodologia empregada na elaboração desse trabalho é de natureza experimental, apresentada na Figura 1; nela é abordado o delineamento da pesquisa que se dividiu principalmente em: obtenção da matéria prima, seleção dos materiais e tratamento dos resíduos, ensaios de caracterização dos materiais e do resíduo, formulação das argamassas através de referências de estudos anteriores e adaptações por meio de testes no laboratório, produção da argamassa e ensaios para avaliação das propriedades no estado fresco.

Figura 1: Fluxograma da pesquisa.



Fonte: Autores.

O resíduo de britagem utilizado passou por tratamentos antes de ser utilizado na mistura, com secagem e peneiramento. A secagem ocorreu inicialmente ao ar e em seguida utilizando a estufa por 24h com temperatura constante de 105±5 °C; os grãos do resíduo utilizados passaram por peneiramento para que fossem selecionados apenas os passantes na peneira de 0,42 mm a fim de eliminar pedriscos e demais materiais indesejáveis presentes na composição. Após esse processo, o resíduo passou a ser tratado como areia de britagem (AB).

A caracterização dos agregados ocorreu por meio dos ensaios de granulometria conforme a NBR NM 248:2001 [8], massa específica conforme a NBR NM 23:2000 [9] e NBR NM 52:2009 [10], massa unitária conforme a NBR NM 45:2006 [11] e teor de material pulverulento usando o método de lavagem constante na NBR 16973:2021 [12]. Além disso, consultou-se o manual de instruções dos aditivos para a coleta de sua densidade e teores recomendados para a produção de argamassas.

Os resultados da caracterização dos materiais utilizados na produção das argamassas estabilizadas estão apresentados na Tabela 1, a qual contém parâmetros como a massa específica dos materiais utilizados, massas unitárias e diâmetros médios característicos dos agregados e seus módulos de finura.

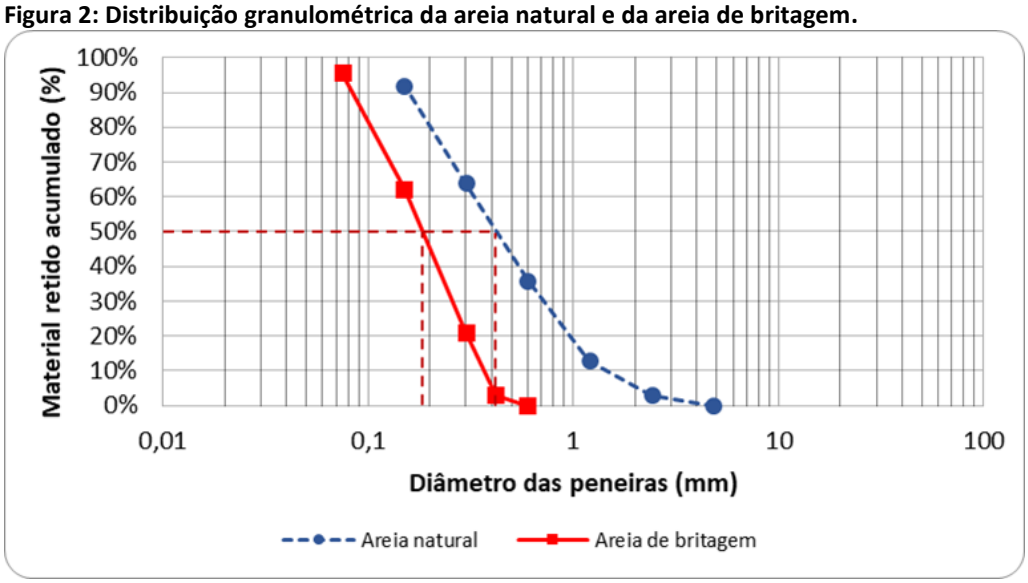
Tabela 1: Caracterização dos materiais.

Material	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)	Diâmetro médio D50 (mm)	Módulo de finura	Teor de material pulverulento (%)
Cimento	3,15	-	-	-	-
Areia Natural	2,62	1,59	0,43	2,08	2,19 ± 0,15
Areia de Britagem	2,73	1,43	0,19	0,86	12,42 ± 0,37
Aditivo Incorporador de Ar	1,00	-	-	-	-
Aditivo Estabilizador de Hidratação	1,17	-	-	-	-
Água	1,00	-	-	-	-

Fonte: Autores.

A seguir, na Figura 2, observa-se as curvas granulométricas da AN e da AB utilizados nas misturas. A partir dos resultados é possível observar que a AN tem o menor diâmetro médio e, consequentemente, um menor módulo de finura. Espera-se que a granulometria mais fina da AB permita que os vazios deixados pelos grãos maiores da AN sejam ocupados pelos grãos menores da AB, resultando em uma maior compacidade da mistura.

Figura 2: Distribuição granulométrica da areia natural e da areia de britagem.



Fonte: Autores.

Para avaliar as propriedades no estado fresco da argamassa estabilizada para revestimento de paredes e tetos baseou-se nos requisitos informativos e métodos de ensaios especificados na NBR 13281-1:2023 [13]. Essa norma abrange aspectos relacionados à retenção de água (NBR 13277:2005) [14], densidade de massa e teor de ar incorporado (NBR 13278:2005) [15] e também foram utilizados os procedimentos da NBR 13276:2016 [16] para determinação do índice de consistência, avaliando assim o espalhamento e trabalhabilidade das argamassas estudadas.

FORMULAÇÃO, PRODUÇÃO E ESTOCAGEM DA ARGAMASSA ESTABILIZADA

Os traços testados para a argamassa estabilizada foram baseados na média entre os traços das principais centrais dosadoras da região Sul do Brasil realizado por Guindani [1]. Nesse estudo, obteve-se aproximadamente o traço 1:6:0,9 (cimento, areia e água/cimento), sendo que os percentuais dos aditivos foram testados e adaptados, bem como a relação água/cimento para corresponder às características dos agregados e aglomerante encontrados na região de Cruz das Almas-BA e ao tempo de estabilização desejado.

O resultado da formulação das argamassas está apresentado na Tabela 2. Observa-se que para a obtenção da estabilização de 72 horas da argamassa foi necessário utilizar um maior teor de aditivo incorporador de ar (AIAR) e de aditivo estabilizador de hidratação (AEH), bem como uma maior quantidade de água na mistura, em relação ao tempo de estabilização de 36 horas.

Tabela 2: Traços definidos para diferentes tempos de estabilização da argamassa para revestimento de paredes e tetos.

Traço das argamassas estabilizadas para revestimentos de paredes e tetos						
Tempo de estabilização	**Cimento**	**Areia natural (AN)**	**Areia de britagem (AB)**	**AIAR**	**AEH**	**a/c**
36h	1	6	0%, 5%, 10% ou 15%	0,25%	0,45%	1,0
72h	1	6	0%, 5%, 10% ou 15%	0,30%	0,75%	1,2

Fonte: Autores.

A mistura foi realizada num misturador de argamassa (argamassadeira eletromecânica) após a obtenção do consumo de materiais em massa para a substituição parcial (percentual de AB sob a massa de AN) conforme a Equação 1, para os traços indicados na Tabela 2.

$$cc[g] = \frac{Volume\ [cm^3]}{\frac{1}{\gamma_C\left[\frac{g}{cm^3}\right]} + \frac{AN - (AB \times AN)}{\gamma_{AN}\left[\frac{g}{cm^3}\right]} + \frac{AB \times AN}{\gamma_{AB}\left[\frac{g}{cm^3}\right]} + \frac{AIAR}{\gamma_{AIAR}\left[\frac{g}{cm^3}\right]} + \frac{AEH}{\gamma_{AEH}\left[\frac{g}{cm^3}\right]} + \frac{a}{c}} \quad (1)$$

Sendo cc o consumo de cimento para 1 cm³ e γ a massa específica de cada material utilizado na mistura, as massas de cada material incorporado da mistura das argamassas estabilizadas está representada a seguir na Tabela 3.

Tabela 3: Consumo de materiais para a produção de cada traço de argamassa estabilizada.

Consumo em gramas (g) de materiais para a produção das argamassas estabilizadas							
Traço	**Tempo de estabilização**	**Cimento**	**AN**	**AB**	**AIAR**	**AEH**	**Água**
***REF-36h**	36h	255,02	1530,10	0,00	0,64	1,15	255,02
T36-5%		255,34	1455,45	76,60	0,64	1,15	255,34
T36-10%		255,67	1380,61	153,40	0,64	1,15	255,67
T36-15%		256,00	1305,58	230,40	0,64	1,15	256,00
***REF-72h**	72h	241,45	1448,70	0,00	0,72	1,81	289,74
T72-5%		241,74	1377,93	72,52	0,73	1,81	290,09
T72-10%		242,03	1306,99	145,22	0,73	1,82	290,44
T72-15%		242,33	1235,87	218,10	0,73	1,82	290,79

Fonte: Autores.

Obtido o consumo de cada material, estes são pesados e misturados seguindo o mesmo procedimento que Guindani [1]:

1. Acrescentar 90% da água;
2. Acrescentar o cimento e misturar por 30 s em velocidade baixa;
3. Acrescentar a areia e misturar por 30 s em velocidade baixa;
4. Pausa de 1 min para remover o material aderido nas paredes do recipiente;
5. Acrescentar o AIA junto com 5% da água e misturar por 30 s em velocidade baixa;
6. Acrescentar o AEH junto com 5% da água e misturar por 1 min em velocidade alta;
7. Pausa de 30 s para homogeneização manual;
8. Finalizar com 30 s de mistura em velocidade alta.

Após a mistura, a argamassa foi armazenada sem lâmina de água em um recipiente plástico fechado, com tampa, até completar o seu tempo de estabilização, quando poderá ser avaliada.

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

O ensaio para determinar o índice de consistência das argamassas foi executado conforme os procedimentos descritos na NBR 13276:2016 [16], com utilização da mesa de consistência (*flow table*).

Esse ensaio foi realizado em três tempos de estabilização: i) assim que a argamassa foi misturada; ii) na metade do seu tempo de estabilização (para a argamassa de 36h de estabilização foi realizado 18h depois de armazenado e para a argamassa de 72h em 36h após o armazenamento); iii) no tempo total de estabilização (36h e 72h). A escolha de medir em três tempos foi para entender o comportamento do espalhamento e o ganho gradual e consistência das argamassas durante seu período de estabilização.

DETERMINAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA

Para a obtenção da retenção de água e fator água/argamassa fresca na argamassa foi utilizada a metodologia contida na NBR 13277:2005 [14], sendo realizada no final do seu tempo de estabilização, para avaliar a capacidade da argamassa em manter a água necessária para a hidratação completa do cimento e garantir a trabalhabilidade adequada durante a aplicação.

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DAS MISTURAS

Para complementar as informações do ensaio de retenção de água, foi utilizada a NBR 9939:2011 [17] como referência para a obtenção do teor de umidade na argamassa. Esse parâmetro foi determinado utilizando a estufa até que a massa seca permanecesse constante na balança de precisão de 0,1 g.

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO

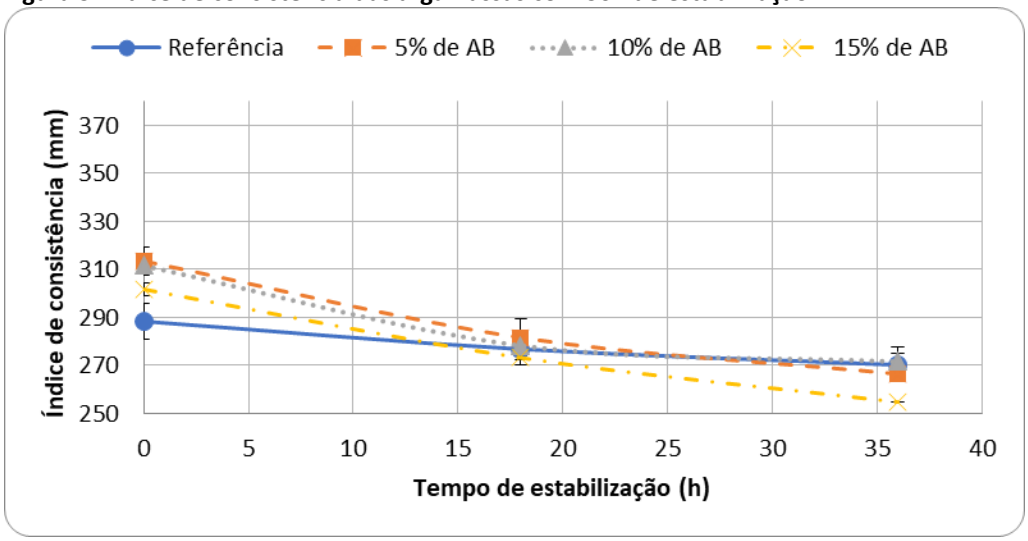
A densidade de massa no estado fresco e o teor de ar incorporado em cada traço foram obtidos utilizando os requisitos da NBR 13278:2005 [15]. Assim como na determinação do índice de consistência, esses dados foram coletados três vezes: Após a mistura, na metade do tempo de estabilização e, por último, no final do tempo de estabilização.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

O índice de consistência das argamassas de 36h de estabilização, ao final do seu tempo de estabilização, variou entre 255±5 e 270±5 mm. O comportamento dos espalhamentos durante o estado fresco da argamassa estabilizada por 36h pode ser observado na Figura 3.

Figura 3: Índice de consistência das argamassas com 36h de estabilização.

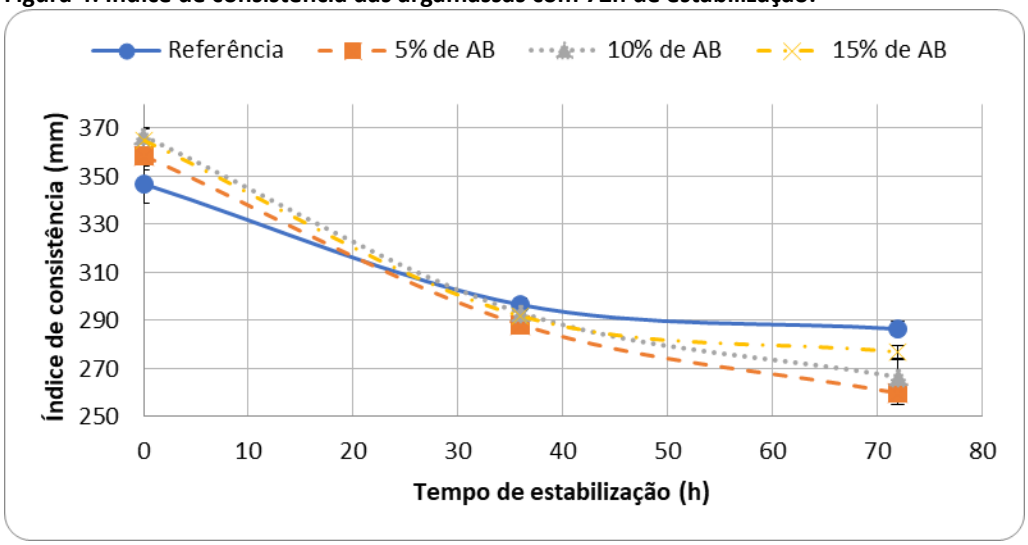


Fonte: Autores.

Já para a argamassa de 72h de estabilização, o espalhamento variou de 260±5 até 285±5 mm, desse modo, é possível identificar que esta mostrou-se mais fluida comparada à argamassa de 36h de estabilização. Isso pode ser justificado devido à maior quantidade de água e de aditivos incorporados a essa mistura (ver Tabela 2).

Na Figura 4 pode-se visualizar o comportamento da consistência das argamassas com diferentes teores de AB para o período de 72h de estabilização.

Figura 4: Índice de consistência das argamassas com 72h de estabilização.



Fonte: Autores.

Em ambos os comportamentos, observa-se que no início da estabilização as argamassas com incorporação de AB têm maior espalhamento na *flow table*, o que resulta na menor consistência. Já ao longo da estabilização percebe-se que o comportamento dos traços muda, o traço de referência não alcança o mesmo ganho de consistência que os demais traços e é identificado que no final do tempo de estabilização, as argamassas com a substituição de teores de AN por AB ganham progressivamente mais consistência, tornando-se mais plásticas, o que as levam a se espalhar com maior dificuldade.

Como justificativa para esse comportamento, Kazmierczak et al. [18] associa à separação de fases que ocorre na mistura; em sua pesquisa, foi visualizado que, durante o ensaio, os sólidos se concentram mais na região central, enquanto a água migra para as bordas, prejudicando a movimentação das partículas para que possam deslizar com mais facilidade e permitir um espalhamento regular na mesa de consistência.

Analisando a forma dos grãos de areia de britagem, Goldoni et al. [19] identificou que devido ao processo de fragmentação sofrido, os grãos de AB têm mais faces (aumento da área superficial), necessitando de mais água para o umedecimento total. Essa característica pode também justificar o comportamento da argamassa com incorporação de AB a partir da determinação da consistência na *flow table*, devido ao fato dos grãos da AB absorverem mais água na mistura, dificultando que haja água entre os grãos e possibilite o deslizamento entre eles, desfavorecendo o espalhamento.

Ainda, no que compete a finura dos grãos, a AB possui um diâmetro médio característico menor que a AN e um menor módulo de finura (ver Tabela 1), o que impacta diretamente na produção da argamassa porque grãos menores possuem área superficial maior, resultando na demanda maior de água para revestir as partículas e proporcionar a trabalhabilidade desejada para a argamassa, facilitando sua aplicação e acabamento [20].

Por outro lado, a AN, com suas partículas maiores, necessita de um menor consumo de água para alcançar a mesma consistência, o que pode influenciar na trabalhabilidade e nas condições físicas dos traços de referência, como apontado por Oliveira [7], que observou que o índice de absorção de água nas argamassas com agregado natural é menor.

Outra característica observada é que, para os traços formulados para 36h de estabilização, conforme os teores de AB aumentaram, a consistência da argamassa também aumentou progressivamente. No entanto, as argamassas com 72h de estabilização e incorporação de AB não apresentaram o mesmo comportamento; os traços com MENOR teor de AB incorporada exibiram maior consistência do que os traços com MAIOR teor de AB. Uma justificativa para isso seria que o aumento do teor de aditivos e de água nos traços para manter o estado fresco por 72h, resulta nessa anomalia no comportamento fazendo com que não haja uma tendência similar de comportamento entre os traços produzidos para os dois tempos de estabilização analisados nessa pesquisa.

DETERMINAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA E UMIDADE DAS ARGAMASSAS

Tem-se na Tabela 4 os resultados da avaliação quanto às propriedades provenientes da interação água-argamassa nas misturas, com dados relacionados à hidratação das argamassas através do fator água/argamassa fresca, retenção de água e teor de umidade.

Tabela 4: Propriedades provenientes da interação água-argamassa para os traços de 36 e 72h de estabilização com incorporação de diferentes teores de areia de britagem (AB).

Propriedade	Argamassa de 36h de estabilização				Argamassa de 72h de estabilização			
Teores de AB	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**	**0%**	**5%**	**10%**	**15%**
Fator água/argamassa fresca	0,13	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15
Retenção de água (%)	92,50	95,57	93,77	96,02	93,65	91,94	95,57	93,73
Teor de umidade (%)	15,34	13,64	14,56	14,80	16,49	16,85	16,86	17,13

Fonte: Autores.

Nos traços estudados, observou-se que a relação água/argamassa fresca é menor nas argamassas com 36h de estabilização em comparação com aquelas com 72h. Isso justifica o teor de umidade mais elevado nas argamassas de 72h de estabilização, uma vez que estas possuem mais água incorporada na mistura como pode ser visualizado na Tabela 3.

Em relação a retenção de água, todas as argamassas se encaixaram na classe U3, de acordo com a NBR 13271-1 [13], apresentando valores maiores que 90%. Os resultados indicaram que essa propriedade não apresentou nenhuma tendência, nem variações significativas entre os valores coletados, tendo eles uma média de 94,09 ± 1,49 %. Esse baixo desvio padrão de 1,49% comprova que assim como observado por Tristão [21], não é possível estabelecer qualquer correlação entre as retenções obtidas por não existir um comportamento específico, nem diferenças significativas.

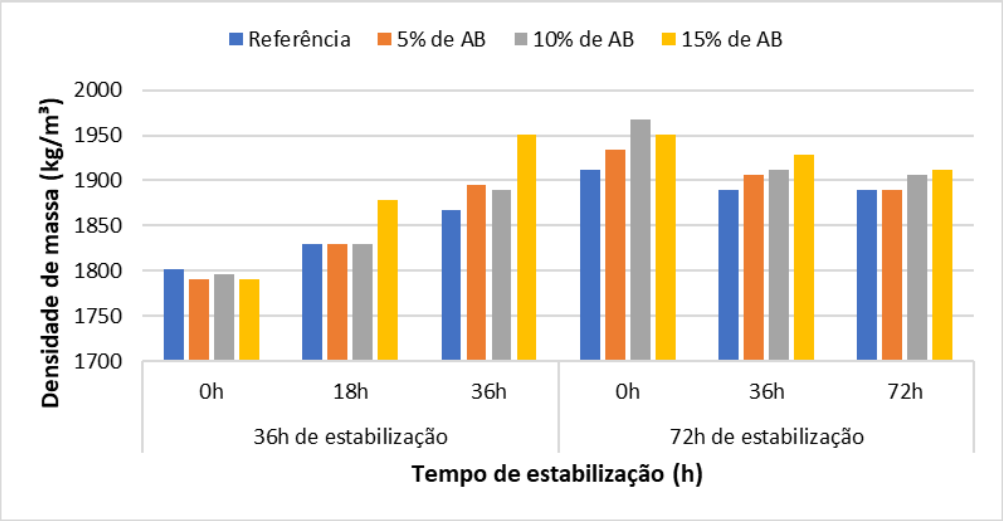
Para as argamassas estabilizadas com incorporação de AB, é possível visualizar que os traços com 15% de AB apresentaram, tanto para o tempo de estabilização de 36h quanto para 72h, um maior percentual de retenção em comparação com os traços de 5%, assim como foi constatado por Pimentel et al. [22] que observou que à medida que se aumenta a porcentagem de substituição do agregado natural pelo reciclado há o aumento da capacidade de retenção de água da argamassa fresca.

Já as argamassas contendo 10% de AB, para ambos os tempos de estabilização, apresentaram uma diferença significativa quando comparadas aos traços com 5 e 15%: Para o traço de 36h de estabilização, mostrou-se com menor retenção, enquanto para o traço de 72h, reteve mais. É provável que o tempo mais prolongado de hidratação e maior quantidade de água na mistura tenha colaborado com a maior reorganização das partículas e no alcance de uma melhor compactação, favorecendo a capacidade de retenção de água para o traço com 72h, enquanto a argamassa de 36h de estabilização com 10% de AB pode ter tido uma distribuição granulométrica que não proporciona uma compactação ideal, resultando numa menor retenção de água.

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO

As densidades de massa de três idades de estabilização das argamassas formuladas para 36h e 72h de estabilização podem ser visualizadas na Figura 5.

Figura 5: Densidades de massa das argamassas com 36h e 72h de estabilização.



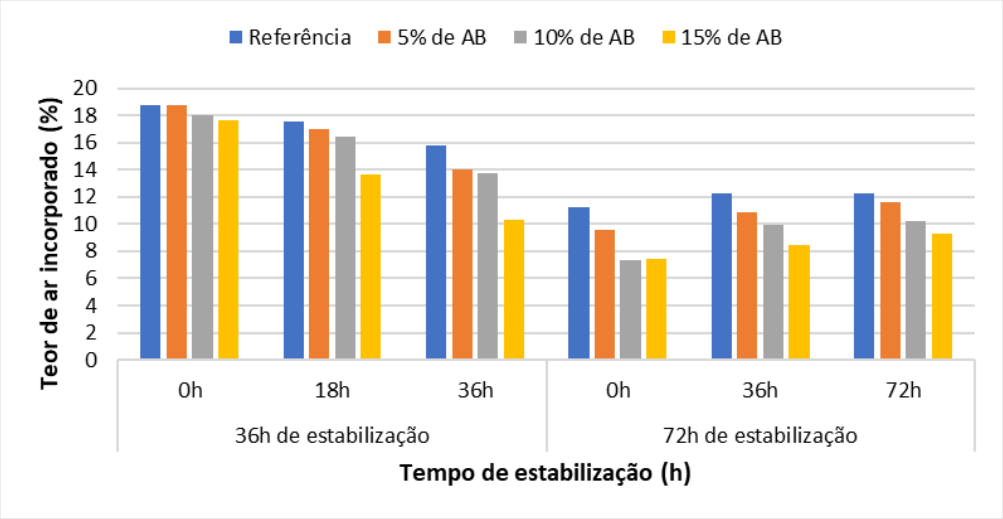
Fonte: Autores.

Analisando a Figura 5, é possível observar que a evolução das densidades de massa nas argamassas durante os tempos de estabilização se apresentou de forma inversamente proporcional na comparação entre os dois tempos de estabilização; enquanto na argamassa de 36h a densidade de massa aumentou progressivamente, esta teve uma pequena diminuição no decorrer da estocagem das argamassas para os traços de 72h.

Em ambos os comportamentos, também é possível identificar que os traços que sofreram substituição parcial da AN pela AB se mostraram mais densos em comparação ao traço de referência, o que já era esperado, sendo justificado pela maior massa específica da AB (2,73 g/cm³) em relação à massa específica da AN (2,62 g/cm³).

Comportamento semelhante ocorreu na avaliação do teor de ar incorporado, como pode ser observado na Figura 6 para as argamassas de 36h e de 72h de estabilização.

Figura 6: Teor de ar incorporado das argamassas com 36h e 72h de estabilização.



Fonte: Autores.

Assim como as densidades de massa, os teores de ar incorporado para os traços produzidos apresentaram comportamentos inversamente proporcionais. Para os traços com período de estabilização de 36h, o comportamento decrescente do teor de ar incorporado é justificado pela indicação de que o ar foi gradualmente liberado, levando à sedimentação das partículas, o que contribuiu para o crescimento da densidade de massa observada, corroborando com a avaliação de Dils et al. [23] que avaliou o impacto da inserção de ar na microestrutura de argamassas de alto desempenho.

Em contraste, os traços de argamassa de 72h de estabilização, formulados com maior relação água/materiais secos, tiveram menores teores de ar incorporado comparado às argamassas de 36h de estabilização, porém o comportamento foi crescente durante o armazenamento da argamassa por consequência da maior quantidade de água e aditivos nesse traço, o que pode ter levado ao leve aumento gradual do teor de ar incorporado, reduzindo assim a densidade final.

Os traços com incorporação de AB tiveram menores teores de ar incorporado, comparado aos traços de referência, esse comportamento se mostrou progressivamente menor conforme aumentados os teores do resíduo em estudo. Segundo especificado por Tokarski et al. [24], o alto teor de ar incorporado contribui com a trabalhabilidade das argamassas, porém permite o aumento da permeabilidade dos revestimentos, devido à porosidade excessiva que por sua vez contribui com o aparecimento de manifestações patológicas nos revestimentos e reduz a resistência mecânica. Ou seja, avaliação de propriedades no estado endurecido se torna essencial para complementar o estudo da utilização de AB na produção de argamassas estabilizadas.

O maior teor de material pulverulento da AB desempenhou um papel importante nas propriedades das argamassas estabilizadas estudadas. A granulometria fina influenciou a interação dos componentes e a evolução das características das misturas ao longo do tempo de estabilização. Esses resultados se explicam pelos grãos mais finos se ajustarem entre os vazios deixados pela água e se acomodarem contribuindo com a diminuição de bolhas de ar incorporado e favorecer a conformidade e impermeabilidade das formulações de argamassa estabilizada.

Desse modo, avaliando as propriedades no estado fresco para os traços de argamassas estudados, espera-se que as argamassas estabilizadas com incorporação da AB tenham melhores desempenhos quanto à impermeabilidade e resista melhor contra o surgimento de manifestações patológicos em revestimentos.

Portanto, a análise dos teores de ar incorporado deve levar em consideração não apenas o tempo de estabilização, mas também a relação água/materiais secos e os teores de aditivos utilizados. A interação desses fatores determina a capacidade da argamassa de reter ar, influenciando diretamente sua densidade e outras propriedades físicas. Dessa forma, um controle rigoroso desses parâmetros é essencial para otimizar o comportamento das argamassas estabilizadas, garantindo que elas atendam às especificações técnicas e aos requisitos esperados para serem usadas em revestimentos de paredes e tetos.

CONCLUSÃO

Esta pesquisa investigou a influência da substituição parcial da areia natural (AN) por areia de britagem (AB) nas propriedades de argamassas estabilizadas para revestimento de paredes e tetos, no estado fresco. Foram avaliadas argamassas estabilizadas produzidas com diferentes teores de resíduos de britagem (0%, 5%, 10% e 15%) e formuladas para os tempos de estabilização de 36 e 72 horas. Os resultados obtidos demonstraram que a substituição de AN por AB tem impactos significativos nas propriedades das argamassas no estado fresco.

No estudo, as argamassas com 72 horas de estabilização apresentaram maior fluidez, enquanto aquelas com 36 horas foram mais consistentes, refletindo a influência dos aditivos e da maior quantidade de água nas misturas. Em relação à retenção de água e teor de umidade, as argamassas estabilizadas por 72 horas apresentaram maior umidade devido à maior relação água/argamassa fresca, assim como os traços com incorporação de AB, enquanto os dados de retenção de água não tiveram variações significativas, nem seguiram uma tendência de comportamento.

Também, foi visualizado que a substituição parcial de AN por AB influenciou positivamente a densidade das argamassas, resultando em traços mais densos comparados aos de referência, devido à maior massa específica da AB. A relevância dessa análise é que através dela, pode-se concluir que a AB é capaz de contribuir para a produção de argamassas mais duráveis para serem usadas em revestimentos.

A avaliação do teor de ar incorporado revelou comportamentos distintos entre os tempos de estabilização. Enquanto as argamassas de 36 horas apresentaram uma diminuição no teor de ar ao longo do tempo, indicando uma liberação gradual de ar, as de 72 horas mostraram um aumento no teor de ar incorporado, devido à maior quantidade de água e aditivos. A incorporação de AB resultou em teores de ar menores, o que é benéfico para a trabalhabilidade e impermeabilidade das argamassas, possibilitando a redução da permeabilidade e diminuindo assim o risco de manifestações patológicas nos revestimentos, o que influencia positivamente na durabilidade das edificações revestidas com essas argamassas.

Dessa forma, a utilização de AB como substituto parcial da AN em argamassas estabilizadas mostrou potencial de ser bem sucedida para a produção de argamassas de alta qualidade, devido à maior consistência e densidade, combinados com o menor teor de ar incorporado. No entanto, é crucial que sejam avaliadas as propriedades no estado endurecido para que seja garantida a máxima eficiência e desempenho da argamassa, considerando as especificidades dos materiais utilizados.

Por fim, esta pesquisa contribui para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na construção civil, promovendo a reutilização de resíduos e a redução do uso de recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo de pesquisa em Valorização de Resíduos na Construção Civil da UFRB (Valora Civil), à FAPESB e PIBIC pelo amparo e fomento nas pesquisas e às empresas Massa Fort Concreto e MC-Bauchemie pelo fornecimento de materiais.

REFERÊNCIAS

[1] GUINDANI, E. N. Argamassa estabilizada para revestimento: avaliação da influência da adição de finos nas propriedades do estado fresco e endurecido. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2018.

[2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211: Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

[3] ABREU, V. S. Avaliação da resistência de concretos com incorporações de pó de pedra e resíduo de construção e demolição (RCD). Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Colegiado do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, RN, 2019.

[4] MACIOSKI, G.; KUSZKOWSKI, H.; COSTA, M. R. M. M.; CASALI, J. M. Avaliação de propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. ISSN 2238-0191. Fortaleza, 2013.

[5] BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M. L. M.; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, Porto Alegre, RS, 2015.

[6] CARASEK, H. Materiais de construção civil e princípios da ciência da engenharia de materiais. 49º Congresso Brasileiro do Concreto (CBC), Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). São Paulo, 2007.

[7] OLIVEIRA, B. T. Uso de resíduos de construção e demolição em argamassas para revestimento de alvenaria. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

[8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

[9] _____. NBR NM 23: Agregado graúdo – Determinação de massa unitária e de massa aparente. Rio de Janeiro, 2000.

[10] _____. NBR NM 52: Agregado graúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

[11] _____. NBR NM 45: Agregado graúdo – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

[12] _____. NBR 16673: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

[13] _____. NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.

[14] _____. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

[15] _____. 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.

[16] _____. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

[17] _____. NBR 9939: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

[18] KAZMIERCZAK, C. de S.; ROSA, M.; ARNOLD, D. C. M. Influência da adição de filler de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. Ambiente Construído, ISSN 1678-8621. Porto Alegre, 2016.

[19] GOLDONI A. G.; PANDOLFO L. M.; GOMES A. P.; FOLLE D.; MARTINS M. S.; PANDOLFO A. Avaliação de um método baseado em análise de imagens para obtenção de parâmetros de forma em grãos de areia de britagem. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. ISSN 1983-4195. Passo Fundo, RS, 2015.

[20] BÔTO, R. F.; COSTA, F. N. Avaliação da perda de consistência da argamassa estabilizada com substituição da areia natural. In: XXVII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, SP, 2023.

[21] TRISTÃO, F. A. Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

[22] PIMENTEL, L. L.; PISSOLATO JUNIOR, O.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; MARTINS, H. L. S. Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas. Revista Matéria, v.23, n.1, Campinas, 2018.

[23] DILS, J.; BOEL, V.; DE SCHUTTER, G. (2015). Impact of Air Entrainment on the Microstructure and Mechanical Performance of High Performance Mortar. Key Engineering Materials, 629-630(358-365), 2014. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.629-630.358

[24] TOKARSKI, R. B. Comportamento das argamassas de revestimento no estado fresco, compostas com areia de britagem de rocha calcária e areia natural. Revista Matéria, v. 23, e-12196, 2018. doi: 10.1590/S1517-707620180003.0530.