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

Propriedades do estado fresco de argamassas estabilizadas com incorporação do Etileno Acetato de Vinila (EVA)

Fresh State Properties of Mortars Stabilized with the Incorporation of Ethylene Vinyl Acetate (EVA)

Letícia Sabrina de Melo Souza
Universidade Federal da Paraíba | João Pessoa | Brasil | leticiassabrina@hotmail.com
Aline Figueiredo da Nóbrega
Universidade Federal de Campina Grande | Campina Grande | Brasil | alinefnobrega@hotmail.com
Fabíola Luana Maia Rocha
Universidade Federal da Paraíba | João Pessoa, PB | Brasil | flmr2@academico.ufpb.br
Maria Eduarda Do Nascimento Souto
Universidade Federal de Campina Grande | Campina Grande | Brasil | eduarda.souto501@gmail.com.
Diego de Paiva Bezerra
Universidade Federal da Paraíba | João Pessoa, PB | Brasil | diegop.bezerra@hotmail.com.
Iranilza Costa da Silva
Universidade Federal de Pernambuco | Recife |Brasil | iranilza.costa@ufpe.br

Resumo

A argamassa convencional, muitas vezes preparada no próprio local da obra, está sujeita a diversas variáveis que podem comprometer sua consistência e desempenho. Fatores como a dosagem inadequada de componentes, mistura insuficiente e tempo de aplicação inconstante são apenas alguns dos problemas que podem surgir. A argamassa estabilizada surge como uma solução crucial para mitigar esses desafios. Produzida em ambiente controlado, ela garante uniformidade na mistura dos materiais, assegurando a qualidade constante do produto final. Além disso, a utilização de materiais alternativos, como resíduos, incorporados nas misturas de argamassas estabilizadas, ganha destaque, pois além de possibilitar a destinação de resíduos, favorece a economia circular e permite estudar as propriedades de materiais sustentáveis, resolvendo a problemática da destinação dos resíduos. Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar as propriedades de misturas de argamassas estabilizadas com substituições do agregado

miúdo pelo resíduo de Etileno Acetato de Vinila (EVA). O programa experimental consistiu em realizar a substituição de 20% em massa de cimento Portland por Metacaulim (MC) e do agregado miúdo por resíduo de Etileno Acetato de Vinila (EVA), em volume, em proporções de 10%, 20% e 30%. As análises das misturas foram realizadas nas condições de estabilização de 0 e 48 horas, sendo as misturas submetidas a ensaios no estado fresco (Flow table, Squeeze flow, densidade de massa fresca e teor de ar incorporado). Os resultados indicaram que o MC reduz a consistência das argamassas no ensaio de consistência e diminui o teor de ar incorporado em 48h de estabilização. Além disso, as misturas com EVA apresentaram no squeeze flow deslocamentos superiores a argamassa referência para uma mesma carga em 0h e 48h de estabilização, indicando melhor trabalhabilidade. As argamassas 20%MC/10%EVA, 20%MC/30%EVA, 20%MC/20%EVA, apresentaram aumento do teor de ar incorporado e diminuição da densidade de massa fresca, quando comparadas à referência.

Palavras-chave: Resíduo Industrial. Etileno Acetato de Vinila. Metacaulim. Sustentabilidade.

Abstract

. Conventional mortar, often prepared on-site, is subject to various variables that can compromise its consistency and performance. Factors such as improper component dosage, insufficient mixing, and inconsistent application time are just a few of the problems that can arise. Stabilized mortar emerges as a crucial solution to mitigate these challenges. Produced in a controlled environment, it ensures uniformity in the mixture of materials, guaranteeing the consistent quality of the final product. Additionally, the use of alternative materials, such as waste incorporated into stabilized mortar mixtures, is noteworthy because, besides providing a destination for waste, it favors the circular economy and allows for the study of sustainable materials properties, addressing the waste disposal issue. Thus, the objective of the research was to evaluate the properties of stabilized mortar mixtures with fine aggregate substitutions by Ethylene Vinyl Acetate (EVA) waste. The experimental program consisted of substituting 20% by mass of Portland cement with Metakaolin (MK) and fine aggregate with Ethylene Vinyl Acetate (EVA) waste, by volume, in proportions of 10%, 20%, and 30%. The analyses of the mixtures were carried out under stabilization conditions of 0 and 48 hours, with the mixtures subjected to tests in the fresh state (Flow table, Squeeze flow, fresh mass density, and incorporated air content). The results indicated that MK reduces the consistency of mortars in the consistency test and decreases the incorporated air content at 48 hours of stabilization. Furthermore, the mixtures with EVA showed higher displacements in the squeeze flow test than the reference mortar for the same load at 0 and 48 hours of stabilization, indicating better workability. The mortars 20%MK/10%EVA, 20%MK/30%EVA, and 20%MK/20%EVA showed an increase in incorporated air content and a decrease in fresh mass density when compared to the reference.

Keywords: Industrial Waste. Ethylene Vinyl Acetate. Metakaolin. Sustainability.

INTRODUÇÃO

A produção em grande escala de resíduos industriais representa um dos maiores desafios ambientais da sociedade contemporânea. Esses resíduos, muitas vezes descartados de forma inadequada, contribuem significativamente para a poluição do solo, da água e do ar, além de ocupar vastas áreas de aterros sanitários. No entanto, uma abordagem inovadora vem ganhando destaque no setor da construção civil: a incorporação desses resíduos em misturas de argamassas. Esta prática não apenas promove uma destinação mais sustentável dos resíduos industriais, mas também contribui para a economia circular, reduzindo a extração de matérias-primas naturais e mitigando o impacto ambiental da construção [1] [16][14].

Além disso, na Construção Civil, a industrialização crescente traz anualmente novos produtos

para melhorar a cadeia produtiva, desde a produção de insumos até os processos de execução. Um desses produtos é a argamassa estabilizada, que facilita a ligação entre o processo produtivo das empresas e o fornecimento do insumo pronto para uso. Composta por cimento Portland, agregados miúdos, aditivos e, às vezes, cal hidratada, essa argamassa tem uma utilização prolongada, geralmente de 24 a 72 horas. Os aditivos químicos são responsáveis por preservar sua trabalhabilidade, retardando o início de pega e incorporando ar ao material [30].

No entanto, estudos sobre materiais leves na argamassa estabilizada são menos comuns, com pouca literatura disponível, como o de Silva [27] que introduziu o EVA nas misturas. O EVA pode ser encontrado muitas vezes na forma de resíduo, nesse contexto sua utilização poderá amenizar os problemas causados pela falta de políticas no processo de destinação desse material.

O EVA, reconhecido como um agregado leve, devido à sua baixa massa específica, traz benefícios como estabilidade, inércia e resiliência, destacados em várias pesquisas sobre argamassas e concretos. Esses estudos apontam um aumento significativo do teor de ar incorporado, com uma redução na resistência à tração e à compressão [14][24]. Além disso, a substituição do EVA proporciona uma perda de resistência mecânica da argamassa [27][16][14] , por isso utilizou-se o metacaulim por proporcionar melhorias na resistência mecânica e também por ser o mais comumente utilizado nessas argamassas [23][28]

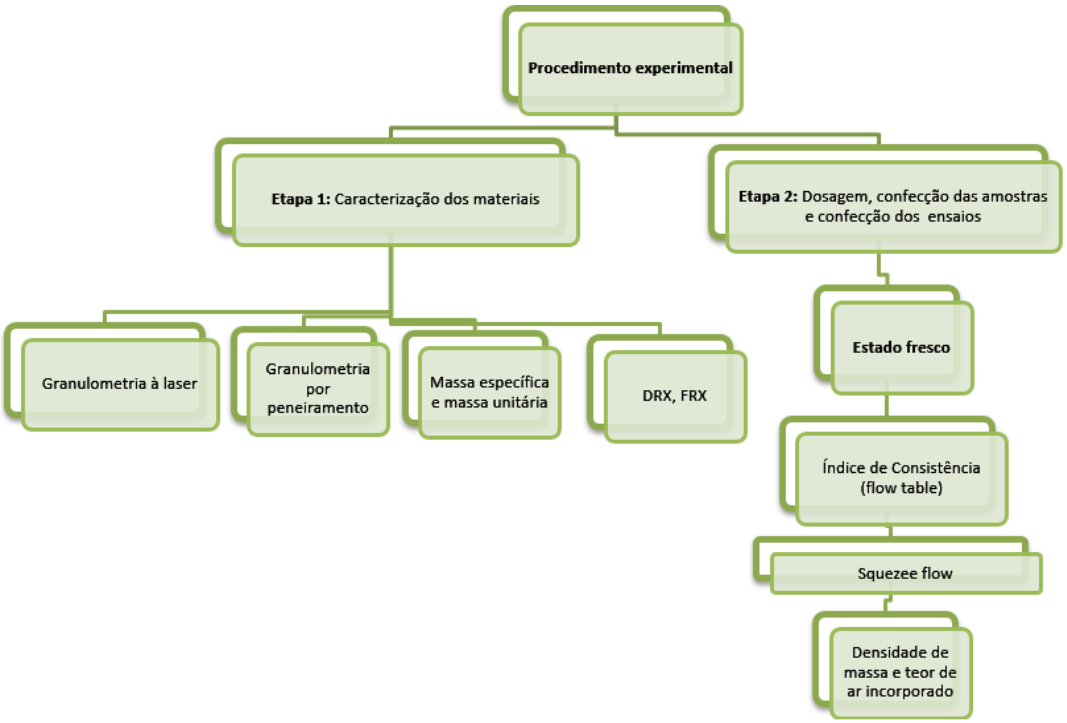
Nessa perspectiva, a presente pesquisa se propôs a investigar o comportamento de argamassas estabilizadas contendo MC e EVA (resíduo da indústria calçadista), buscando compreender os aspectos técnicos associado a essa combinação de materiais na argamassa estabilizada, de grande importância, como destacado por [17].

O estudo aborda lacunas na literatura e visa contribuir para o desenvolvimento de soluções sustentáveis na construção civil. Pois a incorporação de resíduos industriais em misturas de argamassas representa uma solução promissora para os desafios ambientais contemporâneos. Ao transformar passivos ambientais em recursos valiosos, essa prática promove a sustentabilidade. A construção civil, ao adotar essa abordagem, não só contribui para a economia circular, mas também demonstra um compromisso com a inovação e a responsabilidade ambiental, pavimentando o caminho para um futuro mais sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma da Figura 1 apresenta um resumo das etapas de trabalho propostas nesta pesquisa.

Figura 1: Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Autor, 2024.

MATERIAIS

O programa experimental partiu dos materiais apresentados no quadro 1.

Quadro 1: Materiais utilizados nas argamassas estabilizadas.

Materiais	**Descrição**
Cimento Portland	CP V - ARI
Agregado miúdo	Areia natural de rio
Resíduo calçadista (EVA)	Material triturado doado pela empresa calçadista
Metacaulim Comercial (MC)	Metacaulim BZ (MK)
Aditivo Incorporador de Ar (AIA)	TEC-NOL da marca GCP Applied Technologies.
Aditivo Estabilizador de hidratação (AEH)	ECO-TEC da marca GCP Applied Technologies.
Água	Concessionária local

Fonte: Autor, 2024.

As misturas produzidas são compostas por cimento Portland (CP-V-ARI), areia natural, metacaulim (MC), EVA (resíduos de calçados), água e os aditivos incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH). Para a produção das argamassas, a areia foi colocada em estufa por 24 horas em temperatura de 100 °C, seguido de seu peneiramento, utilizando a peneira 4,8 mm. O EVA (Figura 2) foi colocado na mistura sem nenhuma umidade inicial (seco previamente em estufa em baixa temperatura de 50 ºC por 24 horas.

Figura 2: EVA utilizado nas argamassas estabilizadas.



Fonte: Autor, 2024.

O cimento CP-V-ARI foi selecionado devido aos menores teores de adições. Além disso, o EVA retarda as reações de hidratação, conforme Silva, Roman e Gleize [29], exigindo um período de cura mais longo para as argamassas. Portanto, para agilizar o tempo de desforma e liberação dos serviços em aplicações práticas, optou-se por esse tipo de cimento.

MÉTODOS

- Caracterização física

Os materiais foram caracterizados quanto aos seus aspectos físicos e químicos. As características físicas dos materiais utilizados são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Massa unitária e massa específica dos materiais

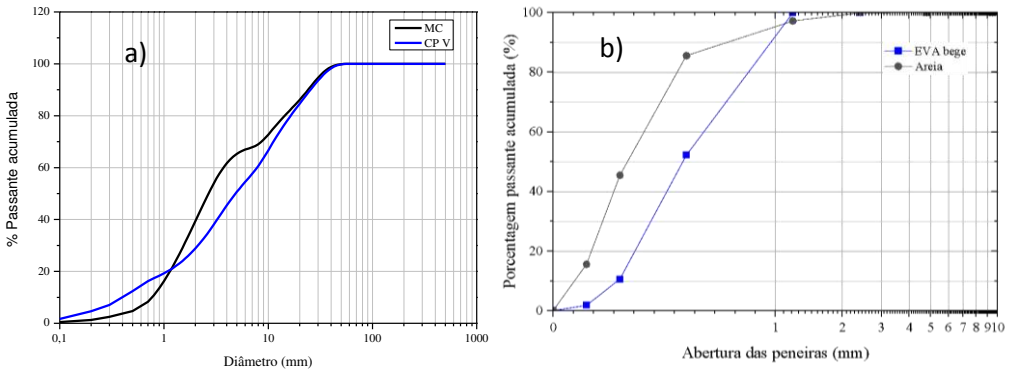
Material	**Massa unitária (g/cm³)**	**Massa específica (g/cm³)**
Cimento portland Tipo CP V- ARI	0,916	2,92
Areia	1,66	2,63
Resíduo calçadista (EVA)	0,28	1,28
Metacaulim Comercial (MC)	0,48	2,55
Aditivo Estabilizador de Hidratação (AEH)	-	1,14
Aditivo Incorporador de Ar (AIA)	-	1,1

Fonte: Autor, 2024.

A massa unitária do cimento, MC e EVA foram determinados por meio da norma NBR 16972 [4]. As massas específicas do cimento, MC e EVA foram obtidas por meio do ensaio prescrito na NBR 16605 [3]. A massa específica da areia foi obtida conforme a norma NBR 16916 [5], e a massa unitária foi determinada seguindo a norma NBR 16972 [4]. As massas específicas dos aditivos foram obtidas no site da fabricante, GCP Applied Technologies.

As distribuições granulométricas do CP-V- ARI e MC podem ser observadas na Figura 3 (a), obtida pelo método de difração a laser através de um analisador granulométrico a laser seco CILAS 1090, medindo a distribuição do material em um tamanho faixa entre 0,05 µm e 500 µm. A granulometria do EVA e da areia foi determinada conforme a NBR 17054 [7] e são apresentados na Figura 3 (b).

Figura 3: Curvas granulométricas- a) Cimento e MC. B) Areia e EVA



Fonte: Autor, 2024.

As curvas de distribuição granulométrica de CP V-ARI e MC na Figura 3 (a) mostram que suas partículas têm tamanho máximo de cerca de 50 µm. Cerca de 70% das partículas no CP-V-ARI têm diâmetro inferior a 10,1 µm, enquanto no MC, cerca de 70% têm diâmetro inferior a 8,5 µm. Notavelmente, o MC tem grãos menores do que o CP-V-ARI, o que pode contribuir para o efeito fíller. Na Figura 3 (b), o diâmetro máximo da areia é de 1,2 mm, com um módulo de finura de 1,57. Para o EVA, o diâmetro máximo dos grãos é 1,2 mm, com um módulo de finura de 2,35.

- Caracterização química

Para a análise da composição química dos materiais foram feitos ensaios de fluorescência de Raios-x (FRX) para o Cimento CP-V e o MC. As amostras analisadas nos ensaios consistiam em 5g do material passante na peneira #200 (Tyler/Mesh). As composições químicas do CP-V e do metacaulim são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3: Composição química por fluorescência de raios-x (FRX) (% em massa) do CP-V e do MC.

Material/ composição química	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	CaO	TiO_2	BaO	SO_3	MnO	Cr_2O	Outros	Perda ao fogo
CP-V ARI	18,97	6,2	-	3,38	-	51,8	-	-	5,16	-	-	14,47	8,64
MC	62,55	19,2	8,40	-	2,21	0,61	1,79	0,36	0,34	0,12	0,042	0,30	6,10

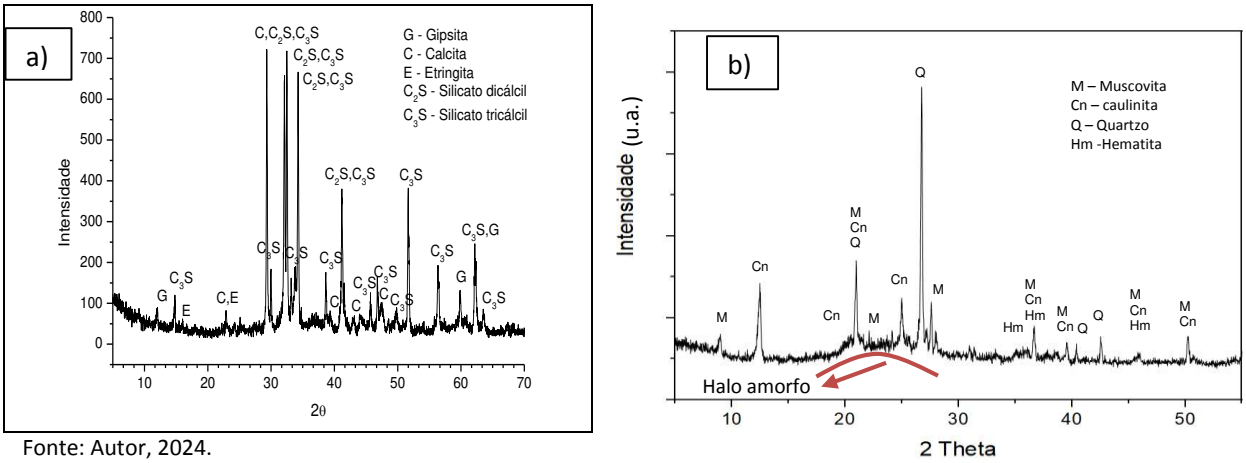
Fonte: Autor, 2024.

Ao observar os resultados da análise química (Tabela 3), percebe-se que o CP-V-ARI está dentro dos limites especificados na norma NBR 16697 [6], exceto pela perda ao fogo de 8,64% de massa encontrada no FRX que é superior ao limite recomendado de 6,5% pela norma, indicando uma perda de massa considerável quando submetido a altas temperaturas. Quanto ao MC, conforme NBR 12.653 [8], ele é classificado como material pozolânico de classe N, pois os percentuais de $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 79,09\% \geq 70\%$. Já a perda ao fogo, conforme NBR 15894-1 [9], ultrapassa o limite de 4,0%, isso indica que uma quantidade superior de massa é perdida quanto o MC é aquecido a altas temperaturas.

- Caracterização mineralógica

A análise mineralógica foi realizada utilizando testes de Difração de Raios X (DRX) para Cimento Portland V - ARI e MC. O teste de DRX utilizou um difratômetro Siemens D5000 sob as seguintes condições de ensaio: radiação CuKα, com comprimento de onda λ = 1.5418 com raios-x em 30 kv e 30 mA; velocidade de leitura de 1º/min. Os resultados são apresentados na Figura 4.

Figura 4: a) Resultado do DRX para o CP V. b) Resultado do DRX para o MC.



Fonte: Autor, 2024.

A análise DRX padrão de CP-V-ARI identificou picos com maior intensidade correspondentes a silicato tricálcico (C3S), silicato dicálcico (C2S) e picos menos intensos de Gipsita (CaSO4. 2H2O), Calcita (CaCO3) e Etringita (Ca6Al2(SO4)3(OH)12 · 26H2O). Para MC, o gráfico (Figura 4b) revela que apresenta uma região cristalina, com picos correspondentes a muscovita (M), caulinita (Cn), quartzo (Q) e hematita (Hm). O quartzo indica a presença de areia. A caulinita indica que a calcinação não foi suficiente. A hematita tem alto teor de óxido de ferro. Ocorre um halo amorfo entre 20 e 30 (2 theta), apesar de ser discreto, é comum em material pozolânico.

PREPARAÇÃO DA ARGAMASSA

A preparação das amostras de argamassa incluiu uma mistura de referência (sem aditivos) e outras contendo uma substituição fixa de metacaulim (MC) a 20% em massa do aglomerante. As argamassas com EVA foram preparadas com substituições de 10%, 20%, 30%, em volume, da areia pelo EVA. Como o EVA é um material mais volumoso que a areia, ele precisou ser adicionado de acordo com seu peso específico, considerando o volume. Todos os materiais tiveram suas quantidades convertidas em massa para a preparação da argamassa em laboratório.

A proporção da mistura de referência utilizada neste estudo foi de 1:3 (aglomerante: areia) em volume, que se converteu em massa como 1:5,44 (aglomerante: areia). Foi utilizado 0,06% de aditivo incorporador de ar e 0,98% de aditivo estabilizador de hidratação em massa do aglomerante. Os teores de aditivos foram obtidos por meio de estudos preliminares dos teores utilizados por Paulino (2020) da concreteira local SUPERMIX CONCRETO SA, que comercializa esse produto na cidade de Campina Grande-PB. O traço de referência foi obtido após ajustes por meio de estudo piloto, baseado no traço sugerido por Silva [27].

A Tabela 4 apresenta as misturas analisadas neste trabalho com suas siglas de referência.

O volume de argamassa produzido com os materiais foi de aproximadamente 3.000 cm³.

Tabela 4: Identificação e quantidade de materiais nas misturas analisadas.

Argamassas*	MC (%)	EVA (%)	CP-V (g)	Areia (g)	MC (g)	EVA (g)	AIA (g)	AEH (g)	A/AGL.	Água (g)
Referência(REF)	0	0	700	3808,00	-	-	0,42	6,86	0,90	630
20%MC/0%EVA	20	0	560	3808,00	140	-	0,42	6,86	0,90	630
20%MC/10%EVA	20	10	560	3425,11	140	63,27	0,42	6,86	0,90	630
20%MC/20%EVA	20	20	560	3044,54	140	126,55	0,42	6,86	0,90	630
20%MC/30%EVA	20	30	560	2663,97	140	189,83	0,42	6,86	0,90	630

Nota: * A coluna 1 apresenta a nomenclatura adotada para as argamassas neste trabalho.
Fonte: Autor, 2024.

A relação água/cimento (relação A/C) foi fixada em 0,9 para proporcionar boa trabalhabilidade à mistura de referência, com índice de consistência inicial de 275 ± 5 mm (ensaio feito de acordo com a NBR 13276 ([12], estabelecido no momento da mistura inicial, para que após as 48h de estabilização a argamassa de referência pudesse manter seu índice de consistência dentro do mínimo sugerido na norma NBR 16541 [11] que é 260 ± 5 mm.

O procedimento de mistura da argamassa foi realizado conforme NBR 16.541 [11]. As misturas foram armazenadas em recipientes de PVC, protegidos da luz solar e do vento, com camada de água de 3 cm para estabilização. Após 48 horas foi feita uma mistura para homogeneização em argamassadeira por 30s antes dos ensaios.

Foram realizadas as avaliações de todas as misturas no seu estado fresco. As propriedades avaliadas no estado fresco são: índice de consistência foi avaliado segundo o ensaio da mesa de consistência ou “flow table” conforme NBR 13276 [12], densidade de massa e teor de ar incorporado segundo a NBR 13278 [2] e a caracterização reológica pelo método squeeze-flow NBR 15839 [10].

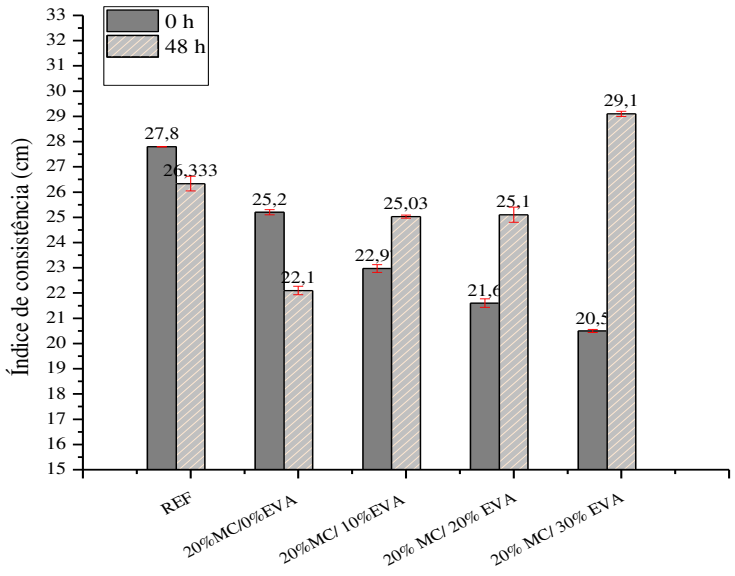
RESULTADOS

ESTADO FRESCO

- Índice de Consistência

A Figura 5 apresenta os índices de consistências das misturas na mesa de consistência.

Figura 5: Indice de consistência das argamassas com EVA.



Fonte: Autor, 2024.

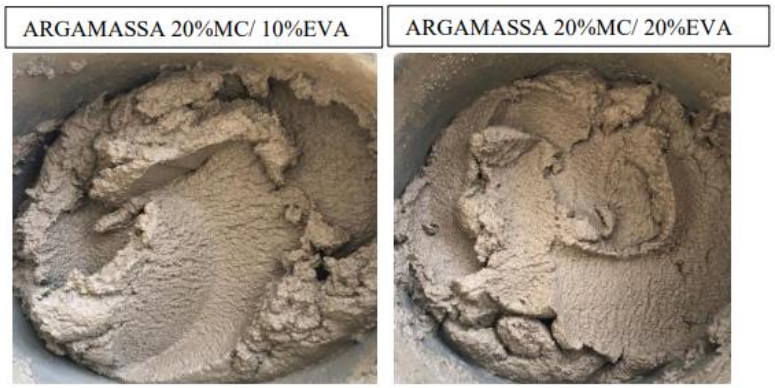
A análise da Figura 5 mostra a diminuição do índice de consistência das misturas REF e 20%MC/0%EVA com o aumento do tempo de estabilização. A argamassa de referência teve uma redução de 5,29% no índice de consistência em 48h, comparado à 0h. Já a argamassa 20%MC/0%EVA apresentou uma redução de 12,30% no mesmo tempo. Isso pode ser causado por um melhor arranjo das partículas, reduzindo o ar incorporado na argamassa, conforme verificado por Silva e Azerêdo [28].

A mistura com metacaulim apresentou menor índice de consistência em relação à mistura de referência para todos os tempos de estabilização. Isto pode ser explicado pela granulometria mais fina do MC que facilita a redução do ar incorporado e absorve mais água de amassamento, como observado também por outros autores [28] [23] [18][15].

É possível observar na Figura 5, que houve uma diminuição do índice de consistência de todas as misturas contendo EVA em relação à mistura de referência e a mistura de 20% de MC em 0h. Para as argamassas com incorporação do EVA, com relação à referência, essa redução foi de 17,37%, 22,30% e 26,26% para as substituições de 10%, 20% e 30% de EVA, respectivamente. Já com relação a mistura com 20%MC/0%EVA essa redução foi de 8,85%, 14,29% e 19,61% para as substituições de 10%, 20% e 30% de EVA, respectivamente.

As argamassas reduziram seu índice de consistência com o aumento do teor de EVA para 0 h de estabilização, porém apresentaram uma aparência trabalhável, como pode-se observar na análise visual da Figura 6 para a argamassa contendo 10% e 20% de EVA, e confirmado pelos ensaios de Squeeze flow apresentado na seção posterior.

Figura 6: Consistência em 0 h das argamassas contendo 10% e 20% de EVA.



Fonte: Autor, 2024.

O menor índice de consistência da argamassa pode ser explicado pela incorporação de EVA, que aumenta o teor de ar incorporado e a coesão do sistema inicialmente, além de diminuir a densidade de massa fresca da argamassa [27]. Mesmo apresentando um baixo índice de consistência em comparação à referência a argamassa apresentou maior facilidade de manuseio durante os ensaios, esse fato pode ser explicado devido a incorporação do EVA nas misturas ter proporcionado o melhor rolamento entre os grãos, pois as partículas poliméricas agem como esferas[27].

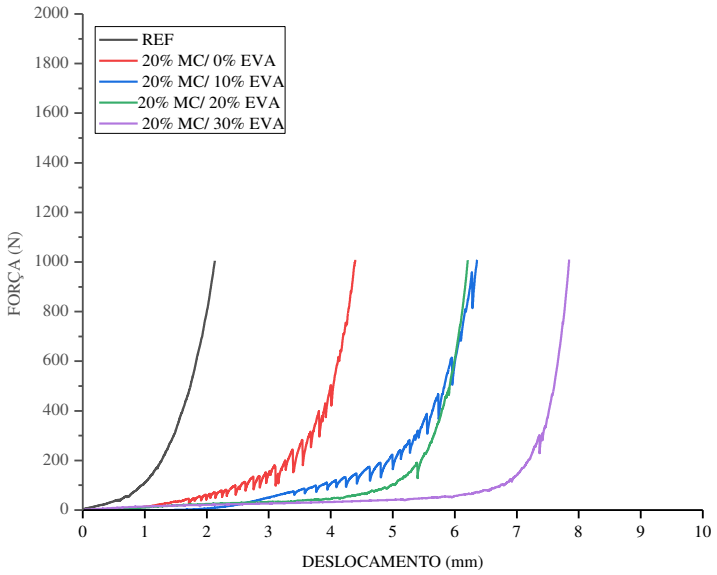
Dessa forma, é importante destacar que os métodos tradicionais para medir a trabalhabilidade das argamassas convencionais não são apropriados para argamassas com agregados leves. Portanto, não é suficiente analisá-las apenas com o ensaio flow table. Para uma análise mais detalhada, são necessários ensaios reológicos, como o squeeze flow [20][26].

Na Figura 5 são apresentados os índices de consistência das argamassas ao longo do tempo de estabilização e observa-se que houve um aumento do índice de consistência das misturas com EVA, em 48h de estabilização para a argamassa com EVA. Esse aumento comparado a argamassa 20%MC/ 0%EVA para 48 h de estabilização foi de 13,26%, 13,57% e 31,67% para as misturas com 10%, 20% e 30% de EVA, respectivamente.
Esse aumento do índice de consistência durante a estabilização contradiz outros autores [23][1] que estudaram a argamassa estabilizada com outras adições como Resíduo Cerâmico de Tijolo Moído (RCTM) e metacaulim. Adicionalmente, diferente também do observado por Silva (2023) que estudou a argamassa estabilizada com adição fixa de 10% de MC e adições de EVA até 15%. Cabe salientar que a autora não utilizou aditivo incorporador de ar nas argamassas com EVA, pois segundo ela o EVA já fornecia trabalhabilidade.

- Squeeze flow

Na Figura 7, constam os resultados após 15 minutos da mistura e deslocamento ocorrendo na velocidade de 0,1 mm/s, representando velocidade de solicitação comum na argamassa durante aplicação, conforme recomendado pela norma NBR 15.839 [10]. Nas figuras as curvas se diferenciam por cores e tipo de traço. A Figura 7 apresenta os resultados do ensaio Squeeze flow das argamassas em 0h de estabilização.

Figura 7: Resultados de squeeze-flow ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA no comportamento reológico das argamassas em 0 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.



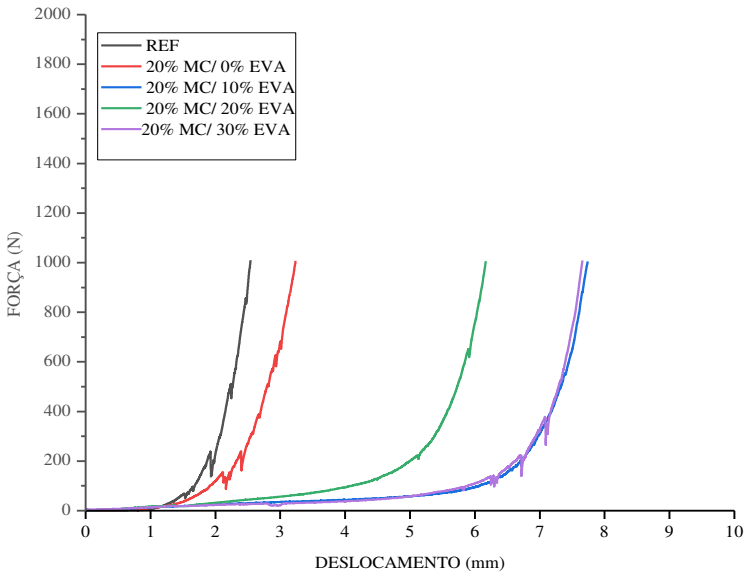
Fonte: Autor, 2024.

As argamassas REF, 20%MC/0%EVA e 20%MC/10%EVA, com grande oscilação no gráfico da Figura 7, sugerem altos níveis de cisalhamento interno. Segundo Cardoso, Pileggi e John [13], algumas argamassas apresentam variações de carga durante os ensaios devido ao seu comportamento particular. É comum, as argamassas com consistência intermediária tenderem a fluir e parar, com a carga aumentando quando param e diminuindo quando voltam a escoar. Este fenômeno está relacionado ao atrito entre a placa e a argamassa, e à deformação interna e fluxo do material.

A Figura 7 mostra que a argamassa REF tem um aspecto mais seco e já apresentava carga acima de 1000 N em deslocamento menor que 2 mm. Entretanto, as demais argamassas apresentaram deslocamento entre 4 e 7,5 mm para uma carga de 1000 N. De uma forma geral, é possível concluir para 0h de estabilização que as argamassas com EVA mesmo apresentando um índice de consistência baixo no ensaio de “flow table”, apresentou comportamentos reológicos melhores, com deslocamentos maiores em menores cargas, do que a argamassa de referência.

Conclui-se que a presença de metacaulim na mistura melhorou as propriedades reológicas da argamassa. A curva com metacaulim, apresentou maior deslocamento com menores cargas comparado a referência. Isso pode ser devido à estrutura lamelar do metacaulim, que facilita o escorregamento entre camadas, e às suas reações de hidratação mais lentas que as do cimento Portland [21].
A Figura 8 apresenta os resultados do ensaio Squeeze flow das argamassas em 48h de estabilização.

Figura 8: Resultados de squeeze-flow ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA no comportamento reológico das argamassas em 48 h de estabilização. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.



Fonte: Autor, 2024.

A Figura 8 mostra que as argamassas REF e 20%MC/0%EVA apresentaram altas cargas para atingir menos de 3 mm de deslocamento. De acordo com Cardoso, Pileggi e John [13], em certo momento a interação entre os agregados torna-se intensa e requer maiores cargas. É visto na imagem o melhor comportamento reológico das argamassas contendo EVA.

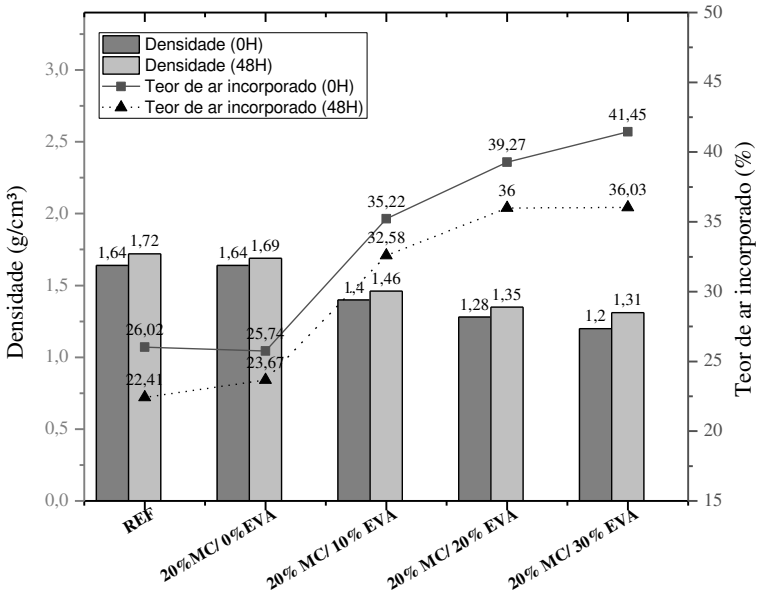
Em geral, para 48h de estabilização, argamassas com EVA mostraram maior deslocamento para menores forças, indicando maior trabalhabilidade ao longo da estabilização, como visto no ensaio de consistência pelo método "flow table".

Conclui-se que, para 48 h de estabilização, a presença do metacaulim na mistura trouxe uma pequena melhoria para as propriedades reológicas da argamassa, como visto na curva em vermelho com metacaulim (Figura 8). Estudos anteriores[27][19] corroboram essa constatação, mostrando que, em 48 h de estabilização, o índice de consistência da argamassa com adição de MC na mesa de consistência diminui ou fica muito próximo da referência.

- Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado

A Figura 9 apresenta conjuntamente os dados de densidade de massa fresca e teor de ar incorporado das argamassas ensaiadas.

Figura 9: Comparação entre a densidade de massa fresca e o teor de ar incorporado.



Fonte: Autor, 2024.

As argamassas com EVA (Figura 9), 20%MC/10%EVA, 20%MC/20%EVA e 20%MC/30%EVA, tiveram uma redução de 15%, 22% e 27%, respectivamente, na densidade de massa fresca em relação à mistura 20%MC/0%EVA em 0h de estabilização, diminuindo também após 48h. Quanto maior a porcentagem de EVA, menor a densidade de massa fresca para o mesmo tempo de estabilização.

Na Figura 9, a argamassa de referência e a argamassa 20%MC/0%EVA tiveram uma diminuição de 13,87% e 8,05%, respectivamente, nos teores de ar incorporado em 48h, em relação aos teores de ar incorporado em 0h. As argamassas 20%MC/10%EVA, 20%MC/20%EVA e 20%MC/30%EVA apresentaram um aumento do teor de ar incorporado de 36,83%, 52,58% e 61,03%, respectivamente, em comparação com a argamassa 20%MC/0%EVA, para 0h de estabilização. A textura esponjosa, alta porosidade, forma e aumento da quantidade de EVA podem ter impedido a liberação das bolhas de ar durante o ensaio, contribuindo para o aumento do teor de ar aprisionado em 0h, conforme verificado também por Silva [27].

Analisando a Figura 9, fica claro que o EVA aumenta o teor de ar incorporado em todas as misturas, em comparação com a argamassa de referência e a argamassa 20%MC/0%EVA. Isso foi observado por Silva [27] e Mansur et al. [20]. O teor de ar incorporado diminui durante a estabilização para todas as argamassas com EVA, devido à quantidade significativa de finos que facilitam a acomodação das partículas[22]. Além disso, a absorção parcial da água reduz as bolhas de ar, diminuindo o efeito do aditivo incorporador de ar.

CONCLUSÕES

- Influência do Resíduo de EVA

Em geral, as argamassas mantiveram sua trabalhabilidade em 0h de estabilização, apesar da redução no índice de consistência com o aumento do teor de EVA. Após 48h, houve aumento no índice de consistência, mas a trabalhabilidade permaneceu. Isso se deve à incorporação do EVA, que melhora o rolamento entre os grãos devido às partículas poliméricas agirem

como esferas. Além disso, as misturas com EVA mostraram aumento no teor de ar incorporado e redução na densidade da massa fresca. Assim, altas incorporações de ar podem permitir, através de estudos de dosagem, a redução ou até a eliminação do aditivo incorporador de ar, reduzindo custos e o impacto ambiental da produção de aditivos.

- Influência do Metacaulim

A introdução do metacaulim como substituto do cimento Portland resultou em uma redução na consistência da mistura, no entanto o Squeeze Flow demonstrou uma melhoria da trabalhabilidade em comparação à referência. A densidade da massa fresca e endurecida e o teor de ar incorporado se aproximaram dos valores de referência. Além disso, o uso do metacaulim desempenha um papel crucial na redução do consumo de cimento, contribuindo para a sustentabilidade ambiental ao minimizar as emissões de CO2 [25].

Em conclusão, a incorporação de resíduos industriais em misturas de argamassas representa uma solução promissora para os desafios ambientais contemporâneos. Ao transformar passivos ambientais em recursos valiosos, essa prática promove a sustentabilidade, reduzindo a poluição e a necessidade de extração de matérias-primas naturais. A construção civil, ao adotar essa abordagem, não só contribui para a economia circular, mas também demonstra um compromisso com a inovação e a responsabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

[1] ANTONIAZZI, J. P.; Vaz, L. V.; MOHAMAD, G.SCHMIDT, R.P.B.; MODLER, L. E. **Influência do procedimento de mistura dos aditivos nas propriedades das argamassas estabilizadas**. XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, 2019.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **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, 2005a.

[3] _____.. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

[4] _____ . **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021a.

[5] _____. **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021b.

[6] _____. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

[7] _____ . **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

[8] _____ .**NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeir0, 2014.

[9] _____. **NBR 15894-1**: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2010a.

[10] _____. **NBR 15839:** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010b.

[11] _____. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016a.

[12] _____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016b.

[13] CARDOSO, F.A. ; PILEGGI, R. G. ; JOHN, V. M. . **Squeeze-flow aplicado a argamassas de revestimento: Manual de Utilização**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PCC , v. 1, p. 1- 29, 2010.

[14] DA COSTA, M. do R. de M. M.; PINTO, M. C. C.; PESSANHA, M. D., ;TREVISAN, D. B.; HERZER, P. H. (2021). Argamassas contendo resíduos a base de EVA e poliéster como agregado leve paper 818 / Mortars containing EVA and polyester based waste as lightweight paper 818 aggregate. **Brazilian Journal of Development**, 7(1), 8421–8436. https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-571.

[15] FARINHA, C.; DE BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars. **Construction and Building Materials**, v. 83, p. 194-206, 2015.

[16] GUIMARÃES, C. C.; ANDRADE, É. S. Propriedades de argamassas com EVA (ethylene vinyl acetate) em substituição parcial ao agregado. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civi**l, Goiânia, v. 13, n. 1, 2017. DOI: 10.5216/reec.v13i1.40167. Disponível em: https://revistas.ufg.br/reec/article/view/40167. Acesso em: 24 maio. 2023.

[17] GUINDANI, E. N. **Argamassa estabilizada para revestimento: avaliação da influência da adição de finos nas propriedades do estado fresco endurecido** Florianópolis, 2018. 146 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

[18] JACKIEWICZ-REK, W.; ZAŁĘGOWSKI, K.; GARBACZ, A.; BISSONNETTE, B. Properties of cement mortars modified with ceramic waste fillers. **Procedia Engineering**, 108,

681-687. 2015.

[19] LAURENTINO, R. N. A. **Estudo da argamassa estabilizada para assentamento com adição mineral de metacaulim**. Universidade Federal da Campina Grande (UFCG). Campina Grande : s.n., 2019.

[20] MANSUR, A. A. P. **Mecanismos Físicos- químicos de Aderência na Interface Argamasico-Químicossa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimento**. 2007. 357 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

[21] MATOS, Paulo Ricardo de; et al. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

[22] OLIVEIRA, V. C.. **Estudo comportamental da formulação, dos requisitos, e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento**. 2017. xxii, 245 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017

[23] PAULINO, I. M.. **Propriedades de argamassa estabilizada contendo metacaulim e resíduo de tijolo cerâmico.** 2020. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2020. Disponível em: . Acesso em: 10 Out. 2022.

[24] ROCHA, F. M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: Bloco Eva - intertravamento e racionalização das alvenarias**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

[25] ROCHA, G. G. N**. Caracterização microestrutural do metacaulim de alta reatividade**. Minas Gerais: Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

[26] ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo, PINI, 2009.

[27] SILVA, I. C. **Argamassa estabilizada para assentamento contendo etileno acetato de vinila (EVA) e metacaulim**. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande, PB. 2023.

[28] SILVA, I. C.; Azerêdo, A. F. N. . **Argamassa estabilizada contendo metacaulim**. Anais do VII CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2022. Disponível em: . Acesso em: 27/05/2023

[29] SILVA, D. A.; ROMAN, H. R.; GLEIZE, P. J. P. Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement. **Cement and Concrete Research**, v. 32, n. 9, p. 1383-1390, Sep. 2002.

[30] SUPRENANT, B. A. Ready Mixed Mortar Has More Life. **Masonry Construct**., v. 1, n. 4, p. 173, EUA. 1988. Disponível em: File:///E:/Downloads/Concrete%20Construction%20Article%20PDF%20Ready%20Mixed%20Mortar%20Ha s%20More%20Life.pdf. Acesso em: 17 Abril. 2023.