



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E

AMBIENTAL

– MESTRADO –

**PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS CONTENDO
METACAILIM E EVA (ETILENO ACETATO DE VINILA)**

Por

Letícia Sabrina de Melo Souza

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Dezembro de 2023



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E

AMBIENTAL

– MESTRADO –

PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS CONTENDO METACAILIM E EVA (ETILENO ACETATO DE VINILA)

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Letícia Sabrina de Melo Souza

Orientadora: Aline Figueiredo da Nóbrega

João Pessoa – Paraíba

Dezembro de 2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S729p Souza, Letícia Sabrina de Melo.

Propriedades de argamassas estabilizadas contendo metacaulim e EVA (Etileno Acetato de Vinila) / Letícia Sabrina de Melo Souza. - João Pessoa, 2023.
169 f. : il.

Orientação: Aline Figueiredo da Nóbrega.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Argamassas. 2. Resíduo de EVA - Etileno Vinil Acetato. 3. Agregado leve. 4. Sustentabilidade. I. Nóbrega, Aline Figueiredo da. II. Título.

UFPB/BC

CDU 691.53 (043)

***“PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS CONTENDO METACAULIM E EVA
(ETILENO ACETATO DE VINILA)”***

LETÍCIA SABRINA DE MELO SOUZA
Dissertação aprovada em 7 de dezembro de 2023

Período Letivo: 2023.2

Documento assinado digitalmente
 **ALINE FIGUEIREDO NOBREGA**
Data: 11/01/2024 12:46:00-0300
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Profa. Dra. Aline Figueiredo da Nóbrega – UFCG
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **NORMANDO PERAZZO BARBOSA**
Data: 21/12/2023 20:58:05-0300
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa – UFPB
Examinador Interno

Assinado por: **Raphael de Lima Meireles de Castro Malheiro**
Num. de Identificação: 31035610
Data: 2023.12.21 13:21:32+00'00'
Profa. Dra. Raphaela de Lima Meireles de Castro Malheiro – UM
Examinadora Externa

Documento assinado digitalmente
 **ANGELO JUST DA COSTA E SILVA**
Data: 28/12/2023 18:05:25-0300
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva – UPE
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 **JULIANA MACHADO CASALI PERUCH**
Data: 15/12/2023 18:00:41-0300
CPF: ***.099.509-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profa. Dra. Juliana Machado Casali – IFSC
Examinador Externo

João Pessoa/PB
2023

Dedico este trabalho a Deus, fonte maior de amor e que me deu forças para prosseguir nessa jornada e aos meus pais Maria e José, que com muito carinho e apoio nunca mediram esforços para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me permitir chegar até aqui. À Prof.^a Dr.^a Aline Nóbrega, pela paciência e ensinamentos como orientadora. Pelo incentivo e motivação para realização deste trabalho e por ser uma excelente profissional a qual eu admiro.

Aos companheiros de laboratório e pesquisa: Fabíola, Leane, Anselmo Neto, Diego, Wesley Fêu, Tayná, Wesley, Iranilza, Nely e Elson por dividirem comigo os momentos de alegrias e dificuldades encontrados durante a jornada.

Ao Eng. Erveton Vitor e Júnior, proprietário da Kaoling, por terem me ajudado no fornecimento do resíduo de caulim. À empresa GCP que forneceu aditivos para a realização dessa pesquisa. À empresa Alpagartas pela doação do resíduo de EVA utilizado nesta pesquisa.

Aos funcionários do Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em especial a Sebastião e Delby por terem me auxiliado nos ensaios laboratoriais. Ao (LABEME/UFPB) por ter concedido os aparatos necessários para desenvolvimento desta pesquisa. Ao Laboratório de Mecânica, na pessoa do técnico Breno, por ter realizado ensaios de squeeze flow e de resistência. Ao Laboratório de Materiais e Biosistemas (LAMAB), na pessoa do técnico Lucas, pela realização do ensaio de FTI-R. Ao Laboratório de Tecnologia dos materiais- Tecnomat, na pessoa do Técnico Ricardo, Professor Sandro e Professor Antônio Leal pelos ensaios de MEV e módulo de elasticidade dinâmico.

Ao Instituto Federal do Ceará (IFCE) que me concedeu o afastamento das minhas funções docentes para que pudesse dar continuidade nessa pesquisa.

A toda minha família pelo incentivo e amor incondicional, em especial, meus pais José e Maria, que desde pequena me ensinaram a importância da educação e que nunca mediram esforços para que eu adquirisse a melhor possível.

As minhas irmãs Talytha e Lorena por estarem sempre ao meu lado, me encorajando, acreditando que eu atingiria meu objetivo e vibrando comigo a cada conquista.

Ao meu marido e amigo Kerlandeson, pela paciência, incentivo e alegrias compartilhadas.

A todos que não mencionei, mas que me ajudaram direta ou indiretamente, meu muito obrigado!

RESUMO

A argamassa estabilizada é produzida em central dosadora e entregue em caminhões e é feita para se manter trabalhável por até 72 h. A grande vantagem do seu uso em obra é o aumento da produtividade. Esse tipo de argamassa está sendo cada vez mais utilizada, sendo assim, um material que deve ser avaliado a possibilidade de ser fabricado utilizando resíduos em sua composição, como exemplo o resíduo da indústria calçadista Etileno Acetato de Vinila (EVA) e o Metacaulim (MC). O objetivo deste estudo é a utilização de resíduos de EVA da indústria calçadista nessas argamassas para minimizar o desperdício e a sua disposição inadequada. Enquanto o uso do metacaulim é para melhorar a resistência mecânica que pode ser reduzida pelo uso do EVA. Além disso, o MC usado como substituto parcial do cimento ajuda a reduzir o seu consumo nessas argamassas diminuindo as emissões de CO₂. Para isso se estudou o comportamento de argamassas estabilizadas com substituições de 20%, em massa, do cimento Portland por metacaulim e substituições do agregado miúdo pelo EVA (agregado leve) nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, em volume. Assim, avaliou-se a influência dos teores dessas substituições nas propriedades no estado fresco e endurecido, considerando tempos de estabilização de 0 horas, 48 horas e 72 horas e duas formas de incorporação do EVA, seco e pré-saturado. Para isso, foi realizada a caracterização dos materiais necessários e a dosagem das misturas. As argamassas foram então produzidas e submetidas a ensaios nos estados fresco (*Flow table*, *Squeeze flow*, densidade de massa fresca e teor de ar incorporado) e endurecido (densidade de massa aparente, absorção de água por capilaridade, resistência à tração e a compressão e módulo de elasticidade dinâmico). Os resultados indicaram que o metacaulim contribui para o aumento das resistências à compressão e a flexão, mas também reduz a consistência das argamassas no ensaio de consistência dependendo do seu tempo de estabilização e aumenta o teor de ar incorporado e absorção por capilaridade. As argamassas com EVA apresentaram uma boa consistência em 0h, evidenciada pelos parâmetros reológicos. No entanto, as argamassas com os teores de EVA incorporado seco acima de 20% apresentaram espalhamentos e exsudações excessivas após estabilizações de 48 e 72 horas, vale salientar que esse fato não ocorreu com as argamassas com EVA incorporado pré-saturado que apresentou maior estabilidade das propriedades do estado fresco. Todas as argamassas contendo EVA apresentaram aumento do teor de ar incorporado, diminuição da densidade de massa fresca e endurecida, maior absorção de água por capilaridade, comparadas à referência, contudo as argamassas com EVA pré-saturado tiveram resultados mais favoráveis que as com EVA incorporado seco. Todas as argamassas com EVA incorporado seco apresentaram menor resistência à compressão e a tração em comparação com a argamassa de referência e a argamassa apenas com substituição de cimento Portland por metacaulim. As argamassas de até 20% de EVA atenderam ou se aproximaram dos requisitos e classificações da norma NBR 13281 partes 1 e 2 (2023), exceto em relação ao teor de ar incorporado. Contudo, as argamassas com EVA pré-saturado atenderam à norma quanto à resistência à tração e à compressão em todos os teores de EVA e tempos de estabilização. O módulo de elasticidade dinâmico diminuiu para argamassas com EVA. Além disso, foi possível observar que as propriedades estudadas nessas argamassas sofreram modificações para os diferentes tempos de estabilização.

PALAVRAS-CHAVES: Argamassa leve, Resíduo de EVA (Etileno Vinil Acetato), argamassa estabilizada, agregado leve, sustentabilidade.

ABSTRACT

The ready mix mortar is produced in a dosing concrete plant, delivered by trucks, and is designed to remain workable for up to 72 hours, offering a significant advantage in terms of increased productivity on construction sites. With the growing use of this type of mortar, there is a need to explore the possibility of manufacturing it using waste materials in its composition, such as waste from the footwear industry specifically, EVA (Ethylene Vinyl Acetate) residue—and metakaolin. The objective of this study is to incorporate EVA waste from the footwear industry into these mortars to minimize waste and improper disposal. Simultaneously, metakaolin (MC) is employed to enhance the mechanical strength that may be reduced by the use of EVA. Furthermore, the partial substitution of cement with MC helps reduce its consumption in these mortars, thereby decreasing CO₂ emissions. The study investigates the behavior of ready mix mortar with substitutions of 20%, by mass, of Portland cement with metakaolin and substitutions of fine aggregate with EVA (lightweight aggregate) at proportions of 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%, by volume. The influence of these substitution levels on both fresh and hardened properties is evaluated, considering stabilization times of 0 hours, 48 hours, and 72 hours, and two forms of EVA incorporation: dry and pre-saturated. To achieve this, the necessary material characterization and mixture design were conducted. The mortars were then produced and subjected to tests in the fresh state (Flow table, Squeeze flow, fresh bulk density, and air content) and hardened state (apparent bulk density, capillary water absorption, tensile and compressive strength, and dynamic modulus of elasticity). Results indicate that metakaolin contributes to increased compressive and flexural strengths but also reduces the consistency of mortars in the consistency test depending on stabilization time, while increasing air content and capillary absorption. Mortars with EVA exhibit good consistency at 0 hours, as evidenced by rheological parameters. However, mortars with dry EVA incorporation above 20% displayed excessive spread and bleeding after stabilizations of 48 and 72 hours; it is noteworthy that this did not occur with mortars incorporating pre-saturated EVA, which demonstrated greater stability of fresh state properties. All mortars containing EVA showed an increase in air content, a decrease in fresh and hardened bulk density, and higher capillary water absorption compared to the reference; however, mortars with pre-saturated EVA had more favorable results than those with dry EVA incorporation. Mortars with dry EVA incorporation exhibited lower compressive and tensile strength compared to the reference mortar and the mortar with only Portland cement substitution by metakaolin. Mortars with up to 20% EVA met or approached the requirements and classifications of NBR 13281 parts 1 and 2 (2023), except for air content. However, mortars with pre-saturated EVA met the standard for both tensile and compressive strength at all EVA levels and stabilization times. The dynamic modulus of elasticity decreased for mortars with EVA. Additionally, it was observed that the studied properties in these mortars underwent modifications for different stabilization times.

KEYWORDS: Lightweight mortar, EVA residue (Ethylene Vinyl Acetate), ready mix mortar, lightweight aggregate, sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.1.1	<i>Objetivos específicos</i>	<i>19</i>
3	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1	ECONOMIA CIRCULAR E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA INDÚSTRIA.....	20
3.2	ARGAMASSA ESTABILIZADA	22
3.2.1	<i>Materiais constituintes das argamassas estabilizadas.....</i>	<i>25</i>
	- Aglomerantes	25
	- Agregado miúdo.....	26
	- Aditivos	28
	• <i>Aditivo incorporador de ar.....</i>	<i>28</i>
	• <i>Aditivo estabilizador de hidratação</i>	<i>29</i>
3.3	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA ESTABILIZADA	31
3.3.1	<i>Trabalhabilidade, consistência, e plasticidade</i>	<i>31</i>
3.3.2	<i>Reologia das argamassas</i>	<i>33</i>
3.3.3	<i>Avaliação reológica pelo Ensaio Squeeze Flow.....</i>	<i>33</i>
3.3.4	<i>Densidade de massa e teor de ar incorporado.....</i>	<i>35</i>
3.3.5	<i>Coesão</i>	<i>37</i>
3.3.6	<i>Absorção de água por capilaridade</i>	<i>37</i>
3.3.7	<i>Resistência à compressão e à tração na flexão</i>	<i>39</i>
3.3.8	<i>Módulo de elasticidade dinâmico.....</i>	<i>40</i>
3.4	ADIÇÃO DE FINOS	43
3.4.1	<i>Metacaulim</i>	<i>45</i>
3.5	ARGAMASSA LEVE	48
3.5.1	<i>Agregado leve</i>	<i>48</i>
	- EVA	49
4	MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1	MATERIAIS	54
4.1.1	<i>Caracterização dos materiais.....</i>	<i>56</i>
4.1.2	<i>Caracterização física.....</i>	<i>56</i>
	• Absorção de água da areia e do EVA	60
	• Índice de atividade pozolânica (IAP) do metacaulim.....	60
4.1.3	<i>Caracterização química</i>	<i>61</i>
4.1.4	<i>Caracterização mineralógica</i>	<i>63</i>
4.1.5	<i>Análise térmica</i>	<i>65</i>
4.1.6	<i>Análises microestruturais</i>	<i>67</i>
4.2	MÉTODO	69

4.2.1	<i>Dosagem das misturas</i>	69
4.2.2	<i>Preparação da argamassa</i>	71
4.2.3	<i>Preparação dos corpos de prova</i>	73
4.2.4	<i>Ensaaios nas argamassas</i>	74
4.2.5	<i>Análise estatística</i>	77
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
5.1	ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	79
5.1.1	<i>Índice de consistência</i>	79
5.1.2	<i>Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado</i>	86
5.1.3	<i>Squeeze flow</i>	93
5.2	ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	106
5.2.1	<i>Densidade de massa aparente</i>	106
5.2.2	<i>Absorção por capilaridade</i>	110
5.2.3	<i>Resistência à compressão</i>	122
5.2.4	<i>Resistência à tração</i>	127
5.2.5	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i>	131
5.2.6	<i>Análise conjunta dos dados das argamassas no estado endurecido</i>	135
5.2.7	<i>Análises microestruturais</i>	140
6	CONCLUSÕES	146
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	148
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
	APÊNDICES	160

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil típico de carga vs. deslocamento de um ensaio de <i>squeeze-flow</i> realizado com deslocamento controlado. Estágio I: pequeno deslocamento - deformação elástica; estágio II: deslocamento intermediário - deformação plástica e/ou fluxo viscoso; estágio III: grande deslocamento - enrijecimento por deformação (strain hardening).....	34
Figura 2: Fluxograma do procedimento experimental.	54
Figura 3: EVA utilizado nas argamassas estabilizadas.	55
Figura 4: Curvas granulométricas do cimento e do MC.....	57
Figura 5: Distribuição granulométrica da areia e do EVA.	58
Figura 6: Imagens dos grãos de EVA retidos em cada peneira.....	59
Figura 7: Imagem do grão do agregado EVA por meio do microscópio óptico.	59
Figura 8: Espectro de FTIR para o EVA utilizado.	62
Figura 9: Resultado do DRX para o CP V ARI.....	64
Figura 10: Resultado do DRX para o MC.	64
Figura 11: Análise termogravimétrica do EVA estudado.	66
Figura 12: Processo de mistura das argamassas com EVA seco incorporado.....	72
Figura 13: Processo de mistura das argamassas com EVA saturado incorporado.	72
Figura 14: (a) Recipiente com argamassa em estabilização. (b) Argamassa com a lâmina d'água.	73
Figura 15: Corpos de provas moldados após a mistura.	74
Figura 16: Espalhamento da argamassa na mesa de consistência.	74
Figura 17: (a) Amostra do ensaio <i>squeeze flow</i> antes da deformação. (b) Amostra do ensaio <i>squeeze flow</i> após a deformação.....	74
Figura 18: Ensaio do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.	75
Figura 19: a) Ensaio de resistência à tração na flexão b)Ensaio de resistência à compressão simples.	76
Figura 20: Espalhamento das argamassas com EVA incorporado seco.....	79
Figura 21: Espalhamento das argamassas com EVA incorporado saturado.	80
Figura 22: Consistência em 0 h das argamassas contendo 10% e 20% de EVA.....	81
Figura 23: Argamassa com 50% EVA incorporado seco em 72 h de estabilização com exsudação em 0 e 60 min após mistura para homogeneização.....	83
Figura 24: Medição da redução da lâmina d'água da argamassa com 50% de EVA após 72 h de estabilização.....	84
Figura 25: Consistência seca na argamassa com 50% de EVA incorporado saturado em 0h de estabilização.....	85
Figura 26: Comparação entre a densidade de massa fresca e o teor de ar incorporado para EVA incorporado Seco.....	87
Figura 27: Comparação entre a densidade de massa fresca e o teor de ar incorporado para EVA incorporado saturado.	87
Figura 28: Densidade de massa fresca das argamassas com EVA incorporado seco.....	91
Figura 29: Densidade de massa fresca das argamassas com EVA incorporado saturado. ..	91
Figura 30: Teor de ar incorporado das misturas com incorporação de EVA seco.	92
Figura 31: Teor de ar incorporado das misturas com incorporação de EVA saturado.....	93
Figura 32: Resultados de <i>squeeze-flow</i> ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado seco) no comportamento reológico das argamassas em 0 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com	

velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.....	94
Figura 33: Resultados de <i>squeeze-flow</i> ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado saturado) no comportamento reológico das argamassas em 0 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.....	95
Figura 34: Argamassa 20%MC/ 10%EVA (EVA incorporado seco) com fendas de cisalhamento interno nas suas bordas laterais após ensaio de <i>squeeze flow</i> no tempo de 10 min após a mistura e velocidade de ensaio de 3mm/s.	96
Figura 35: Resultados de <i>squeeze-flow</i> ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado seco) no comportamento reológico das argamassas em 48 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.....	99
Figura 36: Resultados de <i>squeeze-flow</i> ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado saturado) no comportamento reológico das argamassas em 48 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.....	100
Figura 37: Resultados de <i>squeeze-flow</i> ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado seco) no comportamento reológico das argamassas em 72 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.....	103
Figura 38: Resultados de <i>squeeze-flow</i> ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado saturado) no comportamento reológico das argamassas em 72 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.....	104
Figura 39: Densidade da massa aparente das argamassas com EVA incorporado seco....	107
Figura 40: Densidade da massa aparente das argamassas com EVA incorporado saturado.	107
Figura 41: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA incorporado seco em 0h.	111
Figura 42: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA incorporado saturado em 0h.	111
Figura 43: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA seco incorporado em 48h.	113

Figura 44: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA saturado incorporado em 48h.	113
Figura 45: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA incorporado seco em 72 h.	115
Figura 46: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA incorporado saturado em 72h.	116
Figura 47: Coeficiente de capilaridade das argamassas com EVA incorporado seco.....	119
Figura 48: Coeficiente de capilaridade das argamassas com EVA incorporado saturado.	119
Figura 49: Resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado seco.....	122
Figura 50: Resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado. ..	123
Figura 51: Resistência à tração na flexão das argamassas com EVA seco incorporado. ..	127
Figura 52: Resistência à tração na flexão das argamassas com EVA incorporado saturado.	128
Figura 53: Módulos de elasticidade dinâmico para as argamassas aos 28 dias de idade. .	131
Figura 54: Correlação entre coeficiente de absorção e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado seco.	136
Figura 55: Correlação entre coeficiente de absorção e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado.	136
Figura 56: Correlação entre densidade de massa endurecida e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado seco.	138
Figura 57: Correlação entre densidade de massa endurecida e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado.....	138
Figura 58: Correlação entre resistência à tração na flexão e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado seco.	139
Figura 59: Correlação entre resistência à tração na flexão e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado.	140
Figura 60: Microscopia óptica das argamassas fraturadas.	141
Figura 61: Imagens em MEV das argamassas nos tempos de estabilização de 0h e 48h, obtidas por elétrons retroespalhados (BSE).	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo de características dos agregados e seu principal efeito em argamassas de revestimento e assentamento de alvenarias.	27
Tabela 2: Resumo dos principais fatores influentes no processo de estabilização de argamassas.	31
Tabela 3: Classificação das argamassas de assentamento e revestimento de paredes e.....	38
Tabela 4: Classes para o módulo de elasticidade dinâmico.....	41
Tabela 5: Materiais utilizados nas argamassas estabilizadas.....	55
Tabela 6: Ensaio de caracterização dos materiais.....	56
Tabela 7: Massa unitária e massa específica dos materiais.	57
Tabela 8: Distribuição granulométrica do agregado miúdo.	58
Tabela 9: Absorção areia e EVA.	60
Tabela 10: Composição química por fluorescência de raios-x (% em massa) do CP-V e do MC.....	61
Tabela 11: Identificação e quantidade de materiais nas misturas analisadas.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo dos principais métodos empregados para avaliar a consistência e a plasticidade de argamassas.	32
Quadro 2: Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado Fresco..	36

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil está cada vez mais industrializado, assim, surgem a cada ano novos produtos que possibilitam uma melhoria na cadeia produtiva visando desde a produção de insumos até processos de execução. Nesse contexto, surgiu a argamassa estabilizada, que faz uma ligação entre o processo produtivo das empresas e o fornecimento do insumo pronto para a execução.

A argamassa estabilizada é uma argamassa contendo cimento Portland, agregados miúdos e aditivos que prolongam sua utilização geralmente de 24 horas podendo chegar até 72 horas. Ela também pode ter cal hidratada em sua composição. A preservação da trabalhabilidade necessária para a aplicação é possibilitada por aditivos químicos, que retardam o início de pega e incorporam ar ao material (Suprenant, 1988).

A argamassa estabilizada é um material relativamente novo no mercado Brasileiro, por isso existem precauções a serem tomadas quanto à dosagem e a falta de conhecimento sobre as propriedades desses materiais diante de novos componentes, como abordado por Bortolon (2021). A ausência de normativas específicas que orientem o controle de qualidade, armazenamento e as condições de aplicação dessas argamassas, e a escassez de abordagens científicas reforçam a necessidade de estudos mais aprofundados nessa área.

Alguns estudos têm sido realizados para avaliar a argamassa estabilizada (Oliveira, 2017; Bortolon, 2021; Polli et al., 2023), outros poucos vão além e utilizam adição de materiais pozolânicos (Paulino, 2020, Antoniazzi, 2019; Guindani, 2018). No entanto, estudos sobre materiais leves incorporados a argamassas estabilizadas são menos avaliados, com poucos estudos na literatura, como o de Silva (2023).

Neste trabalho foram estudadas misturas contendo metacaulim (MC) como substituição ao cimento Portland e EVA (Etileno Acetato de Vinila) como substituto parcial do agregado miúdo. Como o EVA, nos estudos anteriores proporciona uma perda de resistência mecânica da argamassa (Silva, 2023; Guimarães e Andrade, 2017 e Da Costa et al., 2021), foi utilizado o metacaulim por proporcionar melhorias na resistência mecânica e também por ser o mais comumente utilizado nessas argamassas (Laurentino, 2019; Paulino, 2020; Silva e Azerêdo, 2022).

O metacaulim quando usado na argamassa, melhora propriedades de durabilidade como absorção, velocidade de propagação ultrassônica, carbonatação, resistência ao ataque de cloretos, resistência à compressão e módulo de elasticidade. Isso pode minimizar danos

nas argamassas estabilizadas de revestimento (Siddique e Klaus, 2009; Mota, Oliveira e Carneiro, 2016).

Além dos benefícios técnicos, a substituição parcial do cimento Portland por MC na construção é ecologicamente correta. Ao produzir o MC necessita-se de temperaturas mais baixas que aquelas utilizadas para fabricar o cimento Portland, isso diminui o consumo de cimento Portland na produção da argamassa e consequentemente as emissões de dióxido de carbono ligadas à fabricação de cimento Portland. (Metacaulim do Brasil, 2022; Brasil, 2009).

Além disso, estudos sobre argamassas leves são essenciais, uma vez que, devido à menor densidade, estas apresentam poros que dificultam a transmissão de som e calor, tornando-as materiais termoacústicos. Outra vantagem é a facilidade de aplicação e o menor peso ao ser transportada, o que aumenta a produtividade, além de ter maior capacidade de absorver deformações (Nascimento, 2021).

A incorporação de EVA, reconhecido como um agregado leve devido à sua baixa massa específica, revela vantagens como estabilidade, inércia e resiliência, apontadas em diversas pesquisas sobre argamassas de assentamento e revestimento e concretos. Os estudos indicam um aumento significativo do teor de ar incorporado, uma redução da resistência à tração e à compressão (Da Costa et al., 2021; Rocha, 2008). Adicionalmente, proporcionou a diminuição da densidade da massa no estado fresco e endurecido, além de uma menor absorção de água por capilaridade (Rocha, 2008; Guimarães e Andrade, 2017; Menezes et al., 2018; Da Costa et al., 2021;).

Segundo Rocha (2008), o EVA é ambientalmente problemático devido à sua lenta degradação (produto não-biodegradável) e potencial para contaminar o meio ambiente. A incineração do EVA libera gases tóxicos e juntamente com a sua impossibilidade para reutilização industrial, intensifica as preocupações ambientais.

O EVA, utilizado como resíduo na construção civil, consiste em aplicações como isolamento térmico, acústico, pisos e revestimentos. Essa prática contribui para redução do desperdício, possibilitando diminuir o consumo de recursos naturais e contribuindo para uma construção mais sustentável. Tudo isso está de acordo com princípios de economia circular e redução de emissões de carbono (Ribeiro, 2020).

O EVA é um polímero com a capacidade de absorver e reter umidade, isso pode significativamente impactar suas características físicas e mecânicas. Com o intuito de compreender como a umidade influencia o comportamento do EVA em um compósito cimentício, análises foram realizadas em amostras da incorporação do EVA tanto seco

quanto saturado. No entanto, é percebido a necessidade de estudos abrangentes e do ponto de vista comparativo sobre a incorporação de EVA, seco e pré-saturado na argamassa. Isso foi notado através de revisão de literatura científica. Existem muitas pesquisas relacionadas à incorporação de agregados leves saturados em argamassas que utilizam outros materiais como argilas expandidas e vermiculitas (Koksal et al., 2015; Koksal et al., 2019; Santos et al., 2020).

Em concreto, a incorporação do EVA como agregado leve é mais consolidada. O estudo de Garlet (1998) e pesquisas posteriores adotaram a pré-molhagem de agregados de EVA para controlar a absorção de água durante a mistura de concreto, mantendo a trabalhabilidade e evitando redução da água disponível para a hidratação do cimento Portland. No entanto, há divergências, como indicado por Vieira (2000) e Bezerra (2014), que argumentam que a saturação prévia do agregado pode reduzir a resistência do concreto. Além disso, estudos recentes questionam a necessidade dessa prática, destacando seu custo adicional e complexidade de execução. A investigação específica sobre a pré-saturação do EVA permanece como uma necessidade a ser atendida.

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 Guindani (2018). O estudo aborda lacunas na literatura, particularmente em relação à saturação prévia ou não do EVA, e visa contribuir para o desenvolvimento de soluções sustentáveis na construção civil.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do uso do resíduo de EVA como substituto do agregado miúdo e do Metacaulim substituindo o cimento Portland nas propriedades mecânicas e reológicas das argamassas estabilizadas.

2.1.1 *Objetivos específicos*

1. Avaliar a influência do MC e EVA nas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas estabilizadas.
2. Estudar teores de substituição de EVA por agregado miúdo e substituição de cimento Portland por MC em uma mistura com propriedades no estado fresco e endurecido buscando contribuir para o desenvolvimento sustentável.
3. Analisar argamassas com EVA incorporado seco e pré-saturados para compreender como o teor de umidade inicial do agregado influencia no comportamento das propriedades frescas e endurecidas.
4. Classificar as argamassas analisadas quanto alguns ensaios realizados que possuem critérios ou classificações de resultados definidos na NBR 13281 partes 1 e 2 (ABNT, 2023).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo está compartimentado em sete partes, de acordo com os elementos que serão empregados na metodologia da pesquisa para alcançar os resultados desejados. Na primeira parte, será feita uma contextualização sobre a economia circular e o desenvolvimento sustentável na indústria.

Na segunda e terceira parte, serão abordados conceitos de argamassas estabilizadas, principais propriedades e constituição. Na quarta parte do referencial teórico será abordada a influência da adição de finos nas argamassas. Na quinta etapa será abordado o efeito da adição de MC nas propriedades das argamassas. Por fim, na sexta e sétima parte será realizada uma explanação sobre argamassas leves e a adição de EVA em argamassas e as mudanças nas suas propriedades.

3.1 ECONOMIA CIRCULAR E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA INDÚSTRIA

A sustentabilidade deve ser uma diretriz de qualquer empresa, pois busca implementar mudanças nas práticas de produção e gestão de recursos visando a preservação do meio ambiente e melhorias de eficiência e criação de valor econômico. A economia circular tem como objetivo minimizar o desperdício e prolongar a vida útil dos recursos, mantendo-os em ciclos contínuos de uso e reutilização. Ela visa não apenas reduzir o impacto ambiental da produção e do consumo, mas também criar oportunidades econômicas, como a geração de empregos na reciclagem, na remanufatura e em setores relacionados (Vier et. Al, 2021). Além disso, ela contribui para a redução da pressão sobre os recursos naturais e a mitigação das mudanças climáticas (Vier et. Al, 2021).

Na indústria de calçados, a adoção de ações de desenvolvimento sustentável é particularmente pertinente já que seu produto possui um relevante impacto negativo no meio ambiente, especialmente pelo emprego de produtos químicos no processo produtivo, além disso, tem-se muitos resíduos causadores de consideráveis danos ambientais ao serem descartados. O Brasil foi o quinto maior produtor mundial de calçados em 2021, ficando atrás da China, Índia, Vietnã e Indonésia. Em 2022, foi estipulado em 21,6 bilhões a produção de pares de calçados no mundo, sendo 19,5 bilhões destes pares absorvidos pelo consumo mundial, resultando em uma média de 2,4 pares per capita. Só no Brasil, foram produzidos em 2022, 848,6 milhões de pares de sapatos. Dentre os materiais predominantes

na fabricação de calçados no Brasil temos o plástico/ borracha (52,1%) e o laminado sintético (22,8%), entre outros (Abicalçados, 2023). Essas informações revelam o tamanho e a importância da indústria calçadista na economia, assim como o seu potencial para gerar relevantes impactos ambientais negativos.

Além disso, a produção de resíduos da fabricação é enorme, e inclui materiais como plástico, restos de metais, aparas de couro, aparas de borracha, EVA entre outros. É importante a reutilização dos resíduos como matéria-prima, que é a chamada economia circular, contribuindo com as três dimensões da sustentabilidade (reduzir, reutilizar e reciclar), minimizando o impacto negativo ambiental causado pela empresa (Vier et. Al, 2021). Dessa forma, além da diminuição do impacto ambiental, a reutilização de resíduos sólidos no processo produtivo gera economia de gastos. No contexto da indústria de calçados, considerando a ampla variedade de resíduos produzidos durante a fabricação, é fundamental direcionar recursos para pesquisas relacionadas à reciclagem e reutilização (Vier et. Al, 2021).

As indústrias calçadista, têxtil, de vestuário, de artefatos e de tecidos geraram juntas, em 2016, quase 300.000 toneladas/ano de resíduos industriais no país (Brasil, 2022). A reutilização de resíduos torna-se crucial para reduzir a quantidade de resíduos que acabam sendo enviados para aterros sanitários, incineração e instalações industriais de descarte. É fundamental desenvolver abordagens inovadoras que tornem os processos de reciclagem tecnicamente e economicamente viáveis, promovendo assim a reintegração e valorização de materiais poliméricos que seriam descartados.

A incorporação de resíduos de outras indústrias na construção civil é benéfica, dessa forma o EVA da indústria calçadista tem sido empregado na indústria da construção civil pelo fato de ser macio, leve, resistente ao desgaste e de baixo custo. A incorporação desses resíduos em matrizes cerâmicas e cimentícias para a produção de elementos para a construção civil, se feita de maneira segura, pode fornecer um destino interessante do ponto de vista ambiental para esses materiais. Isso pode ser visto nos trabalhos de Rocha (2008), Guimarães e Andrade (2017), Menezes et al. (2018) e de Da Costa et al. (2021) que estudaram a incorporação de EVA em matrizes cimentícias e constataram a possibilidade do seu uso. O reaproveitamento desses resíduos na construção civil também foi o foco deste trabalho.

O reaproveitamento de resíduos na construção civil é algo fundamental para promoção da sustentabilidade, visto que uma das indústrias mais geradoras de resíduos sólidos e consumidoras de recursos naturais. O Brasil gera cerca de 105 milhões de toneladas

de resíduos de construção civil e demolição por ano, de acordo com informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2020). Sendo assim, deve-se encontrar formas para tentar mitigar esse impacto, inclusive com medidas compensatórias.

A reutilização de resíduos de EVA (Etileno Vinil Acetato) na construção civil pode contribuir para diversos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que fazem parte da Agenda 2030 das Nações Unidas. Os ODS são metas globais para promover o desenvolvimento sustentável em diversas áreas, incluindo a redução da pobreza, o combate às desigualdades, a preservação do meio ambiente e a promoção da prosperidade econômica (ONU, 2023). Alguns ODS relacionados à reutilização de resíduos de EVA na construção civil:

- **ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura:** A reutilização de resíduos de EVA pode ser vista como uma inovação na construção civil, pois reduz a necessidade de novos materiais e contribui para o desenvolvimento de infraestrutura mais sustentável;
- **ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis:** A reutilização de resíduos de EVA na construção civil pode ajudar a construir cidades mais sustentáveis, com edifícios mais eficientes e de menor impacto ambiental;
- **ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis:** A reutilização de resíduos de EVA é uma prática de consumo e produção responsável, uma vez que reduz o desperdício de materiais e promove a economia circular;

Portanto, a reutilização de resíduos de EVA na construção civil não apenas contribui para a redução do impacto ambiental, mas também está alinhada com vários objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

3.2 ARGAMASSA ESTABILIZADA

A argamassa estabilizada surgiu na Alemanha na década de 70, depois ela começou a ser utilizada no Canadá e nos Estados Unidos, por volta de 1980 a 1982 (Martins Neto, 1999; Suprenant, 1988). No Brasil, essas argamassas começaram a ser usadas em meados dos anos 90 (Martins Neto, 1999; Suprenant, 1988).

A argamassa estabilizada é dosada e produzida em central e apresenta processo de produção semelhante ao do concreto dosado em central. Normalmente são compostas de cimento Portland, agregado miúdo, água e aditivos. Os traços são determinados com precisão e são produzidos com tecnologia e controle de qualidade (Bauer et al, 2015). O diferencial

dessa argamassa em relação às argamassas convencionais é que ela pode manter suas propriedades frescas de 24 a 72 horas, isso é possível a partir da presença de aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação (Bauer et al, 2015).

O aditivo incorporador de ar atua com a função de conferir plasticidade e consequentemente melhora a trabalhabilidade durante a execução do revestimento (Bauer et al, 2015). Os aditivos estabilizadores inibem a reação do cimento enquanto a massa estiver saturada, por isso os fabricantes indicam o uso de uma lâmina d'água na superfície quando a argamassa ficar em repouso de um dia para o outro no contêiner (Bauer et al, 2015).

O principal responsável pela estabilização da argamassa é o aditivo estabilizador de hidratação (AEH). Ele é capaz de parar a hidratação dos silicatos tricálcicos (C_3S) e dos silicatos dicálcicos (C_2S), assim como também dos aluminatos tricálcicos (C_3A) (Cheung et al., 2011). O aditivo age impedindo a nucleação de C-S-H e CH ou retardando o crescimento desses produtos de hidratação e desacelerando a hidratação do C_3A (Cheung et al., 2011). Entretanto deve ser usado nas proporções adequadas pois em excesso pode causar problemas como atraso da pega imprevisível e até mesmo causar a pega instantânea (Bauer et al., 2015).

A argamassa quando entregue na obra deve ser armazenada em caixas ou pequenos contêineres. Nos contêineres a argamassa é armazenada nos canteiros de obras no período em que será utilizada. Os contêineres devem ser estanques e devem ser limpos a cada recarga de argamassa (Guindani, 2018). Durante o armazenamento da argamassa no canteiro deve-se tomar cuidado para evitar a evaporação da água da massa, para garantir a inibição das reações de hidratação (Guindani, 2018).

O tempo de estabilização deve ser pré-determinado durante a dosagem. No Sul do Brasil esse tempo de estabilização é de 36 ou 72 horas, a razão de ser múltiplo de 12 é que permite a otimização do cronograma de execução (Guindani, 2018). No Nordeste, de acordo com pesquisas nos sites de alguns fabricantes (Supermix, 2023), o tempo de estabilização também varia de 36 a 72 h.

De acordo com Bauer et al (2015), as argamassas estabilizadas trazem inúmeras vantagens para o processo de execução de alvenarias e revestimentos, como: não há necessidade de controle, dosagem e estocagem dos insumos básicos, a argamassa passa a ter um maior controle de qualidade, pois a dosagem é feita em massa na central de concreto, o que não é possível fazer com precisão na obra. Essa argamassa agiliza o cronograma de execução da obra, uma vez que a produtividade aumenta quando se retira a etapa de mistura. Diminuição da insalubridade do manuseio de cimento e cal pelos trabalhadores da obra (Bauer et al, 2015).

No estudo de Weissheimer (2017) sobre argamassa estabilizada verificou-se as taxas de geração de resíduos da construção civil classe A em construção de três edifícios e constatou-se que houve uma redução média de 31% no volume de resíduos gerados na obra utilizando argamassa estabilizada quando comparado com argamassa convencional. Ao mesmo tempo, o autor constatou que o uso dessa argamassa não aumenta o risco de contaminação ambiental por parte do resíduo gerado.

Para Matos (2013), as desvantagens do uso desse material é a necessidade de ter um eficiente planejamento da quantidade diária a ser utilizada, para não atrasar a obra por falta de material. Em dias mais úmidos essa argamassa demora mais para enrijecer pois a mesma depende da perda da água do amassamento para adquirir enrijecimento (Matos, 2013). Há alteração no comportamento ao longo do tempo de estabilização, autores como Kebhard e Kazmierczak (2017) avaliaram que para 24 h de estabilização, em 28 dias após moldadas, houveram diminuição do módulo de elasticidade, da resistência à tração na flexão e à compressão. Apesar disso, os autores destacam que se bem dosadas essa diminuição das propriedades podem ser controladas para atender o uso como argamassa de revestimento.

Há também a dificuldade de execução correta dos serviços em pequenas obras, necessitando de equipe treinada e também necessidade de um armazenamento correto em masseiras plásticas com correta retirada do material para não comprometer a qualidade final. Para pequenas obras, o uso dessa argamassa pode não ser economicamente viável (Dall'aglio, 2017).

Quanto ao custo, autores como Silva e Nakakura (2012) e Nunes (2014) indicam uma redução de custos diretos totais da obra com argamassa estabilizada, destacando apenas que o custo de aquisição desse material é maior por possuir materiais mais caros na composição, como os aditivos. No entanto, Dall'aglio (2017) sugere que não há uma tendência única na comparação de custo entre argamassa preparada em obra e argamassa estabilizada, que os custos envolvidos podem ser influenciados para mais ou menos de acordo com as variantes do orçamento como distância logística, que influencia no preço do frete, valor da mão de obra que varia entre regiões, preço dos componentes da argamassa e até margem de lucros das empresas.

Outra desvantagem do uso da argamassa estabilizada é a dependência do uso de aditivos, alguns aditivos mais caros podem aumentar o custo total de produção, existe a dependência de fornecedores, tornando o projeto mais dependente de terceiros (Dall'aglio, 2017). Há ainda possíveis impactos ambientais negativos da produção dos aditivos e do descarte, se não forem gerenciados corretamente (Paula, 2016). Portanto, é essencial

considerar as vantagens e desvantagens, para melhor análise do cenário para alcançar os resultados desejados.

3.2.1 *Materiais constituintes das argamassas estabilizadas*

As argamassas estabilizadas são compostas por aglomerantes, agregados finos, água e aditivos.

- Aglomerantes

Alguns cimentos Portland utilizados para a produção de argamassas estabilizadas no Brasil são o Cimento Portland (CP) II- F (Filler) - 32, CP II- Z (pozolana) 32 e CP IV – 32 (Casali et al, 2018; Guindani, 2018). A utilização do cimento CP V- ARI (cimento Portland de alta resistência inicial), requer cuidados durante a produção por possuir menor tempo de pega e uma alta resistência inicial que podem prejudicar a estabilização (Guindani, 2018). Autores como Paulino (2020), Bortolon (2021) e Oliveira (2017) estudaram argamassas estabilizadas com CP V. Bortolon (2021) justificou seu uso por haver menor teor de adições permitindo uma análise mais clara dos resíduos adicionados. Por exemplo, cimentos com alto teor de cinza volante podem provocar problemas de incorporação de ar, dependendo do teor de carbono livre da cinza utilizada na mistura (SPÖREL *et al*, 2009).

Casali et al. (2018) estudou o comportamento de argamassas estabilizadas fabricadas com três tipos de cimentos Portland, cimento Portland CP II - F - 32: Cimento Portland contendo aproximadamente 10% de fíler calcário, CP II - Z - 32: Cimento Portland contendo aproximadamente 10% de fíler calcário e 10% de cinza volante e CP IV - 32: Cimento Portland contendo aproximadamente 6% de fíler calcário e 25% de cinza volante.

Os autores identificaram que o cimento Portland CP IV – 32 apresentou uma finura intermediária e por isso proporcionou um bom tempo para o início das reações de hidratação e possuía uma boa ação do aditivo incorporador de ar, consequentemente melhorando a propriedade de consistência e comportamento reológico. Enquanto os outros cimentos Portland tinham desempenhos menores em algum dos quesitos, neste caso considerando a mesma relação água/cimento.

Para Casali et al (2018) quanto maior a finura do cimento Portland, as reações de hidratação, que consomem água, começam mais cedo. Portanto, considerando a mesma relação água/materiais secos, a quantidade de água disponível para promover as reações diminui mais cedo para o Cimento Portland mais fino. Em seu estudo, cimentos com finuras

finas necessitaram de uma maior quantidade de aditivo estabilizador de hidratação para proporcionarem as argamassas o mesmo tempo de estabilização de um cimento Portland de finura intermediária.

De acordo com Guindani (2018) em países como os Estados Unidos, existem cimentos específicos para uso em argamassas, são os chamados *mortar cements* e *masonry cements*. Eles já possuem formulação contendo cimento Portland, adições específicas de cal hidratada e finos como filler calcário para prover maior plasticidade e melhores propriedades como retenção de água e tempo de pega (ASTM, 2010).

A cal hidratada também pode ser utilizada como aglomerantes em argamassas. Autores como Trevisol et al. (2023) estudaram o impacto da quantidade de cal hidratada tipo I (CH I) na estabilidade de argamassas estabilizadas de revestimento. De acordo com os autores o uso da cal como segundo aglomerante na argamassa estabilizada melhora a reologia da mesma, além de diminuir a rigidez no estado endurecido, porém o tempo de estabilidade e o tempo de retardo para início de pega sofrem alterações, diminuindo. Os autores explicam a aceleração do tempo de pega das pastas com cal devido a ação dos cales que agem fisicamente na hidratação do cimento por conta da nucleação heterogênea. Sendo assim, isso leva a uma alteração na proporção e quantidade de aditivos utilizados.

De acordo com Turra (2016), por vezes o aditivo incorporador de ar substitui o uso da cal hidratada, uma vez que algumas vantagens decorrentes da retenção de água da cal na argamassa, são supridas pelo uso do aditivo, incluindo a melhor trabalhabilidade, absorção dos acomodamentos iniciais das estruturas.

Ribeiro e Carasek (2023) também utilizaram cal hidratada em seu estudo realizado em Goiás, no entanto autores como Silva (2023) e Paulino (2020) com estudos realizados em Campina Grande PB não utilizaram a cal em seu estudo sobre argamassas estabilizadas, assim também como Casali et al (2011) com estudo realizado sobre argamassa estabilizada em Curitiba no Paraná. Conclui-se assim, que a utilização ou não da cal hidratada na argamassa estabilizada varia no Brasil de estado para estado.

- Agregado miúdo

De acordo com Guindani (2018) os agregados em argamassas representam 70% do volume de partículas sólidas e influenciam em vários parâmetros no estado fresco e endurecido das argamassas. Nas argamassas estabilizadas deve-se evitar partículas de agregado que possam provocar segregação devido a necessidade de manter o estado fresco por períodos prolongados (Guindani, 2018).

A Tabela 1 apresenta algumas características necessárias para os agregados pertinentes a argamassas estabilizadas.

Tabela 1: Resumo de características dos agregados e seu principal efeito em argamassas de revestimento e assentamento de alvenarias.

Característica do Agregado	Efeitos Principais	Estudo
Módulo de Finura	Módulos de finura próximos de 3,0, reduzem a capacidade de estabilização no estado fresco.	Pagnussat, Vidor e Masuero (2012)
Distribuição Granulométrica	Curvas granulométricas contínuas resultam em elevado teor de pasta para recobrimento dos grãos. Curvas descontínuas favorecem a trabalhabilidade, o manuseio e a aplicação das argamassas de revestimento.	Cardoso (2009)
Formato das Partículas	Formas semelhantes a esferas favorecem a trabalhabilidade. Formatos irregulares aumentam o consumo de água e de pasta, e provocam travamento no fluxo da argamassa de assentamento e revestimento de alvenarias, dificultando o manuseio e aplicação.	Westerholm et al, (2008); Erdogan et al, (2008); Cardoso (2009); Rashad (2016); Silva, De Brito e Dhir. (2016).
Absorção de Água	Partículas com alta capacidade de absorção aumentam o consumo de água das argamassas de revestimento, refletindo negativamente no estado endurecido.	Silva, De Brito e Dhir. (2016).

FONTE: Adaptado de Guindani (2018, p.37).

Na escolha do tipo de agregado miúdo (areia) deve-se atentar para a curva granulométrica do material. Guindani, (2018) afirma que para garantir um efeito favorável em argamassas estabilizadas, a areia deve possuir granulometria média ou média-fina, módulo de finura próximo de 2,0 e baixa absorção de água.

Areias com altos teores de finos podem prejudicar a aderência da argamassa (principalmente partículas inferiores a 0,075 mm). Areias muito grossas prejudicam a trabalhabilidade da argamassa e, conseqüentemente, sua aplicação ao substrato fica prejudicada. Areias mais grossas em contrapartida proporcionam maior resistência de aderência (Guindani, 2018). Para garantir bons resultados de aderência e diminuição da retração deve-se possuir areia de granulação contínua (Carasek, 2010).

Hermann e Rocha (2013) utilizaram areia com módulo de finura de 1,68 para argamassa estabilizada. De acordo com os autores, os fabricantes de aditivos de argamassa estabilizada também recomendam um módulo de finura de cerca de 1,7 para areia.

Para Oliveira (2017), nos canteiros de obras geralmente a areia fina é a escolhida para a argamassa de revestimento por proporcionarem melhor plasticidade e trabalhabilidade. No entanto, em uma granulometria contínua e bem graduada a areia média também contribui para bons resultados. Segundo o autor, ambas as areias possibilitam o emprego na fabricação de argamassas estabilizadas, seu uso vai depender da aplicação requerida para a argamassa.

Montenegro (2023) estudou a influência do tipo de areia em argamassas estabilizadas por até 48 h e constatou que o formato do grão de areia e a sua granulometria influenciam nas propriedades no estado fresco e endurecido. As areias de formato mais arredondado e com menos finos apresentaram maior fluidez e facilidade de manuseio e apresentaram resultados de propriedades mais próximas ao longo da estabilização. No entanto, no estado endurecido as areias com uma maior quantidade de finos e de formato mais angulares apresentaram menor absorção por capilaridade e maior resistência à tração e compressão.

- Aditivos

Para aumentar a capacidade de manter suas propriedades no estado fresco às argamassas estabilizadas adicionam-se aditivos. Os principais aditivos utilizados são os incorporadores de ar (AIA) e aditivos estabilizadores de hidratação (AEH) (Bortolon, 2021).

- *Aditivo incorporador de ar*

Os aditivos incorporadores de ar proporcionam maior trabalhabilidade às misturas. Eles são compostos que ao serem colocados na interface ar-água, reduzem a tensão superficial, por isso são chamados de tensoativos de natureza aniônica. Eles incorporam ar à mistura e diminui o atrito interno entre as partículas (Moraes et al, 2022). O AIA interfere na plasticidade da massa, melhorando assim a execução dos serviços com a argamassa. Não se deve utilizar AIA em proporções inadequadas pois pode tornar a argamassa estabilizada porosa e permeável (Moraes et al, 2022).

De acordo com Oliveira (2017), o aditivo incorporador de ar é o responsável pela redução do teor de água e aumento do ar incorporado, conforme seu incremento na produção das argamassas. Esse efeito é potencializado quando associado ao aditivo estabilizador de hidratação, em conjunto os dois aditivos reduziram os coeficientes de capilaridade à medida que ocorreu os incrementos. No estudo, constatou-se que o AIA não prejudicou as

resistências à compressão e à tração na flexão visto que reduziu a relação água/cimento, quando adicionado no teor adequado.

- *Aditivo estabilizador de hidratação*

Existe uma diferença entre o aditivo estabilizador de hidratação e os retardadores de tempo de pega tradicionais. Os AEH atuam no controle da hidratação agindo sobre as moléculas do cimento Portland criando uma película hidrorrepelente, bloqueando a ação da água, não permitindo que o elemento para iniciar a reação de hidratação alcance o cimento Portland (Guindani, 2018). Assim, os AEH atuam em todas as fases minerais do cimento e resulta em atraso na hidratação, inclusive do C_3A , retardando a formação de etringita e evitando a perda de trabalhabilidade no estado fresco (Guindani, 2018).

Os AEH interferem no desempenho das argamassas, em termos de tempo de Estabilidade (Moraes et al., 2012). É importante notar que a quantidade de aditivo estabilizador de hidratação a ser empregada deve considerar o tempo de estabilização desejado (Moraes et al, 2022).

Os produtos chamados retardadores de pega do cimento, atuam principalmente sobre a hidratação do C_3S e C_2S , e influenciam principalmente na resistência inicial, e não consegue manter a trabalhabilidade da mesma forma que os AEH. Eles formam uma barreira em torno dos produtos hidratados que impedem de forma temporária que ocorra mais hidratação, mas tem uma imprevisibilidade maior no controle dos tempos de pega. A diferença primordial entre os estabilizadores de hidratação e os retardadores convencionais é o grau de controle sobre a variedade de reações de hidratação na superfície do grão de cimento (Guindani, 2018).

Melo (2018) estudou argamassas estabilizadas com diferentes adições de aditivos estabilizadores de hidratação. Ele observou que há influência do aditivo estabilizador de hidratação no teor de ar das argamassas, para um teor fixado de aditivo incorporador de ar. A adição ou o aumento da quantidade implicaram na queda do teor de ar para argamassas com o mesmo traço.

Oliveira (2017) ao estudar o comportamento da formulação e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento verificou que a adição isolada de aditivo estabilizador de hidratação não influenciou no teor de ar incorporado, reduziu as propriedades mecânicas, diminuiu os coeficientes de capilaridade à medida em que foi incrementado, no entanto, em teores máximos de 1,5 % prejudicou os coeficientes de capilaridade e a absorção de água. Enquanto Schackow et al (2019) concluiu que a argamassa

estabilizada contendo 1,5% de aditivo retardador, não é indicada para uso pois a quantidade foi excessiva, evitando o endurecimento completo da argamassa, mesmo após 96 horas.

Casali et al (2011) e Silva (2023) verificaram que com o aumento do tempo de estabilização a resistência à compressão possui reduções expressivas. Conclui-se assim, que se deve ter cuidado com os teores máximos de aditivos adicionados nas argamassas, para não prejudicar suas propriedades.

Sharckow et al (2019) verificou em seu experimento com argamassas estabilizadas que com um aumento do aditivo retardador de pega, a retenção de água aumentou. O autor também verificou que o excesso de aditivo causou um retardo excessivo da reação de hidratação do cimento e, assim, uma diminuição significativa da resistência. O excesso de aditivos pode afetar negativamente esta propriedade nas argamassas estabilizadas. O uso de aditivo retardante de pega também pode ter contribuído para uma expansão da argamassa, pois retarda o endurecimento da argamassa, reduzindo o calor de hidratação do cimento responsável pela retração (Sharckow et al, 2019).

Guindani (2018) afirma que a resistência à aderência ao substrato pode ser prejudicada com o aumento do tempo de estabilização. Segundo ele, o aditivo estabilizador de hidratação possivelmente poderia causar interferências negativas. Assim, os cristais de etringita criados no processo de hidratação criam pontes de ligação entre a argamassa e o substrato. Nesse contexto, os aditivos retardadores e estabilizadores de hidratação atuam de maneira significativa sobre a hidratação do C_3A , interferindo no mecanismo de ancoragem, principalmente os aditivos a base de gluconato, mas também os aditivos a base de sacarose (Guindani, 2018). Da mesma forma, o ar incorporado pode reduzir a área de contato efetiva, devido às bolhas de ar na superfície. (Ma et al, 2015, Cheung et al, 2011)

As cargas iônicas das moléculas e das superfícies das partículas afetam o processo de estabilização das argamassas. Conforme Guindani (2018), a molécula do aditivo incorporador é preferencialmente aniônica e a do aditivo estabilizador polarizada.

A seguir é apresentado na Tabela 2 as principais interferências no processo de estabilização das argamassas.

Tabela 2: Resumo dos principais fatores influentes no processo de estabilização de argamassas.

Fator Interveniente	Influência no Processo de Estabilização	Estudo
Hidratação do Cimento Portland	Deve ser controlada com uso de aditivos estabilizadores de hidratação a fim de prolongar o tempo de indução.	Casali et al (2011); Ma et al (2015); Bauer et al (2015)
Carga iônica do aditivo estabilizador de hidratação	Capacidade de homogeneização das cargas superficiais das partículas de cimento. Aumento da fluidez e da trabalhabilidade.	Ma et al (2015); Bessaiesbey et al, (2016)
Base química do aditivo estabilizador de hidratação	Sacarose não atua sobre a fase C ₃ A permitindo a formação de etringita e reduzindo a fluidez. Gluconatos atuam sobre todas as fases anidras do cimento e apresentam melhor manutenção da fluidez.	Singh (1976); Juenger e Jennings, (2002); Bishop e Barron, (2006); Cheung et al, (2011); Guindani (2018)
Incorporação de ar	Promover trabalhabilidade por longos períodos. Redução da exsudação e segregação.	Alves (2002); Romano (2013)
Coalescência das bolhas de ar	Redução da trabalhabilidade, aumento do atrito interno da argamassa, aumento da exsudação e segregação.	Alves (2002); Romano (2013)
Carga iônica do aditivo incorporador de ar	Cargas aniônicas geram afinidade com os íons Ca ²⁺ dissolvidos. Aumentam a durabilidade das bolhas, evitando sua coalescência.	Ley et al. (2009)
Tamanho das Partículas do Agregado	Módulos de finura entre 1,0 e 2,0 favorecem a estabilização. Módulo de finura próximo de 3,0 ou maior, não são favoráveis.	Pagnussat, Vidor e Masuero (2012)
Tipo de cimento Portland	Cimentos com finura e tempo de pega moderados são favoráveis (CP II-32). Cimentos com elevada finura e alta resistência inicial não são favoráveis (CP V). Cimentos com elevado teor de cinza volante não são favoráveis (CP IV).	Casali et al, (2011); Bauer et al, (2015); Bellei et al (2015); Casali et al (2018).
Características do Clínquer	Presença da fase C ₃ A na forma cristalina ortorrômica eleva sua reatividade e desfavorece a estabilização.	Cheung et al. (2011)

FONTE: Adaptado de Guindani (2018, p.40).

3.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA ESTABILIZADA

3.3.1 Trabalhabilidade, consistência, e plasticidade

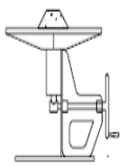
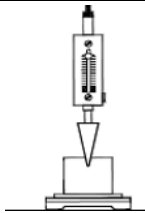
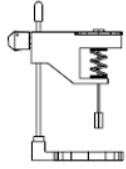
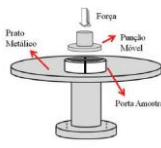
Carasek (2010) define esses três conceitos: a trabalhabilidade é a propriedade que determina a facilidade com que as argamassas podem ser utilizadas em condição homogênea. A consistência é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir às deformações. Ela determina a condição adequada da argamassa ao substrato. Já a plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa conserva-se ou não deformada após diminuição das tensões de deformação. Em termos reológicos, a plasticidade está relacionada com a viscosidade da argamassa (Carasek, 2010).

A plasticidade e a trabalhabilidade são influenciadas pela consistência e influência na utilização prática do material na obra. Quanto à consistência a argamassa é classificada em seca, plástica e fluida (Carasek, 2010).

Para Carasek (2010), a consistência e a plasticidade afetam diretamente a trabalhabilidade, e muitas vezes são confundidos como sinônimos.

A seguir, no Quadro 1 são apresentados os principais métodos para obtenção da consistência em argamassas, dentre eles: mesa de consistência, penetração do cone e squeeze flow.

Quadro 1: Resumo dos principais métodos empregados para avaliar a consistência e a plasticidade de argamassas.

Método	Norma	Esquema	Breve descrição	Propriedade avaliada	Parâmetro reológico que controla o fenômeno
Mesa de consistência (<i>Flow table</i>)	NBR 7215 e NBR 13276		A consistência é estabelecida em função do espalhamento após a aplicação de um determinado número de golpes na mesa de consistência. Para este ensaio, a medida obtida relaciona-se com a viscosidade e não com a tensão de escoamento porque ao aplicar os golpes, a amostra é submetida a uma tensão que é maior que a tensão de escoamento. Entretanto, esta afirmação deve ser encarada com certa cautela, uma vez que o ensaio não permite uma avaliação do material em função do tempo, o que seria necessário para uma possível correlação com a viscosidade.	Consistência e plasticidade	Viscosidade
Penetração do cone	ASTM C 780		O princípio deste teste é que a profundidade de penetração de um determinado corpo dependerá da tensão de escoamento do material testado. Geralmente, a massa do corpo é pré-estabelecida. Então, estes testes avaliam se a tensão aplicada é maior ou menor que a tensão de escoamento do concreto.	Consistência	Tensão de escoamento
Vane teste	BS 1377 e ASTM D 4648 (solos)		Ensaio muito utilizado na mecânica dos solos para determinação da tensão de cisalhamento de solos argilosos. O princípio é cravar uma palheta em cruz na amostra e aplicar um carregamento com uma taxa pré-determinada. Durante o ensaio registra-se a carga e a deformação imposta à amostra, bem como a tensão última de ruptura.	Consistência	Tensão de escoamento
<i>Squeeze flow</i>	NBR 15839		A reometria por <i>squeeze-flow</i> consiste na compressão de uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas. Uma determinada força é aplicada ao material e a deformação resultante é registrada. O método permite ainda a variação da taxa de sollicitação e também da magnitude das deformações, uma versatilidade bastante importante para permitir a simulação de diferentes situações práticas.	Consistência	Tensão de escoamento

Fonte: Adaptado de Carasek, 2010; Sousa e Lara (2005); Bauer, 2005; Costa et al., 2013.

3.3.2 Reologia das argamassas

De acordo com Shinhorelli (2019), a reologia é uma ciência que estuda o fluxo e a deformação da matéria. O seu estudo baseia-se na avaliação da relação entre a tensão de cisalhamento aplicada e a deformação em determinado período de tempo. A reologia engloba a elasticidade, plasticidade e viscosidade (Shinhorelli, 2019).

Carvalho (2022) afirma que prevê o comportamento reológico das argamassas está relacionado com os materiais e suas proporções que resultam no composto final. O estudo do seu comportamento reológico é importante para compreender como os compostos sofrem as perturbações externas que podem interferir em seu estado fresco.

Cada fluido, seja ele líquido ou gasoso, apresenta propriedades reológicas características e têm um modelo reológico que melhor representa o seu comportamento quando lhes são aplicadas as tensões (Carvalho, 2022).

As argamassas têm o comportamento reológicos, normalmente, descrito pelo modelo de Bingham, isto porque os parâmetros usados são fatores que podem ser medidos independentemente e atendendo uma ampla faixa de consistência (Carvalho, 2022).

O modelo de Bingham é apresentado na Equação 1.

$$\tau = \tau_0 + n\gamma \quad (1)$$

onde:

τ = tensão de escoamento [Pa];

n = viscosidade [Pa.s];

γ = taxa de cisalhamento [s⁻¹]

Os principais ensaios para caracterização reológica das argamassas são: reômetro rotacional, reômetro de palhetas (*Vane Spidle*), Viscosímetro. Além dos ensaios citados acima, há o ensaio *Squeeze flow* (também chamado de escoamento por compressão axial) (Carvalho, 2022), que será utilizado neste trabalho e por isso será destaque da seção a seguir.

3.3.3 Avaliação reológica pelo Ensaio Squeeze Flow

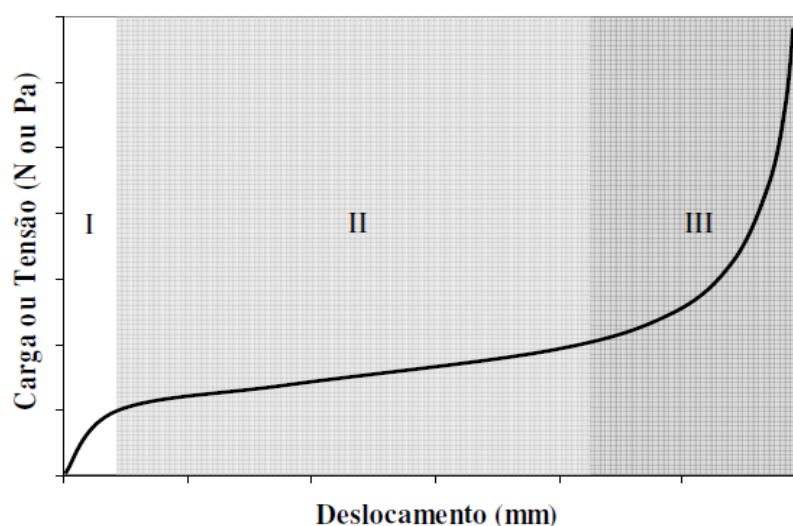
De acordo com Cardoso, Pileggi e John (2010), o ensaio consiste em comprimir uma amostra moldada em um recipiente cilíndrico entre duas placas paralelas. Ele avalia os materiais em qualquer nível de consistência. Ele permite a variação da taxa de solitação e

também da magnitude das deformações possibilitando simular situações práticas como as etapas de espalhamento, nivelamento e acabamento (Cardoso, Pileggi e John, 2010).

O ensaio pode ser por controle de força ou por deslocamento. A velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s é recomendada por sempre ocorrer em situações práticas, mas velocidade como 3mm/s também é interessante para avaliar o material sob uma condição diferente, mas possível de ocorrer na prática (Cardoso, Pileggi e John, 2010).

O perfil padrão de um ensaio de *squeeze flow* com controle de deslocamento é o mostrado na Figura 1.

Figura 1: Perfil típico de carga vs. deslocamento de um ensaio de *squeeze-flow* realizado com deslocamento controlado. Estágio I: pequeno deslocamento - deformação elástica; estágio II: deslocamento intermediário - deformação plástica e/ou fluxo viscoso; estágio III: grande deslocamento - enrijecimento por deformação (strain hardening).



Fonte: Cardoso, Pileggi e John (2010).

No estágio I ocorre o pequeno deslocamento que indica uma deformação elástica. No estágio II ocorre o deslocamento intermediário que indica deformação plástica e/ou fluxo viscoso. No estágio III ocorre o grande deslocamento que indica um enrijecimento por deformação (Cardoso, Pileggi e John, 2010).

Sinhorelli (2019) realizou ensaio de *squeeze flow* para argamassas convencionais contendo agregado leve e MC e encontrou para a argamassa referência (sem adições) para uma consistência na mesa de consistência de 260 mm um deslocamento de 1,6 mm para uma força de 1000N em uma taxa de carregamento de 1 mm/s, enquanto as demais misturas com MC e vermiculita apresentaram valores maiores que 2,0 mm, chegando a atingir até 2,5 mm

para uma força de 1000N. Como o valor do índice de consistência foi pré-fixado para todas as argamassas em 260 mm, partiram da premissa que, de acordo com o ensaio de mesa de consistência, todas as misturas apresentaram um comportamento similar quanto à trabalhabilidade. No entanto, ao analisar os resultados do *Squeeze Flow* é possível constatar que as argamassas apresentaram comportamentos distintos entre si. Pelo ensaio foi possível concluir que as misturas com vermiculita e MC apresentam uma menor viscosidade e maior facilidade de espalhamento.

Autores como Da costa et al. (2021) realizaram o ensaio *squeeze flow* para uma argamassa de referência e argamassas com teores de substituição da areia por resíduos de EVA e poliéster até 30% e observaram resultados de deformação até 3,9 mm para a argamassa referência, resultados próximos para as argamassas com 20 e 30% de substituição que continham aditivo superplastificante, apenas a argamassa com 10% de resíduos (sem aditivo) apresentou menor deformação, na faixa de 3,3 mm. O aditivo foi adicionado segundo os autores para compensar a perda de trabalhabilidade da argamassa com o resíduo visto o seu alto grau de absorção.

Ribeiro, Costa e Silva (2018) estudou o comportamento reológico de argamassas estabilizadas até 72 h de estabilização em uma velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s e observou que as argamassas tinham deslocamento variando de 0,8mm a 3,7 mm. Observou – se que à argamassa de 72h mostra uma menor plasticidade, em comparação com a de 36h para todas as argamassas.

Casali et al. (2020) estudou argamassas estabilizadas com diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação (0%, 0,4% e 0,8%) para os tempos de 0h e 48 h de estabilização e realizou o ensaio *squeeze flow*. Os autores constataram que a presença do aditivo estabilizador aumentou o deslocamento para a mesma carga, ou seja, o aditivo facilitou a movimentação das partículas. Observou-se também deslocamento variando de 6,3 a 8 mm para uma carga de 1000 N e as argamassas em 48h de estabilização apresentaram menores deslocamentos.

3.3.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A densidade de massa, também chamada de massa específica, varia com o teor de ar e com a massa específica dos materiais constituintes a argamassa, prioritariamente do agregado, sendo geralmente expressa em g/cm³ (Carasek, 2010). A densidade de massa das argamassas no estado fresco é determinada pela NBR 13278 (ABNT, 2005a). Elas podem

ser classificadas em argamassas leve, normal e pesada. As argamassas mais leves proporcionam uma argamassa mais trabalhável e aumenta a produtividade (Carasek, 2010)

O Quadro 2, apresenta a classificação das argamassas quanto à densidade no estado fresco de acordo com Carasek (2010).

Quadro 2: Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado Fresco.

Argamassa	Densidade de massa A (g/ cm ³)	Principais agregados empregados	Uso/ observações
Leve	< 1,40	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$2,3 \leq A \leq 1,40$	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	> 2,30	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Adaptado de Carasek (2010).

O teor de ar das argamassas é um dos responsáveis pelos vazios na massa e afetam propriedades no estado fresco (densidade de massa, retenção de água) e endurecido (resistência) (Carasek, 2010). O teor de ar das argamassas é influenciado pelo processo de mistura e do tipo de aditivo incorporado (De Assis et al., 2019). O teor de ar incorporado pode ser determinado pelo método gravimétrico da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) descrito na Norma Brasileira NBR 13278 (ABNT, 2005a).

De acordo com De Assis et al. (2019) o teor de ar incorporado influencia diretamente na densidade de massa relativa da argamassa tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, influenciando diretamente nas propriedades mecânicas. O autor estudou duas argamassas com adição de aditivos. A primeira com aditivo superplastificante e outra com aditivo incorporador de ar, ambas com 0,04% do teor de aditivo. A argamassa com aditivo incorporador de ar apresentou valores de ar incorporados 26% superiores ao da argamassa com aditivo superplastificante.

Dessa forma, no estudo de De Assis et al. (2019) a resistência à tração na flexão na argamassa com aditivo superplastificante apresentou valor de 3,5 MPa (350 %) superiores a argamassa com aditivo incorporador de ar. A resistência à compressão apresentou valores mais discrepantes, pois a argamassa com aditivo superplastificante apresentou uma vantagem de 23,6 MPa (1685,71%) com relação à argamassa com incorporador de ar.

Casali et al. (2011) estudaram o teor de ar incorporado em argamassas estabilizadas (36h a 72h de estabilização) para revestimento e encontraram uma pequena redução ao longo

do tempo de estabilização. Além disso, foi obtido um valor elevado (25% a 39%), que os autores citaram ser devido à utilização de aditivos.

3.3.5 *Coesão*

De acordo com Carasek (2010), a coesão são as forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante. A autora afirma que a coesão é relacionada com a trabalhabilidade da argamassa e a aderência inicial. O aumento do teor de cimento Portland e cal proporciona uma maior coesão (Lozovey, 2018). De acordo com Rixon e Mailvaganam (1999), os aditivos incorporadores de ar são tensoativos e quando adicionados às argamassas tendem a aumentar coesão, devido a formação de bolhas de ar. A ligação das bolhas de ar com os tensoativos ligados às partículas de cimento melhora a plasticidade e aumenta a estrutura (Rixon e Mailvaganam, 1999).

3.3.6 *Absorção de água por capilaridade*

De acordo com Sinhorelli (2019), na argamassa, no estado endurecido, pode ocorrer absorção de água através de vários meios como infiltração, sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água. A capilaridade é a absorção de água pelos capilares da argamassa. Esse fenômeno acontece quando o líquido entra em contato com um material hidrófilo. Nesse tipo de material, na existência de poros capilares, a água é atraída para o interior do poro pela depressão na superfície do material (Sinhorelli, 2019).

A capilaridade está relacionada com outras propriedades da argamassa, como por exemplo, densidade de massa no estado endurecido, teor de vazios e ar incorporado (Sinhorelli, 2019). Através do ensaio de absorção de água por capilaridade regido pela norma NBR 15259 (ABNT, 2005c) é possível verificar o transporte de água dentro da estrutura porosa, essa avaliação é feita através do coeficiente de capilaridade (Sinhorelli, 2019).

A NBR 13281 (2005) e a classificação MERUC (CSTB, 1993) estabelecida pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) abordam de forma simples a classificação de revestimentos monocamadas e classificam o coeficiente de capilaridade em 6 classes. A NBR 13281 (ABNT, 2005f) fixa que o ensaio deve ser feito regido pela norma NBR 15259 (ABNT, 2005c), norma usada neste trabalho. A nova norma NBR 13281 (ABNT, 2023) traz a classificação para o ensaio regido por outra norma, por isso optou-se por usar como referência a norma antiga. As classes estão representadas na Tabela 3:

Tabela 3: Classificação das argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005f) e Classificação das argamassas de revestimento MERUC do CSTB.

Classes	Coeficiente de capilaridade $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$
1	< 1,5
2	1,0 a 2,5
3	2,0 a 4,0
4	3,0 a 7,0
5	5,0 a 12,0
6	> 10,0

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005f); CSTB, 1993.

As classes apresentadas pela classificação MERUC são utilizadas para selecionar as argamassas para diferentes tipos de exposição da parede, condições atmosféricas e utilização do revestimento. Essa classificação estabelece que para paredes com forte exposição à chuva, por exemplo, o documento indica as classes de capilaridade máxima C1 ou C2.

Laurentino (2019) em seu estudo em argamassas estabilizadas com substituição parcial do cimento Portland por metacaulim até 20% observou que quanto maior foi o teor de MC maior absorção de água ocorreu. A argamassa referência apresentou o menor coeficiente de capilaridade de 0,32 ($\text{g/dm}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$) em 0 h de estabilização e a argamassa com 20% de MC apresentou o maior coeficiente de capilaridade com 1,4 ($\text{g/dm}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$) em 36 h de estabilização.

Paulino (2020) também estudou argamassas com substituição de até 20% de MC, observando que, para a argamassa de referência e a de 20%, a absorção aumentou com o tempo de estabilização. Contudo, para 10% de MC, a absorção cresceu até 36h e depois decresceu. A argamassa com 20% de MC apresentou a menor absorção capilar no geral. O menor valor de absorção aos 10 min de contato da argamassa com a água foi de 0,021 g/cm^2 para a mistura com 20% de MC em 0 h de estabilização, e o maior valor foi de 0,279 g/cm^2 para a argamassa com 10% de MC em 36 h de estabilização.

Silva (2023) em seu estudo sobre argamassa estabilizada utilizando MC e EVA encontrou valores de absorção por capilaridade variando de 0,006 g/cm^2 a 0,090 g/cm^2 em 10 min e 0,006 g/cm^2 a 0,229 g/cm^2 para o tempo 90 min, após contato da argamassa com a

água. A maior absorção ocorreu na argamassa de referência (com 10% de MC). A autora observou um aumento da absorção capilar ao longo da estabilização.

Cerqueira (2016) analisou argamassas industriais colantes e convencionais com adição de EVA de diferentes diâmetros máximos (2,0, 2,4 e 4,8mm). A granulometria afetou a porosidade, sendo observada, após 28 dias de idade, uma queda de 15,66% para 2,0mm e aumentos de 19,28% e 1,20% para 2,4mm e 4,8mm, respectivamente, em relação à referência. A autora concluiu que o aumento da granulometria resultou em maior porosidade e absorção de água por capilaridade.

3.3.7 Resistência à compressão e à tração na flexão

De acordo com a norma 13281 (ABNT, 2023a), os desempenhos mecânicos das argamassas estabilizadas devem atender os mesmos critérios das argamassas convencionais. Segundo Mota (2016), a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão são propriedades da argamassa no estado endurecido. As proporções dos materiais constituintes da argamassa influenciam na resistência. Por exemplo, uma adição de cal na medida certa pode provocar um aumento da resistência à tração e compressão, mas em quantidades superiores nota-se um decréscimo na resistência à compressão e na diminuição do módulo de elasticidade (Mota, 2006). O teor de cimento Portland, quanto maior, maior será a resistência à compressão, tração e rigidez, no entanto, maior fator água/cimento, diminui a resistência a tração e a compressão e à tração (Quarcioni e Cincotto, 2005).

A porosidade da matriz cimentícia é inversamente proporcional à resistência mecânica (Quarcioni e Cincotto, 2005). A norma NBR 13279 (ABNT, 2005d) preconiza os ensaios de resistência à compressão quanto à resistência à tração na flexão.

Laurentino (2019), Paulino (2020), e Silva (2023) realizaram estudos sobre a influência da substituição parcial de cimento por MC e EVA em argamassas estabilizadas, observando o comportamento da resistência à compressão e à tração na flexão ao longo do tempo de estabilização.

No estudo de Laurentino (2019) com argamassa estabilizada por até 20% de substituição de cimento Portland por MC, foi constatado que a resistência à compressão diminuiu ao longo do tempo de estabilização para todas as argamassas, incluindo a argamassa de referência. Foi observado também que as maiores resistências ocorreram em 0h de estabilização. A argamassa de referência chegou a ter uma perda de resistência de 85,27% em 48h comparada à 0h de estabilização.

Paulino (2020) também estudou argamassas com substituição de até 20% de cimento por MC e observou quanto à resistência a compressão que as argamassas atingiram valores que variaram de 10,52 a 19,59 MPa em função do tempo de estabilização e do teor de adição. Outro comportamento refletido foi que a amostra de referência apresenta um crescimento da resistência até às 36 horas de estabilização, porém há um decréscimo ao tempo de 48 horas. Para as amostras com metacaulim ocorreram reduções das resistências em 36 h de estabilização e em 48h ocorreram aumentos significativos em relação à 0 h. O comportamento na resistência à tração na flexão foi semelhante, com pico às 36 horas para a referência e quedas nas amostras com MC (20%) às 48 horas.

Silva (2023) estudou argamassa estabilizada com incorporação de MC e EVA para tempo de estabilização de 0 e 48h. A autora verificou que a argamassa referência (apenas com adição de 10% de MC) aumentou sua resistência à compressão em 48h, comparada à 0h de estabilização. Segundo a autora, as argamassas com 5% e 10% de substituição do agregado miúdo por EVA apresentaram um decréscimo de 64,38% e 64,58%, respectivamente, da resistência à compressão em 48h em relação à resistência à compressão em 0 h. Já a amostra com 15% de EVA apresentou um aumento de 7,02% de resistência à compressão em 48h em relação à 0h.

Além disso, Silva (2023) observou um aumento na resistência à compressão com a adição de EVA em 0h, em relação à argamassa de referência. Esse acréscimo foi de 93,81%, 27,43% e 0,88% para as misturas 5%, 10% e 15 % de EVA, comportamento oposto a outros estudos com EVA (Guimarães e Andrade, 2017; Da Costa et al., 2021). Com relação à tração na flexão, Silva (2023) observou uma diminuição da resistência à tração das misturas contendo EVA em relação à argamassa de referência. Além disso, a argamassa de referência (10% de adição de MC) apresentou aumento da resistência de 135,6% de 0h para 48 h de estabilização, enquanto as misturas com 5%, 10% e 15 % de EVA apresentaram um decréscimo de 15,63%, 66,96% e 27,72%, respectivamente, da resistência à tração em 0h em relação a resistência à tração em 48h, nas misturas.

3.3.8 Módulo de elasticidade dinâmico

Segundo Oliveira (2017), a capacidade de um revestimento resistir ou não a deformações pode ser avaliada através do módulo de elasticidade, que pode ser de dois tipos: método estático e método dinâmico. Os métodos estáticos são destrutivos e se baseiam na aplicação de carga, simultaneamente a medição da deformação, traçando-se a curva tensão-

deformação. Já o módulo de deformação dinâmico não é destrutivo e corresponde a uma pequena deformação instantânea, devido a uma carga muito baixa, assim é obtido pelo módulo tangente inicial, ele é superior ao módulo de deformação estático. O módulo de elasticidade dinâmico por ser determinado por propagação de ondas ultrassônicas ou por frequência ressonante (Oliveira, 2017).

O módulo de elasticidade dinâmico é um importante indicador para os estudos de susceptibilidades à fissuração (Oliveira, 2017). O módulo de elasticidade indica que a argamassa será mais deformável, o que ajuda na acomodação das deformações a que a alvenaria estiver sujeita. O método da velocidade de onda ultrassônica consiste em realizar a leitura do tempo de deslocamento de ondas ultrassônicas entre os topos do corpo de prova a fim de obter a sua velocidade de propagação (Macedo, Carneiro e Perlingeiro. 2020).

A NBR 13281-1 (ABNT, 2023a) traz classes para módulo de elasticidade dinâmico (Ed) pelo método de ensaio da NBR 15630. Sendo:

Tabela 4: Classes para o módulo de elasticidade dinâmico.

Classes	Módulo de elasticidade dinâmico (Ed) (Mpa)
E1	12000 <Ed < 14000
E2	9500 <Ed < 12000
E3	7000 <Ed < 9500
E4	Ed ≤ 7000

Fonte: NBR 13281-1 (ABNT, 2023a).

De acordo com a norma NBR 13281-1 (ABNT, 2023) classes de módulo de elasticidade dinâmico maiores que 14000 Mpa não são aceitos para argamassas inorgânicas para revestimento.

Araújo Júnior (2004) estudou argamassas mistas e industrializadas, observando uma boa correlação entre o módulo dinâmico e resistência à tração e compressão. Contudo, as Argamassas industrializadas apresentaram valores menores de módulos para maiores resistências, atribuídos às diferenças nos materiais, como o maior consumo de cimento Portland das argamassas industrializadas. Ela também foge à regra apresentando os maiores resultados médios de índice de vazios, ultrassom e absorção de água (Araújo Júnior, 2004).

Mayer (2022) investigou argamassas com agregados naturais e britados, notando que as últimas apresentaram maior densidade aparente, resistência à compressão e tração na

flexão, mas também maior porosidade e absorção por capilaridade, associados a menores módulos de elasticidade dinâmico. Isso pode ser explicado devido às características dos agregados. Sendo que a finura excessiva da areia natural (Módulo de finura= 1,33) e sua alta esfericidade podem ter proporcionado um baixo empacotamento de partículas, enquanto na areia britada, o teor de finos juntamente com as demais partículas de tamanhos mais bem distribuídos, pode ter proporcionado uma organização melhor das partículas, proporcionando maior densidade às argamassas com areia britada. No entanto, a presença de finos pode acarretar uma maior porosidade devido à elevada necessidade de água, diminuindo assim a água disponível para ajudar às reações da mistura (Mayer, 2022).

Aggelakopoulo, Bakolas e Moropoulou (2019) destacaram a importância da velocidade de propagação de ondas de ultrassom na análise do módulo de elasticidade, enfatizando que diferenças podem surgir devido à heterogeneidade microestrutural e características dos poros. A porosidade, entretanto, tende a resultar em menor susceptibilidade à fissuração. Isso vai ao encontro do fato de que argamassas com módulo de elasticidade menor (mais porosas) apresentam uma susceptibilidade à fissuração mais baixa (Fabro et al., 2022).

Comparativamente, Oliveira (2017) examinou argamassas estabilizadas com vários teores de aditivos AEH e AIA para ensaios de até 32 h de estabilização. Foi utilizado o método de propagação de onda ultrassônica e se obteve resultados variando de 6,55 a 9,98 GPA. Os valores obtidos para os ensaios de módulo de elasticidade dinâmico aumentaram conforme superiores consumos do aglomerante. O autor encontrou que os maiores teores do AEH (0,95%) elevaram os módulos de elasticidade, relacionando esses resultados ao menor teor de água, influenciando resistência e módulo.

Duarte et al. (2019) estudou argamassa estabilizada para assentamento de blocos de concretos até 48 h de estabilização e encontrou valores do módulo de elasticidade dinâmico, por propagação de ondas variando de 9,95 a 10,88 GPa em 28 dias de idade das argamassas. Ele observou também que o valor do módulo variava ao longo da estabilização, tendo o maior valor em 48h.

Macioski, Costa, Casali (2015) encontraram os valores do módulo de elasticidade dinâmico, por propagação de ondas, para as argamassas estabilizadas que variaram entre 8,8 e 15,38 GPa. Os autores estudaram argamassas estabilizadas para até 48 h e verificaram que a resistência à compressão tem uma boa correlação com o módulo de elasticidade dinâmico uma vez que o aumento da resistência à compressão causada pelo aumento da densidade de massa torna o material mais rígido e com menor capacidade de deformação. Isso também foi

observado no estudo sobre argamassa estabilizada até 48 h de estabilização de Casali et al. (2020).

Fabro et al. (2022) analisou argamassas estabilizadas até 48 h de estabilização, observando uma diminuição do módulo de elasticidade dinâmico com o tempo, acompanhada por reduções nas resistências à tração e compressão. A absorção de água, por outro lado, aumentou durante o período de estabilização. Os valores do módulo variaram de 11,03 GPa a 5,27 GPa.

3.4 ADIÇÃO DE FINOS

Os materiais finos (geralmente $< 150 \mu\text{m}$), sejam introduzidos como ligantes ou agregados em argamassas, influenciam nas propriedades do estado fresco e consequentemente interferirem no processo de estabilização (Guindani (2018). Os materiais finos necessitam passar por um pré-tratamento para aumento da finura e delimitação do tamanho máximo das partículas (Jackiewicz-Rek *et al* (2015); Rosales *et al*, (2017), Guindani, 2018; Farinha, De Brito e Veiga, 2015). Há casos em que é necessário fazer uma calcinação dos materiais para aumentar a reatividade das matérias-primas (Jamil et al., 2016; Rosales et al., 2017).

A introdução de materiais finos nas argamassas de cimento acarreta um aumento na demanda por água para alcançar determinadas características de consistência e plasticidade. Isso foi observado nos estudos de Jackiewicz-Rek et al. (2015) e Farinha, De Brito e Veiga (2015), que analisaram a inclusão de cargas de cerâmica sanitária (resíduos finos) entre 10% e 20% (em relação ao peso do cimento) na composição como agregados finos ($< 150 \mu\text{m}$). Essa incorporação resultou em melhorias na retenção da trabalhabilidade e em aumentos significativos de resistência à flexão e compressão, além de uma menor retração.

Na incorporação de materiais finos como cerâmica vermelha (Silva, De Brito e Veiga, 2009), concreto (Braga, De Brito e Veiga, 2012) e vidro (Oliveira, De Brito, Veiga, 2013), os percentuais máximos de adições de finos foram de 10%, 15% e 20 % respectivamente, para melhorar a trabalhabilidade.

De acordo com Farinha, De Brito e Veiga (2015), Silva, De Brito e Veiga (2009), Braga, De Brito e Veiga (2012) e Oliveira, De Brito, Veiga (2013), a incorporação de agregados reciclados muito finos (até $150 \mu\text{m}$) tem vantagens e desvantagens. As vantagens citadas pelos estudos foram melhoria da trabalhabilidade, do teor de ar, da resistência mecânica, retenção de água, absorção de água, permeabilidade da água sob pressão e

superfície de aderência. Em teores de finos adequados, a melhoria da trabalhabilidade se deve ao fato dos finos preencherem os vazios entre os agregados de areia, isso provoca a diminuição da quantidade de água requerida para hidratação dos agregados, influenciando também na plasticidade da massa (Farinha, De Brito e Veiga, 2015).

De acordo com os autores citados anteriormente, a diminuição do teor de vazios da argamassa dificulta a liberação de água, pois quando em contato com superfície porosa, a argamassa tem capacidade de reter água, melhorando assim a hidratação do cimento. Para as argamassas estabilizadas a propriedade de retenção de água é importante devido a capacidade que ela deve ter de manter-se trabalhável por longos períodos, por isso a presença de finos é importante (Guindani, 2018). No entanto, isso apresenta algumas desvantagens como maior módulo de elasticidade, maior retração e menor permeabilidade ao vapor de água. (Farinha, De Brito e Veiga, 2015, Oliveira, De Brito, Veiga, 2013)

Outro estudo realizado por Jamil et al. (2016) investigou a adição de cinza de casca de arroz à argamassa como substituto parcial do cimento Portland até 20% e constatou que a resistência à flexão, a absorção de água e a porosidade foram influenciadas de forma significativa pela incorporação de cascas de arroz de pequeno tamanho. Os autores apontaram que isso se deve ao maior grau de atividade pozolânica e de enchimento proporcionado por essas partículas.

De acordo com Guindani (2018), que utilizou adições de materiais finos como aglomerantes tais como filler de quartzo, cinza volante, filler de basalto e perlita, sua utilização traz efeitos nas propriedades do estado fresco das argamassas. Segundo o autor, uma elevada área superficial pode ter efeitos bons e ruins. Para ele quanto maior a área superficial dos componentes da mistura maior é o consumo de água necessária para alcançar a trabalhabilidade, por outro lado, uma maior área superficial pode aumentar a retenção de água na mistura e isso é positivo ao processo de estabilização no estado fresco diminuindo o efeito da exsudação.

Cardoso et al (2014) fez uma série de ensaios de caracterização com argamassa de reboco observando o comportamento reológico sob o *Squeeze-flow* e observaram que a baixa viscosidade e alta permeabilidade da argamassa resulta em maiores chances de segregação, consequentemente, o aumento de finos na argamassa combate estes fenômenos e reduz a tendência de segregação.

As adições de finos interferem na ação dos aditivos incorporadores de ar uma vez que a presença de uma área superficial elevada aumenta a capacidade de adsorção das partículas que adsorvem grande parte das moléculas dos aditivos incorporadores, por essa

razão alguns países têm normas que limitam a quantidade de perda ao fogo (associado a quantidade de carbono) das cinzas volantes, como por exemplo no Brasil (Guindani, 2018).

Guindani (2018), em sua pesquisa sobre a adição de finos em argamassas estabilizadas como aglomerantes, observou que durante a dosagem e ajuste do traço da argamassa para ensaios de caracterização foi necessário realizar, para todas as misturas, um acréscimo na dosagem do aditivo incorporador de ar, e um maior destaque para as misturas contendo cinzas volantes cuja a dosagem de aditivos mais que dobrou em relação à argamassa sem adição de finos.

De acordo com Mehdipour et al. (2016), os formatos das partículas dos agregados da argamassa também interferem nas propriedades no estado fresco. Quanto mais próximo ao formato esférico for as partículas mais irá favorecer a segregação da pasta pois há uma tendência de promover uma “lubrificação” entre os agregados. Partículas com maior angulosidade proporcionam uma maior intertravamento entre as partículas dos agregados (Mehdipour *et al.*, 2016).

Dessa forma, pode-se ver a possibilidade de diferentes materiais finos nas argamassas, como resíduos de cerâmica vermelha, pó de vidro, cerâmica branca, cinza da casca de arroz, sílica ativa, cinzas volantes, entre outros. O metacaulim por possuir propriedades pozolânicas pode ser incorporado como aglomerante, como será visto na próxima seção.

3.4.1 Metacaulim

O metacaulim é um material proveniente da calcinação controlada da caulinita e é constituído basicamente por silicato de alumínio hidratado, cuja fórmula química é $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Apresenta-se na natureza acompanhado de impurezas como quartzo, hematita, anatásio, muscovita, feldspato e vários outros (Rocha, 2005). Ele é capaz de reagir com o hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})$ gerado durante a hidratação do cimento Portland, formando produtos hidratados similares aos decorrentes da hidratação direta do clínquer Portland (Rocha, 2005; Brasil, 2009).

Quanto ao aspecto ambiental do uso do metacaulim, a exploração das jazidas de caulinita se for feita de forma adequada e respeitando a legislação pode se adequar a perspectiva ambiental (Rocha, 2005). Para sua produção requer forno calcinador e moinho, que não geram rejeitos perigosos ao meio ambiente. Soma a isso, a sua calcinação leva à emissão de até 90% menos CO_2 na atmosfera que o cimento Portland (Rocha, 2005). A

produção de metacaulim requer temperaturas mais baixas (entre 600 e 900 graus Celsius) que as para queima do clínquer do cimento (1450 graus Celsius) (Oliveira, 2020). O beneficiamento do caulim gera a areia quartzosa, que pode ser utilizada como resíduo na construção civil (Metacaulim do Brasil, 2022; Brasil, 2009).

Cassagnabére et al. (2013) afirmam que as propriedades reológicas das argamassas com metacaulim, como consistência e viscosidade, são fortemente dependentes da morfologia do metacaulim. Quanto mais circular (esférica) menos consistentes e mais viscosos, quanto mais rugoso ocorre o contrário.

Cyr et al. (2014) investigaram a influência do tipo de cimento Portland na eficiência da adição de metacaulim e constataram que a eficiência mecânica do Metacaulim é fortemente dependente do tipo de cimento utilizado. Com relação à resistência, os cimentos Portland com baixo teor de C_3A , por exemplo, o cimento Portland CP-V, apresentaram sistematicamente o pior desempenho aos 28 dias. A reação pozolânica do metacaulim é retardada em cimentos com baixo teor de C_3A , em comparação com o cimento Portland convencional, devido ao menor calor de hidratação, atraso no consumo de portlandita ($Ca(OH)_2$) e maior atraso na formação de etringita (Cyr et al., 2014).

Para Cyr et al. (2014) isso resulta em menor formação de hidratos de silicato de cálcio (CHS) e, conseqüentemente, menor desempenho em termos de resistência à compressão na mistura de metacaulim-cimento. Portanto, para o autor é mais recomendado usar um cimento Portland com maior teor de C_3A em combinação com metacaulim para melhorar a durabilidade. Cimentos com baixo teor de C_3A são recomendados devido à sua eficácia contra-ataques de sulfatos, mas no caso, o metacaulim é eficaz contra o ataque de sulfato de sódio, exceto ao sulfato de magnésio (Cyr et al., 2014).

O aumento na resistência à compressão é atribuído principalmente à reação pozolânica do hidróxido de cálcio livre (CH), liberado da hidratação do cimento Portland com o metacaulim, resultando em maior formação de produtos de hidratação, como gel de silicato de cálcio hidratado (CSH) e hidratos de CSH cristalino (Said-Mansour, 2011). Esses hidratos atuam como micro enchimentos, reduzindo a porosidade total e aumentando o número de centros de ligação nas amostras, conseqüentemente, leva a um aumento na resistência à compressão (Said-Mansour, 2011; El-Gamal, Amin e Ramadan, 2017).

No estado endurecido, embora o metacaulim possa melhorar a hidratação do cimento Portland, suas reações pozolânicas ocorrem principalmente em idade precoces, principalmente quando se usa metacaulim com alta superfície específica, com uma alta taxa de liberação de calor e rápida reação, podendo resultar em uma redução da taxa de aumento

da resistência do sistema cimentício em idades mais avançadas em comparação a argamassa sem MC, especialmente em altos níveis (30%, 50%) de substituição (Wei e Gencturk, 2019).

Segundo Wei e Gencturk (2019), o teor de etringita diminuiu com o aumento do nível de substituição de cimento até 28 dias, entretanto análises de curvas TGA e DTG sugerem um aumento do teor entre 28 e 90 dias de idade. Por exemplo, os autores observaram que a mistura contendo 10% em peso de MC apresentou melhores propriedades mecânicas que o cimento puro em 1, 7 e 28 dias de idade e as misturas com 30% de substituição de cimento apresentaram maior resistência após 28 dias. Entretanto, verificou-se que, após 28 dias, misturas com 50% de substituição apresentaram resistência semelhante à referência. Em altos teores de substituição pode ocorrer uma redução na elevação adiabática da mistura, havendo declínio da eficiência da adição de metacaulim na resistência (Wei e Gencturk, 2019).

No entanto, menores taxas de carbonatação e absorção capilar são reportadas quando da presença de metacaulim em argamassas, dado o refinamento da estrutura dos poros, com porosidade menos invasiva (Shi et al, 2016). Assim, conclui-se que é necessário um estudo do comportamento mecânico da argamassa com metacaulim para maiores idades para verificar a hidratação da mistura de cimento devido à atividade pozolânica do MC.

Em um estudo realizado por Silva e Azerêdo (2022) sobre argamassas estabilizadas para assentamento contendo metacaulim, foram obtidos resultados positivos em relação à adição dessa pozolana na mistura. Segundo as autoras, as misturas do estudo com metacaulim apresentaram reduções nos valores de espalhamento em comparação com a mistura de referência, especialmente após um período de estabilização de 48 horas.

Segundo Silva e Azerêdo (2022), a incorporação do metacaulim resultou em um aumento na densidade da massa no estado fresco, possivelmente devido a um arranjo mais eficiente dos espaços vazios. Essa redução nos espaços vazios contribuiu para a diminuição das bolhas e, consequentemente, para uma redução no teor de ar incorporado nas misturas.

As propriedades no estado endurecido também foram examinadas pelas autoras, que observaram que uma adição de aproximadamente 20% de metacaulim em substituição ao cimento Portland resultou em valores mais elevados de resistência, especialmente após um período de estabilização de 48 horas (Silva e Azerêdo, 2022).

No estudo realizado por Paulino (2020) em argamassas estabilizadas, foi observado que a substituição parcial de metacaulim por cimento Portland de até 20% proporcionou um aumento na densidade da mistura e uma redução no teor de ar incorporado. Isso indicou que o metacaulim resulta em menor trabalhabilidade, o que requer uma investigação das

dosagens de aditivos para melhorar a trabalhabilidade das argamassas ao longo do período de estabilização. De acordo com Vieira (2005), a adição de pozolanas como o metacaulim requer maior quantidade de água na mistura devido as suas partículas absorverem mais por causa das origens mineralógicas.

Além do MC, nas argamassas estabilizadas podem ter adições de materiais na forma de agregados leves objetivando melhorias em algumas propriedades. Na próxima seção será abordado o conceito de argamassa leve.

3.5 ARGAMASSA LEVE

De acordo com Carasek (2010), a argamassa leve é um tipo de argamassa que possui grãos porosos e leves, devido a isso reduz significativamente sua densidade. Para uma argamassa ser considerada leve, deve possuir uma densidade no estado fresco inferior a 1.400 Kg/m³ (Carasek, 2010). Sua utilização na construção civil traz vários benefícios.

Aqui estão algumas razões da importância do uso desse material (Nascimento, 2021):

- Redução do peso estrutural: Devido à baixa densidade em comparação às argamassas convencionais, resulta em componentes estruturais mais leves. Isso é importante pois a carga total é minimizada. Com menos carga, ocorre uma redução do consumo de materiais, minimizando impactos ambientais.
- Facilidade de aplicação: é uma argamassa mais fácil de manusear por sua menor densidade. Além disso, por possuir uma baixa densidade, o peso no transporte desse material é menor se comparada à argamassa convencional.
- Menor retração e rachaduras: a argamassa leve possui maior capacidade de absorver deformações.
- Isolamento térmico e acústico: esse tipo de argamassa geralmente apresenta propriedades de isolamento térmico e acústico melhores que a argamassa convencional. Por ser um material leve e poroso, o ar contido nos seus vazios dificulta a transmissão de som e calor. Assim, contribui para uma maior eficiência energética, por demandar menor uso de aparelhos para climatização.

3.5.1 Agregado leve

De acordo com Rossignolo (2009), existem vários tipos de agregados leves usados em argamassas e concretos. Quanto à origem eles podem ser classificados em naturais ou

artificiais. Os agregados leves naturais são obtidos por meio de extração de jazidas e posterior classificação granulométrica. Os agregados leves artificiais são obtidos por processos industriais e, normalmente, classificados como base na matéria-prima utilizada e no processo de fabricação (Rossignolo, 2009).

Como exemplo desses agregados leves artificiais temos a argila expandida, a perlita, a vermiculita, Aglomerados de Poliestireno Expandido (EPS), EVA (Etileno Acetato de Vinila), entre outros. A escolha do tipo de agregado dependerá das características buscadas para a mistura, como peso específico, resistência, isolamento térmico e acústico, entre outros (Rossignolo, 2009).

Autores como Koksall et al. (2019) e Santos et al. (2020) estudaram a introdução de vermiculita expandida, resíduos de poliestireno expandido e argilas expandidas em argamassas e concreto e observaram que a introdução de agregados leves propiciou menor peso específico, maior porosidade, diminuiu a condutividade térmica e reduz a resistência mecânica.

Um exemplo desse tipo de material que pode ser utilizado em argamassas e concretos é o EVA, um fato interessante, principalmente se incorporado como resíduo de um processo industrial. Autores como Rocha (2008), Paula (2011) e Silva (2023) estudaram a utilização desses resíduos em argamassas e verificaram a possibilidade de utilização.

- EVA

O EVA é um polímero microporoso obtido por polimerização via radicais livres do Etileno com Acetato de Vinila em reatores de alta pressão (Rocha, 2008). Ele é utilizado na indústria calçadista, indústria automotiva, entre outras e na construção civil devido às suas características singulares (Rocha, 2008; Menezes et al, 2018).

Rocha (2008) e Menezes et al (2018) destacam que o EVA possui baixa massa específica, boas características térmicas, estabilidade, inércia, baixa massa unitária e resiliência, tornando-o uma opção viável para uso como compósitos leves na construção civil. É importante considerar que as características do EVA, como sua capacidade de retardar as reações de hidratação do cimento, podem impactar a argamassa, por exemplo diminuindo o processo de formação de fissuras hidráulicas por causa do maior período de cura (Silva, Roman e Gleize, 2002).

De acordo com Ohama (2008), os polímeros, incluindo o EVA, podem ser incorporados em argamassas de diferentes maneiras. Segundo o autor, os polímeros

utilizados em argamassas na forma de látexes podem ser feitos por dispersão poliméricas aquosas ou de polímeros em pó redispersíveis. Os polímeros feitos por dispersão aquosa consistem em pequenas partículas dispersas em água e obtidas por polimerização por emulsão. O redispersível em pó é feito através da emulsão seguida do processo de secagem, que retira a água deixando o polímero em pó. Nesse processo, podem ser adicionados agentes para correção de PH, bactericidas, agentes de secagem, entre outros. No processo de emulsão e secagem são utilizados surfactantes (geralmente PVA), que fazem a fragmentação das partículas quando o polímero é colocado na água, adquirindo menores tamanhos (Ohama, 1998).

O EVA redispersível é um exemplo de aditivo polimérico colocado na argamassa em pó que melhoram a trabalhabilidade devido a atividade superficial dos polímeros e aumenta a viscosidade, além de formar um filme fino impermeável (Mansur, 2007).

De acordo com Garlet (1998), há dois tipos de resíduos do processo de utilização do EVA na indústria calçadista, os primeiros são as sobras das placas expandidas oriunda do processo de obtenção dos calçados (cortes). As placas podem ser produzidas de diferentes cores e tamanhos. O segundo é o pó oriundo do lixamento do calçado na fase de acabamento, que é o tipo de resíduo utilizado nesta pesquisa. A massa específica do EVA varia de acordo com a sua aplicação e de acordo com a solicitação ao que ele estará submetido, quanto maior a solicitação, maior a massa específica. Os EVAs também variam quanto à porcentagem de acetato de vinila (Garlet, 1998).

Ribeiro (2020) afirma que o EVA produzido pela indústria de calçados pode ser encaminhado para diferentes destinações, como um aterro sanitário controlado, a incineração ou, ainda, o processo de reciclagem. Devido à sua baixa densidade, o EVA requer espaço considerável tanto antes quanto depois de passar pelo processo industrial na indústria de calçados. A queima do EVA em fornos industriais ajuda a mitigar problemas associados ao seu armazenamento e disposição final, no entanto, esse método emite gases tóxicos na atmosfera, prejudicando outros ciclos naturais cruciais para a sociedade. Portanto, a reciclagem se apresenta como uma alternativa viável para incorporar esses materiais em novos produtos úteis na construção civil (Ribeiro, 2020).

Na fabricação de calçados são utilizados 40 tipos diferentes de materiais, sendo os principais: 25% de couro, 17% de poliuretano (PU), 16% de borracha termoplástica, 14% de Etileno Acetato de Vinila (EVA), 8% de policloreto de vinil (PVC), 7% de borrachas, 7% de outros materiais (metais, por exemplo) e 6% de materiais têxteis (CTC, 2000).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2020), a produção mundial de resinas termoplásticas em 2019 foi de aproximadamente 370 milhões de toneladas, sendo que o Brasil produziu 8,2 milhões de toneladas. Em 2020, o EVA representa cerca de 1,6% desse montante no Brasil. Esses dados mostram o impacto dos resíduos de EVA descartados pela indústria de calçados, entre outras.

De acordo com Rocha (2008), não mais que 40% dos resíduos de placas expandidas conseguem ser aproveitados. A disposição inadequada desses resíduos em aterros sanitários apresenta problemas ambientais, uma vez que o EVA possui baixa velocidade de degradação e a possibilidade de provocar contaminações ao meio ambiente, visto que a incineração deste resíduo libera gases tóxicos. Além disso, o EVA é um material termofixo, fator que impede o reaproveitamento completo dos resíduos na indústria calçadista (Rocha, 2008).

As principais características do EVA aplicado a indústria calçadista, são (Rocha, 2008):

- É um material termofixo, ou seja, podem ser modificados irreversivelmente por aquecimento;
- Atóxico;
- Flexibilidade e Tenacidade;
- Elasticidade similar à da borracha;
- Baixo preço.

Os estudos indicam que a adição de EVA em argamassas pode ter efeitos diversos. Silva (2023) observou que, no estado fresco, a adição de EVA melhorou a trabalhabilidade. A autora explica que isso pode ser causado devido a incorporação de EVA nas misturas proporcionarem melhor rolamento entre os grãos, aumentando a coesão do sistema, como também devido a diminuição da densidade e a incorporação de ar, no estado endurecido, houve diminuição da densidade e variações nas propriedades mecânicas (Silva, 2023).

Da mesma forma, Bomediano, Gomes e Fontanini (2020) também observaram o aumento do teor de ar incorporado com o aumento do EVA, o que pode afetar as propriedades da argamassa. Os autores destacam que o teor de EVA pode influenciar nas resistências à tração e compressão. No entanto, eles verificaram que essa redução na resistência pode ser minimizada por meio da redução da relação água-cimento e pela utilização conjunta de aditivos.

Santana et al. (2018) citam em seus experimentos com adição de EVA de até 8% do volume total do traço de referência, que a incorporação do EVA na argamassa reduziu suas

propriedades mecânicas como resistência à compressão, resistência à tração e o módulo de deformação e elasticidade. Esse comportamento corrobora trabalhos de outros autores como Da Costa et al., (2021), Menezes et al (2018). Entretanto, Santana et al. (2018) ressalta que apesar do uso do EVA diminuir a resistência, se bem dosado, ele pode ser utilizado em aplicações nas quais não seja necessária a elevada resistência mecânica e atender parâmetros normativos mínimos.

Guimarães e Andrade (2017), ao observarem, a diminuição da resistência à compressão da argamassa com adição de EVA, em substituição de agregados nos teores de 5%, 10% e 15% em massa, relataram que a variação da resistência à compressão (entre 7 e 28 dias) é maior quanto menor for o teor de EVA. Os autores explicaram que isso pode ser devido à redução do teor de água disponível para a reação de hidratação do cimento Portland, pois há uma possível interação eletrostática entre o EVA e a água, fazendo com que o EVA adsorva água. Para eles, essa adsorção de água resulta em um enfraquecimento na zona de transição entre a pasta e o EVA.

Da Costa et al. (2021) estudou sobre argamassas contendo resíduos a base de EVA e poliéster como agregado leve em substituições de até 30% do volume de areia e constatou que apesar da substituição de 20% trazer resultados semelhantes a argamassa de referência no estado endurecido, a argamassa com 30% de substituição apresentou resultados satisfatórios aos limites de utilização previsto na norma NBR 13479 (ABNT, 2013), para os valores de resistência à tração e módulo de elasticidade, mostrando viabilidade e segurança na utilização de tais resíduos na confecção de argamassas para assentamento e revestimento.

Com relação ao isolamento térmico, Menezes et al (2018) verificou que o acréscimo de EVA até 5% de substituição do volume de areia influenciou positivamente no isolamento térmico. No geral, as argamassas com acréscimo de EVA tiveram um desempenho superior comparado a argamassa convencional. O autor afirma que quanto menor a densidade da argamassa menor a propagação de calor pelo revestimento.

Menezes, Souza e Silva (2022), Santos (2013) e Tutikian et al (2017) estudaram a adição de EVA em compósitos cimentícios quanto ao nível de isolamento acústico. Os autores verificaram que o EVA possui bons resultados quanto ao conforto acústico. Santos (2013) afirma que as placas cimentícias com adição de EVA têm potencial para se classificarem como um material alternativo proporcionando atenuação de ruído de impacto entre os pisos de edificações multipavimentos.

Silva (2023) analisou argamassas estabilizadas com adições de metacaulim e EVA, fornecendo significativas contribuições. No estágio inicial, a adição de EVA melhorou a

trabalhabilidade das argamassas no estado fresco, resultando em maior incorporação de ar e redução da densidade da massa fresca. A autora explica que isso pode ser causado devido a incorporação de EVA nas misturas proporcionarem melhor rolamento entre os grãos, aumentando a coesão do sistema e também devido a diminuição da densidade (devido à baixa densidade dos componentes da mistura), isso é corroborado pelo estudo de Bomediano, Gomes e Fontanini (2020).

De acordo com a autora, observou-se uma redução no espalhamento das misturas em 0 horas, quando ocorreu substituição parcial de EVA até 15% em relação à mistura de referência. Entretanto, foi notado por Silva (2023) que um aumento no espalhamento da argamassa pode ocorrer à medida que o teor de EVA nas misturas é elevado. Isso se deve à adição de polímero nas misturas, o que acarreta o aumento da viscosidade da fase líquida. Essa elevação na viscosidade é atribuída ao efeito de vedação proporcionado pela formação de películas poliméricas muito finas e impermeáveis. Outra explicação está no aumento do teor de ar incorporado na mistura com a incorporação do EVA (Silva, 2023).

Silva (2023) também afirma que o aumento do teor de EVA proporcionou um decréscimo na densidade de massa aparente no estado endurecido. Um fato curioso postado pela autora foi a redução da absorção por capilaridade com adição de EVA, não era um fato esperado devido ao aumento do teor de ar incorporado. Mas a autora relata que isso pode ter ocorrido devido a formação dos filmes poliméricos e do aumento do grau de empacotamento das partículas diminuindo porosidade e aumentando a estanqueidade das argamassas.

De acordo com Silva (2023) também houve a queda nas resistências à tração por flexão e aumento na compressão em 48h de estabilização. Ao contrário de outros autores que estudaram a adição isolada de EVA nas argamassas e apresentaram redução nas resistências à tração e compressão, como visto anteriormente.

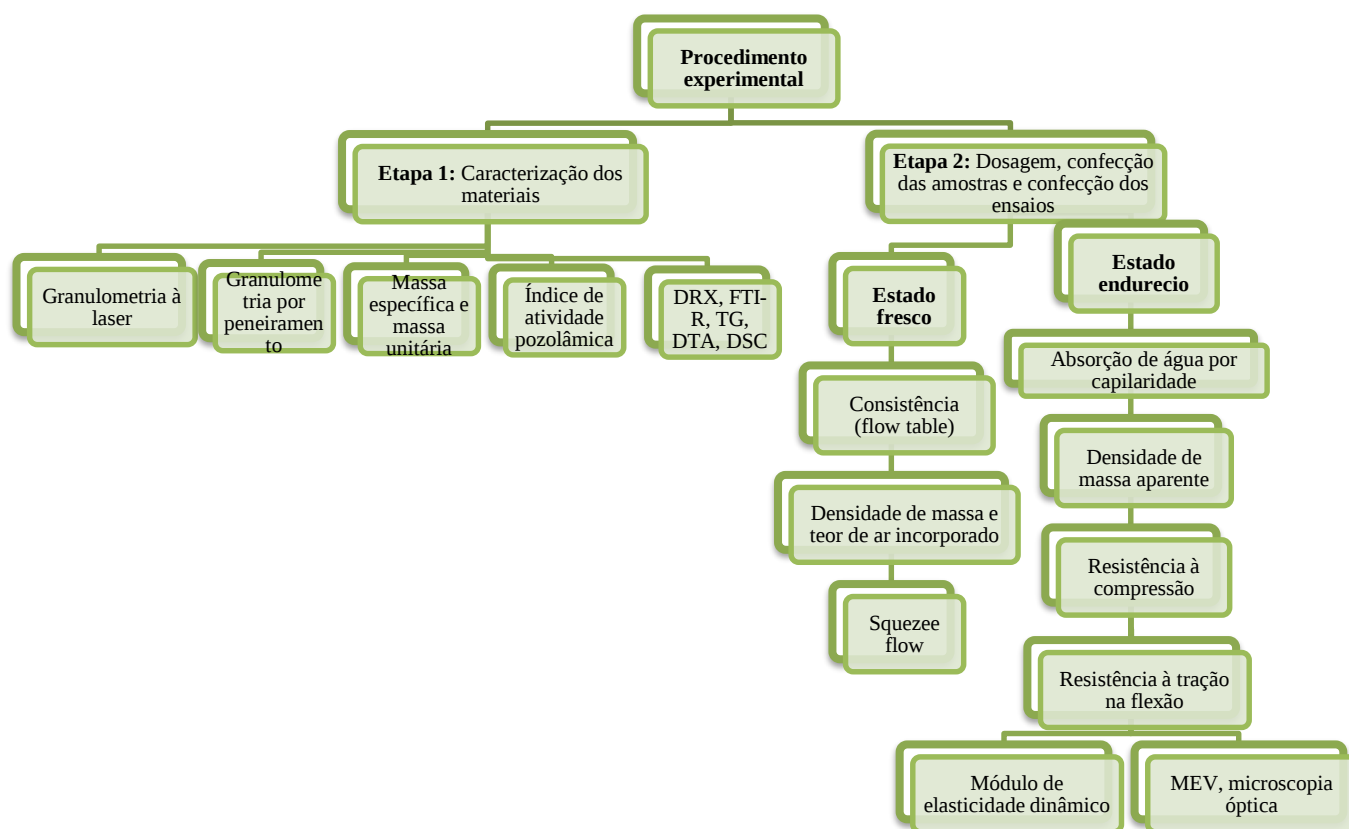
Os autores Bomediano, Gomes e Fontanini (2020) verificaram a influência do filme polimérico nas argamassas com adição de EVA através de imagens de microscopia óptica e verificaram que a presença do polímero nos vazios existentes selou os poros, melhorando a interface da matriz com os agregados, contribuindo para melhor desempenho do compósito.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item são detalhados os materiais utilizados e seus resultados de caracterização, as composições das misturas analisadas e os métodos para avaliação do comportamento das argamassas no estado fresco e endurecido.

O fluxograma da Figura 2 apresenta um resumo das etapas de trabalho propostas nesta pesquisa, sendo em duas etapas. Etapa 1 (caracterização dos materiais) e etapa 2 (dosagem, confecção das amostras e confecção dos ensaios).

Figura 2: Fluxograma do procedimento experimental.



4.1 MATERIAIS

O programa experimental utiliza os materiais apresentados na Tabela 5, sendo o cimento Portland CP V- ARI, o agregado miúdo, o EVA, o MC, o AIA, o AEH e a água. Como o EVA proporciona uma perda de resistência mecânica da argamassa (Silva, 2023; Guimarães e Andrade, 2017 e Da Costa et al., 2021), foi utilizado o metacaulim por proporcionar melhorias na resistência mecânica e também por ser o mais comumente utilizado (Silva e Azerêdo (2022), Laurentino, 2019 e Paulino, 2020).

Tabela 5: Materiais utilizados nas argamassas estabilizadas.

Materiais	Descrição
Cimento Portland (CP-V- ARI)	CP V ARI. Marca nacional
Agregado miúdo	Areia natural de granulometria fina.
Resíduo calçadista (EVA)	Material triturado doado pela empresa Alpargatas de Campina Grande - PB
Metacaulim Comercial (MC)	Metacaulim BZ (MK), fabricado pela Caulim Nordeste, situada em Ipojuca/PE.
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	Fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba.

O cimento Portland de alta resistência inicial CP-V foi escolhido por haver menores teores de adições. Além disso, o EVA atrasa as reações de hidratação de acordo com Silva, Roman e Gleize (2002), necessitando de um maior período de cura para as argamassas. Assim, para diminuir o tempo de desforma e liberação dos serviços com essas argamassas em aplicações práticas, o cimento CP-V ARI foi utilizado.

O resíduo calçadista (EVA) utilizado no presente trabalho foram fornecidos e triturados pela empresa Alpargatas, localizada no município de Campina Grande-PB. O EVA utilizado pode ser visto na Figura 3. O metacaulim usado foi adquirido no comércio local. Os aditivos foram doados pela empresa *GCP Applied Technologies*.

Figura 3: EVA utilizado nas argamassas estabilizadas.



4.1.1 Caracterização dos materiais

Foi realizada a caracterização física, química, mineralógica e microestrutural dos materiais. A Tabela 6 traz os ensaios realizados em cada tipo de caracterização, sendo eles descritos nos itens 4.1.2 a 4.1.6.

Tabela 6: Ensaios de caracterização dos materiais.

Caracterização	Ensaio	Norma utilizada
Análise física	Massa unitária - finos	Adaptado da NBR 16972 (ABNT, 2021a)
	Massa específica - finos	NBR 16605 (ABNT, 2017)
	Massa unitária - Areia	NBR 16972 (ABNT, 2021a)
	Massa específica- Areia	NBR 16916 (ABNT, 2021b)
	Granulometria - Areia	NBR 17054 (ABNT, 2022)
	Granulometria à laser- finos	-
	Absorção de água areia e EVA	NBR 16916 (2021b)
	Índice de Atividade Pozolânica (IAP)	NBR 12.653 (2014); NBR 5.751 (2015)
Análise química	Fluorescência de raios X (FRX) Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	-
Análise mineralógica	Difratometria de raios X (DRX)	-
Análise térmica	TG (Termogravimetria), DTA (Análise Térmica Diferencial) e DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial).	-
Caracterização microestrutural	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Microscopia óptica	-

4.1.2 Caracterização física

As massas unitárias do cimento Portland, do MC e do EVA foram determinadas através da norma NBR 16972 (ABNT, 2021a) com algumas adaptações. Foi utilizado um Becker de 10 ml, visto as suas sensibilidades a umidade e as limitações de quantidades disponíveis. As massas específicas do cimento Portland, do MC e do EVA foram obtidas através do ensaio preconizado na NBR 16605 (ABNT, 2017), utilizando o frasco de *Le Chatelier*. A massa específica do agregado miúdo foi obtida pela norma NBR 16916 (ABNT, 2021b) e a massa unitária pela norma NBR 16972 (ABNT, 2021a). As massas específicas dos aditivos foram obtidas no site da fabricante, a GCP Applied Technologies.

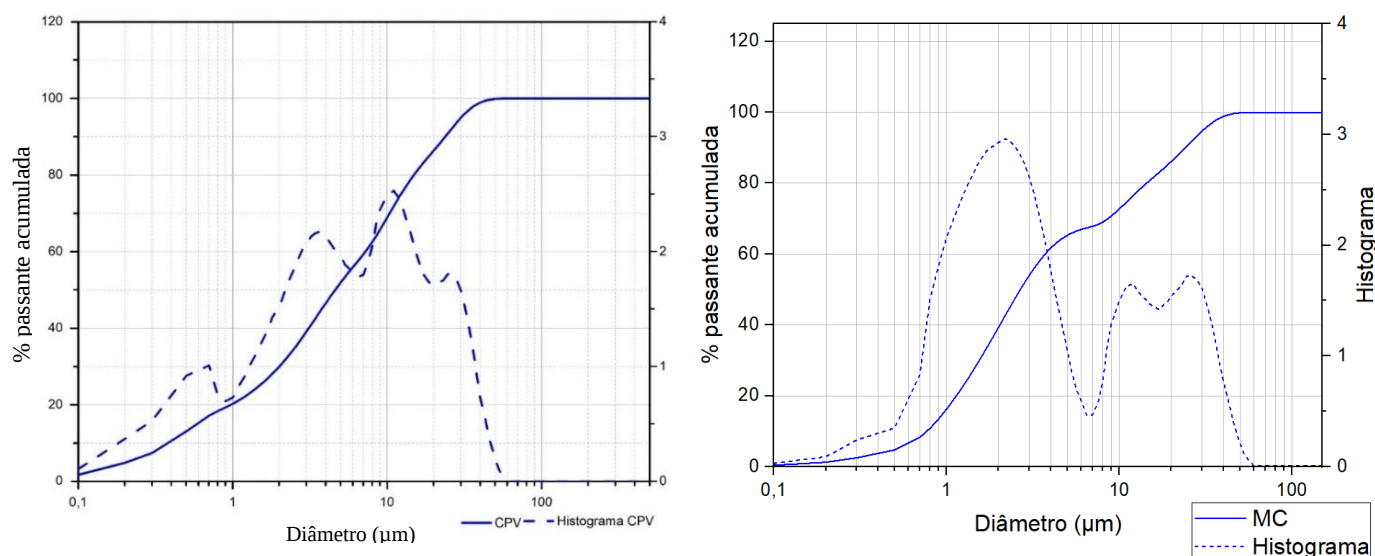
Tabela 7: Massa unitária e massa específica dos materiais.

Material	Massa unitária (g/cm³)	Massa específica (g/cm³)
Cimento Portland Tipo V	0,916	2,92
Agregado miúdo (areia)	1,66	2,63
Resíduo calçadista (EVA)	0,276	1,28
Metacaulim Comercial (MC)	0,477	2,55
Aditivo Estabilizador de Hidratação (AEH)	-	1,14
Aditivo Incorporador de Ar (AIA)	-	1,1

Os valores de massa unitária e massa específica dos materiais são similares aos comumente encontrados na literatura. O AEH possui forma líquida, cor amarelo claro e pH 10. O AIA possui a forma líquida, cor castanho claro e pH 9,5 (GCP Applied Technologies, 2023)

As curvas granulométricas do CP-V ARI e do MC foram obtidas pelo método de difração de raios laser via seco, através de um granulômetro CILAS 1090, para uma medida de distribuição do material em um faixa de tamanho entre 0,04 μm e 500 μm . As amostras foram beneficiadas na peneira nº 200 (0,074mm). O ensaio foi realizado no laboratório de materiais da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, campus João Pessoa. Assim, foram obtidas as curvas granulométricas a seguir:

Figura 4: Curvas granulométricas do cimento e do MC.



Observando a curva granulométrica do cimento Portland (Figura 4), observa-se que cerca de 70% das partículas do CP V- ARI estão compreendidas em um diâmetro menor que

10,1 μm . Já para o MC, cerca de 70% das partículas estão compreendidas em um diâmetro menor que 8,5 μm . Pode-se observar, assim, que o MC apresentou tamanhos de grãos menores que ao do CP-V ARI.

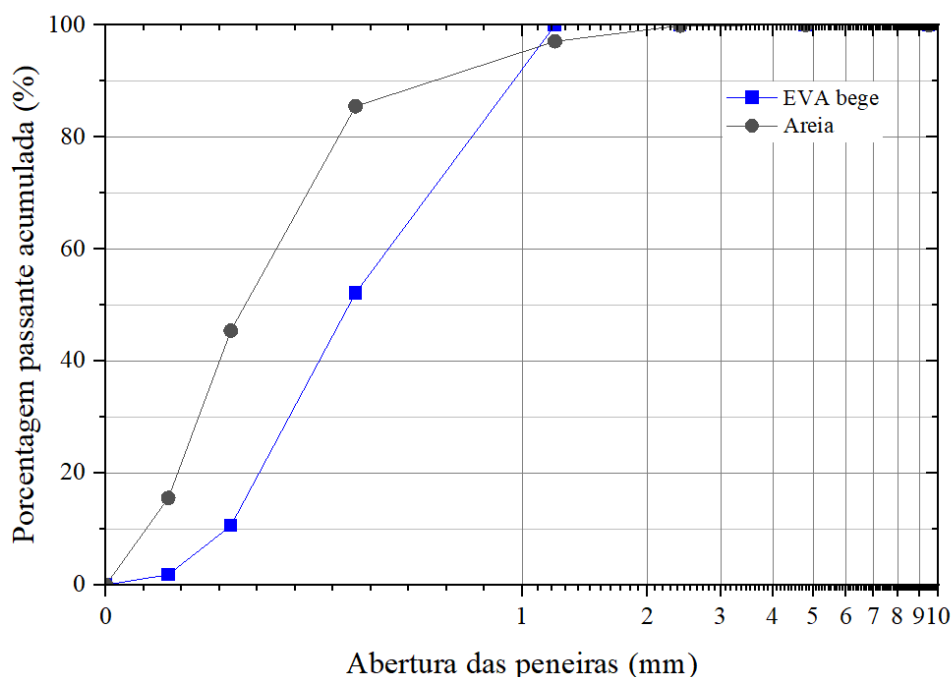
A granulometria do agregado miúdo foi determinada conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022) e pode ser verificada na Tabela 8 e Figura 5.

Tabela 8: Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneiras – aberturas (mm)	Retido (g)	Retido acumulado (%)	Passante acumulado (%)
4,75	0	0	100
2,36	0,63	0,13	99,9
1,18	13,75	2,88	97,1
0,6	58,09	14,51	85,5
0,3	200,185	54,61	45,4
0,15	149,16	84,48	15,5
0,01	77,49	100,00	0
Total	499,31	MF	1,57

Assim, a partir dos dados na Tabela 8, foi feita a curva granulométrica da areia apresentada na Figura 5. A granulometria do EVA, em sua fração grossa, foi determinada conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022) e pode ser verificada na Figura 5. E na Figura 6 observa-se imagens dos grãos retidos em cada uma das peneiras.

Figura 5: Distribuição granulométrica da areia e do EVA.



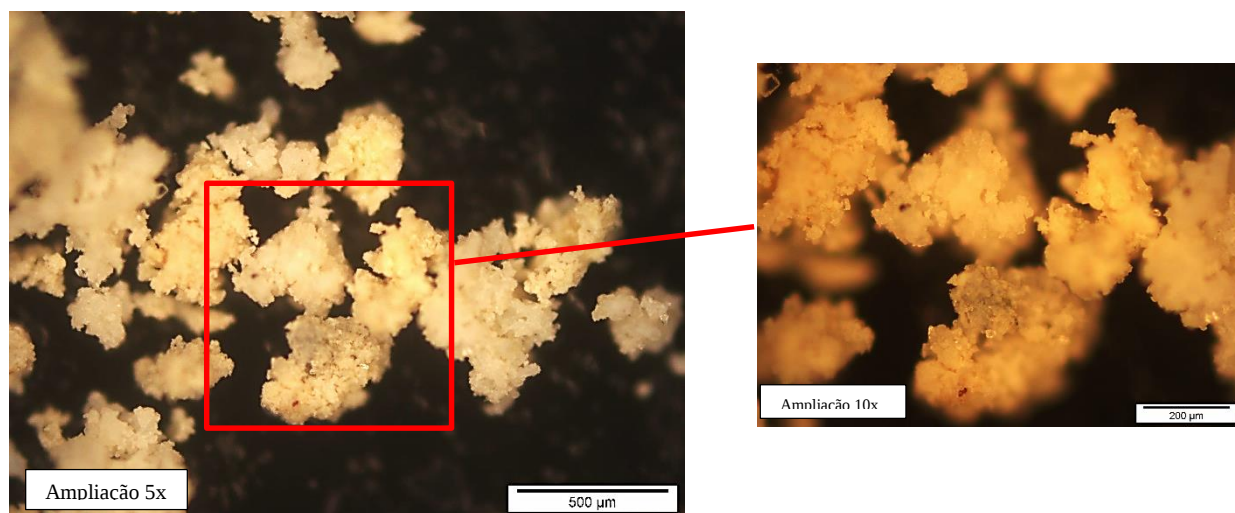
Assim, com base na análise granulométrica constatou-se que a areia possui uma granulometria fina, de acordo NBR 17054 (ABNT, 2022). O diâmetro máximo dos grãos é de 1,2 mm e o módulo de finura é de 1,57. Por fim, constatou-se que EVA possui uma granulometria fina. O diâmetro máximo dos grãos é de 1,2 mm e o módulo de finura é de 2,35.

Figura 6: Imagens dos grãos de EVA retidos em cada peneira



Como uma análise da morfologia do EVA, foram utilizadas imagens obtidas por microscópio óptico, apresentadas na figura 7.

Figura 7: Imagem do grão do agregado EVA por meio do microscópio óptico.



O agregado de EVA (Figura 7) possui textura de aspecto esponjoso e frequentes presenças de furos, provavelmente do próprio material de refugo ou surgido durante o processo de trituração para obtenção do agregado. Foi observado também, que a superfície tem um formato irregular e é formada por pequenos “ressaltos” que foram partidas com a trituração para obtenção do agregado, formando assim minúsculos ressaltos superficiais.

Esses ressaltos e os furos no polímero são locais de depósito de água, sobretudo nas primeiras horas de absorção. Quando os grãos estão no interior das misturas, essas aberturas superficiais podem transformar-se em ancoragem física para a pasta de cimento (Bezerra, 2014).

- Absorção de água da areia e do EVA

A absorção de água do agregado miúdo e do EVA foram determinadas através da norma NBR 16916 (ABNT, 2021b) com algumas adaptações para o caso do EVA. Como o EVA é um material mais sensível a altas temperaturas, optou-se por deixá-lo em temperatura de 70°C durante 24 horas para obtenção do peso na condição saturada superfície seca (amostra ainda estava úmida, mas sem umidade superficial), ele foi então pesado e após constância de massa na estufa foi obtida sua massa seca para realização do cálculo da norma.

Os resultados de absorção estão apresentados na Tabela a seguir:

Tabela 9: Absorção areia e EVA.

Material	Absorção (%)
Agregado miúdo (Areia)	0,85
Resíduo calçadista (EVA)	75,44

Observa-se da Tabela 9 que o EVA apresenta uma absorção bem superior à do agregado miúdo, sendo considerado um agregado de alta absorção (Rossignolo, 2009).

- Índice de atividade pozolânica (IAP) do metacaulim

A atividade pozolânica do metacaulim foi realizada a fim de comprovação de sua reatividade. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da UFPB e foi regido pelas normas NBR 12653 (ABNT, 2014) que ditou os requisitos para considerar o material pozolânico e NBR 5751 (ABNT, 2015) que rege o procedimento para determinação efetiva do índice de atividade pozolânica com cal aos 7 dias assim como o processo de cura.

Quanto à moldagem, a norma responsável foi a NBR 7215 (ABNT, 2019). Os materiais utilizados foram os resíduos em questão, hidróxido de cálcio P.A., areia normal e água, com dosagem e quantidade especificadas na NBR 5751 (ABNT, 2015).

O resultado de resistência à compressão obtidos no ensaio de IAP com cal mostrou que ele alcança uma resistência de 6,5 MPa, ficando assim acima do limite estabelecido pela norma NBR 12653 (ABNT, 2015) de 6,0 MPa.

4.1.3 Caracterização química

Para a análise da composição química dos materiais foram feitos ensaios de fluorescência de raios-x para o Cimento Portland CP-V ARI e o MC. Para o EVA se fez uma análise por Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

As composições químicas do cimento Portland e do MC foram realizadas com o equipamento da marca Shimadzu (modelo 720). A análise foi realizada no laboratório de caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG por meio do ensaio de Fluorescência de Raio X (FRX). Em seguida, foi realizado o ensaio de perda ao fogo do material regida pela NM 18 (ABNT, 2012) para que fosse possível descontar os óxidos presentes nas composições.

As amostras analisadas nos ensaios consistiam em 5g do material passante na peneira #200 (Tyler/Mesh). As composições químicas do CP-V ARI e do metacaulim são mostradas na Tabela 10.

Tabela 10: Composição química por fluorescência de raios-x (% em massa) do CP-V e do MC.

Material/ composição química	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	CaO	TiO ₂	BaO	SO ₃	MnO	Cr ₂ O	Outros	Perda ao fogo
CP-V ARI	18,97	6,2	-	3,38	-	51,77	-	-	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

Percebe-se que CP-V ARI está dentro do previsto em norma NBR 16697 (2018), exceto para perda ao fogo de 8,64% da massa encontrada no FRX, que é superior ao limite recomendado de 6,5% pela norma. Pela Tabela 9, percebe-se também que o CP V ARI é constituído principalmente por óxido de cálcio (CaO) e dióxido de silício (SiO₂), responsáveis por 70,74% da composição do cimento.

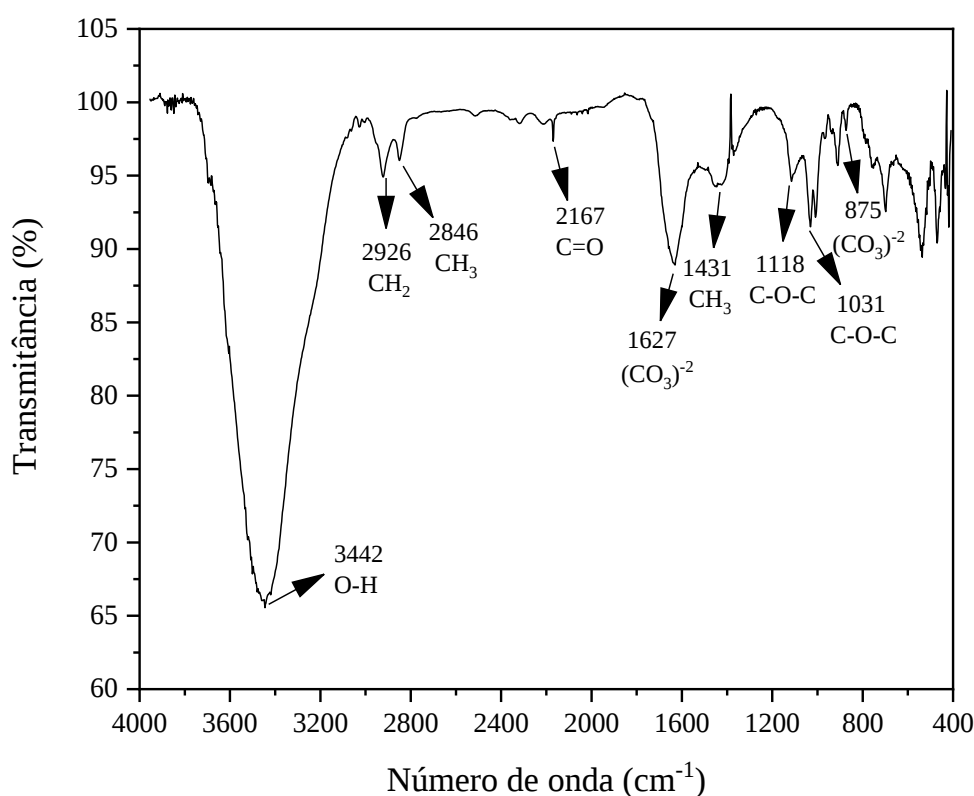
O MC, segundo a NBR 12.653 (ABNT, 2014), é classificado como um material pozolânico da classe N, pois os percentuais de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ = 79,09% ≥ 70%. Ele apresentou SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ maior que 90% podendo ser considerado como de alta reatividade. Já a perda ao fogo, conforme NBR 15894-1 (ABNT, 2010a), ultrapassa o limite

de 4,0%, isso indica que uma quantidade superior de massa é perdida quando o MC é aquecido a altas temperaturas.

Para o ensaio de Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) realizado no laboratório de Materiais e Biosistemas (LAMAB) foi utilizado um espectrômetro infravermelho de transformada de Fourier Shimadzu Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, modelo IR Affinity-1 FTIR-8400S (Kyoto, Japan). Espectros de FTIR foram obtidos para o resíduo de EVA na forma de pó. O EVA utilizado foi passado na peneira 0,15 mm. As avaliações foram realizadas através de 64 varreduras na faixa de número de onda compreendida entre 400-4000 cm^{-1} (número de onda), com resolução de 4 cm^{-1} e as intensidades das bandas foram expressas em transmitância (%T).

Os resultados do ensaio estão apresentados na Figura 8.

Figura 8: Espectro de FTIR para o EVA utilizado.



O espectro de FTIR foi utilizado para identificar os principais grupos funcionais presentes na estrutura do acetato de vinila (EVA). As atribuições dos modos vibracionais foram baseadas em literatura especializada em espectroscopia e em trabalhos de pesquisa sobre o copolímero EVA (Silverstain, 2005; Jiang, 2017; Ramírez-hernández, 2019; Shi *et al.*, 2023)

A análise do espectro FTIR revelou a presença de bandas características, como a banda larga centrada em torno de 3442 cm^{-1} , que pode ser atribuída aos estiramentos da ligação O-H de álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos. Foram identificadas também bandas em torno de 2926 e 2846 cm^{-1} , que correspondem aos estiramentos simétricos e assimétricos da ligação C-H dos grupos CH_2 e CH_3 , respectivamente, de hidrocarbonetos alifáticos.

Outra banda observada próxima a 2167 cm^{-1} é típica das vibrações do grupo carbonila (estiramento de C=O em C-O-O) do acetato de vinila. O modo vibracional em 1431 cm^{-1} pode ser atribuído à deformação angular do grupo CH_3 . Foram identificados ainda estiramentos assimétricos e simétricos do C-O (grupo acetil) em torno de 1118 cm^{-1} e 1031 cm^{-1} , respectivamente.

Nos grupos, apareceram as bandas de calcita, que é um dos polimorfos de carbonato de cálcio (850 e 1627 cm^{-1} da deformação de CO_3^{2-}). As vibrações associadas à fração inorgânica: carbonato de cálcio (850 e 1627 cm^{-1}) são utilizados como cargas no processo industrial. Isso também foi visto para o EVA nos trabalhos de Silva, Roman e Gleize (2002), Alencar (2009) e Bezerra (2014).

O material analisado apresenta espectros de FTIR típicos encontrados nos polímeros de EVA. As bandas registradas são semelhantes às apresentadas por Alencar (2009). Pode-se afirmar que, de forma qualitativa que o resíduo de EVA conserva elementos da formação do EVA puro de origem, acrescido, porém de outras bandas, formadas pelas presenças das cargas encontradas no polímero puro e em resíduos de EVA.

4.1.4 Caracterização mineralógica

A caracterização mineralógica consistiu na realização dos ensaios de Difração de Raios X (DRX).

Os ensaios de Difração de Raio X (DRX) foram realizados para o cimento Portland V ARI e para o MC. O ensaio de DRX utilizou o difratômetro da marca Siemens, modelo D5000 sob as seguintes condições de ensaio: radiação $\text{CuK}\alpha$, com comprimento de onda $\lambda = 1.5418$ com raios-x em 30 kv e 30 mA ; velocidade de leitura de $1^\circ/\text{min}$ num intervalo de 5° a $70^\circ 2\theta$ a um passo angular de $0,02^\circ 2\theta$.

Foram realizadas as coletas dos materiais passantes da peneira #200 cuja abertura é de $0,075\text{ mm}$, o destorroamento não ocorreu, pois, os materiais já estavam na forma de finos, e com essas amostras foram feitas as análises mineralógicas. Em seguida ao ensaio foi feita

a identificação dos picos com auxílio do software X'Pert HighCore Plus. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 9 e 10.

Figura 9: Resultado do DRX para o CP V ARI.

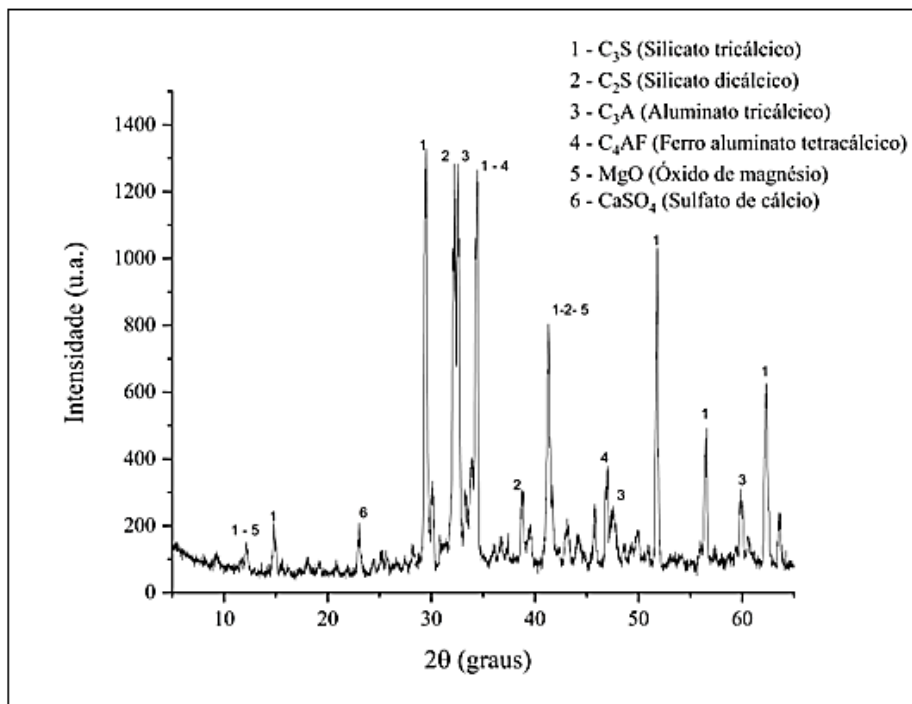
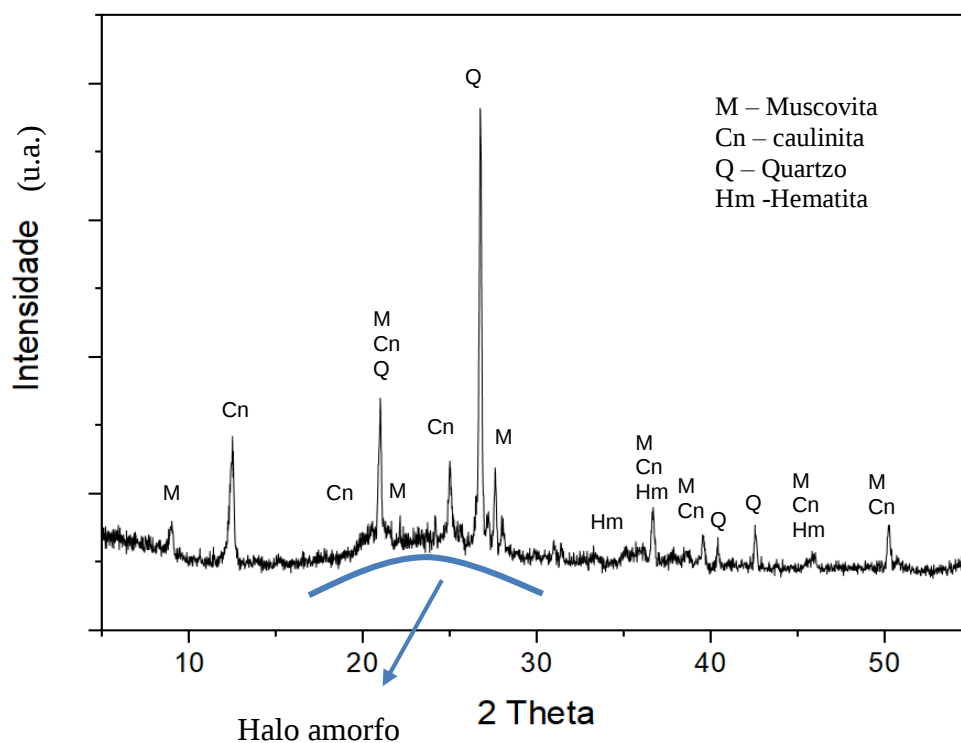


Figura 10: Resultado do DRX para o MC.



A análise padrão de DRX do CPV ARI (Figura 9) identificou picos com maior intensidade referentes ao silicato tricálcico (C_3S), silicato dicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) e o ferro aluminato tetracálcico (C_4AF).

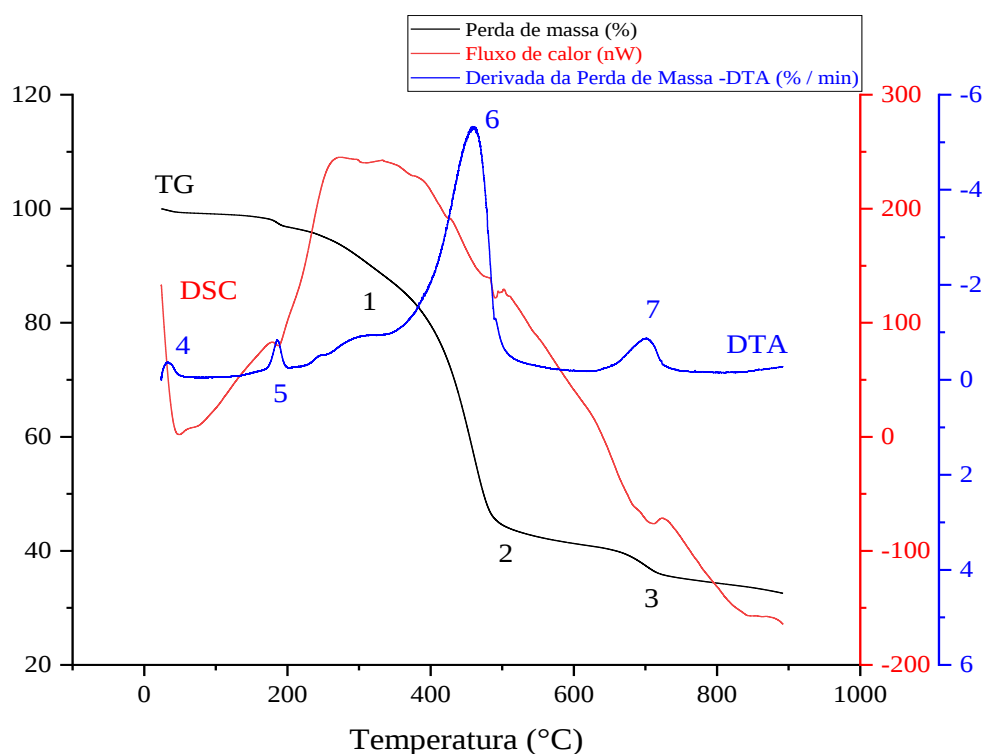
Na Figura 10 revela que o MC apresenta região cristalina, com picos correspondentes a muscovita (M), caulinita (Cn), quartzo (Q) e hematita (Hm). O quartzo indica a presença de areia. A caulinita indica que a calcinação não foi suficiente. A hematita tem alto teor de óxido de ferro. Ocorre um halo amorfo entre 20 e 30 (2 theta), apesar de ser discreto, é comum em material pozolânico.

4.1.5 *Análise térmica*

Para os ensaios de TG (Termogravimetria), DTA (Análise Térmica Diferencial) e DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial), realizado no laboratório de Síntese e Caracterização de Filmes Finos – LabFilm/CEAR da UFPB, foi utilizado um sistema Simultaneous Thermal Analyze DSC/TGA SDT 650 da TA Instruments com atmosfera oxidativa de fluxo de 20 mL/min. Os ensaios foram obtidos para o EVA na forma de pó. O EVA utilizado foi passado na peneira 0,15 mm. A amostra foi aquecida de 30 a 900 °C com razão de aquecimento de 10 °C/ min. O tipo de gás utilizado foi o nitrogênio e o cadinho de alumina.

Os resultados das análises de TG (Termogravimetria), DTA (Análise Térmica Diferencial) e DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial) estão apresentados na Figura 11.

Figura 11: Análise termogravimétrica do EVA estudado.



Foram identificadas três etapas de perda de massa na análise termogravimétrica da amostra em estudo. Os eventos térmicos associados ao EVA de acordo com (Zattera *et al.*, 2005) e apresentado na Figura 11, são:

- (1) A primeira etapa, mais intensa, ocorreu em torno de 280°C e está relacionada à degradação do acetato de vinila, com formação do ácido acético.
- (2) A segunda etapa, mais branda, ocorreu em torno de 500°C, refere-se à degradação da parte olefínica do copolímero (ligações C-C e C-H).
- (3) A terceira etapa ocorreu em torno de 700 °C relacionada à degradação da carga inorgânica presente no resíduo.

Durante a análise termoanalítica (DTA) do EVA, observa-se quatro picos exotérmicos. Os eventos térmicos associados ao EVA de acordo com (Zattera *et al.*, 2005) e apresentado na Figura 11, são:

- (4) O primeiro pico exotérmico acontece na temperatura em torno de 50°C. Esse pico está relacionado com a remoção de umidade residual ou impurezas voláteis, visto no FTIR (faixa em torno de 3442 cm^{-1}), característica das vibrações de estiramento OH, que podem ser atribuídas à evaporação de umidade ou compostos com grupos hidroxila.

- (5) O segundo pico exotérmico primário a 200°C corresponde à decomposição do próprio acetato de vinila, conforme indicado pelos dados FTIR mostrando uma banda próxima a 2167 cm^{-1} , característica de vibrações do grupo carbonila (C=O). Este pico representa a decomposição térmica do acetato de vinila em seus produtos constituintes, como ácido acético e compostos de vinila.
- (6) O terceiro pico exotérmico em 500°C permanece inexplicável pelos dados de FTIR. Mas provavelmente está associada a reações secundárias envolvendo produtos de decomposição, impurezas ou interações com o resíduo de carbonato de cálcio (CaCO_3). Isso também foi observado por Bezerra (2014).
- (7) O último pico exotérmico a 700°C pode estar ligado a interações com o carbonato de cálcio (CaCO_3) no resíduo. Este pico representa reações ou transformações envolvendo CaCO_3 em altas temperaturas.

As indústrias calçadistas fazem uso das cargas inorgânicas na obtenção das placas com o objetivo de baratear o produto final. São vários os tipos de cargas inorgânicas, por exemplo, o talco, a barita, a terra diatomácea e outros. Como o agregado aqui avaliado é composto por carga de CaCO_3 , a decomposição gerou a saída do CO_2 , proveniente do carbonato de cálcio (Bezerra, 2014).

4.1.6 *Análises microestruturais*

Para as análises microestruturais foram escolhidas algumas argamassas por limitação laboratorial. As argamassas escolhidas foram a REF, a argamassa 20%MC/0%EVA e as argamassas com 20% de EVA incorporado seco e saturado, todas as argamassas para os tempos de estabilização de 0h e 48h. A porcentagem de 20% de EVA foi escolhida por ser o maior teor a ter apresentado resultados de resistência adequados para uso em argamassas com os EVAs incorporados secos.

- Microscopia óptica

A microscopia óptica do EVA foi realizada no laboratório de caracterização microestrutural da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em um microscópio Zeiss Axiotech. As análises foram feitas nos grãos do EVA sem nenhuma preparação específica anterior.

A microscopia óptica das amostras de argamassas foi feita no laboratório de reologia da UFPB com o microscópio óptico profissional de bancada Haiz digital USB 1600X. As análises foram feitas em amostras fraturadas das argamassas após 45 dias de idade (ensaio não foi realizado após os 28 dias por questão de acesso ao equipamento), durante esse período as amostras ficaram armazenadas em sacos plásticos vedados. As argamassas fraturadas foram reduzidas e tiveram seus tamanhos padronizados. Cabe ressaltar que, não foi realizada preparação específica na superfície, pois o objetivo era analisar a superfície porosa da argamassa.

- Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O ensaio de Microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizado no Laboratório Tecnologia dos Materiais- Tecnomat da UFPB, em um Microscópio Eletrônico de Varredura Quanta 450-FEG – FEI com Resolução nominal de 1nm. A análise foi realizada na superfície de materiais com alto, baixo vácuo e pressão variável. Foi usado detectores de tungstênio.

Para essas análises, corpos de prova prismáticos de argamassas foram moldados. Após 48 h foram desmoldados. Os espécimes foram mantidos desde a moldagem até os 28 dias de idade em um recipiente com água e depois foram rompidos e reduzidos para realização do ensaio. Os ensaios foram realizados de fato após 51 dias por problemas técnicos, entretanto durante esse período as amostras ficaram armazenadas em sacos plásticos vedados.

As laterais do corpo de prova foram envolvidas com uma fita de carbono, a fita de carbono é usada para criar uma ponte condutiva entre a amostra e o suporte da amostra (geralmente um porta-amostras metálico). Imagens foram obtidas utilizando Difração de elétrons retroespalhados ("Electron Back Scatter Diffraction"- EBSD) e energia do feixe de 20 kV.

Os resultados do MEV estão apresentados na seção 5.2.6.

4.2 MÉTODO

4.2.1 *Dosagem das misturas*

Foi utilizado, inicialmente, nos testes pilotos o traço 1:3 em volume (cimento: agregado miúdo). Outros autores que também estudaram sobre argamassa com a incorporação de EVA utilizaram essa referência inicial em volume (Silva, 2023; Menezes et al. (2018). Adotou-se, inicialmente, 0,044% de aditivo incorporador de ar e 0,916% de aditivo incorporador de hidratação, em massa. Os teores de aditivos foram obtidos por Laurentino (2019) da concreteira local fabricante de argamassas estabilizadas para até 48 horas de estabilização, que comercializa esse produto na cidade de Campina Grande-PB.

O teor de aditivos foi ajustado tentando adequá-lo para que a argamassa de referência tivesse inicialmente um espalhamento fixado entre um valor de 275 + ou - 5 mm, para que após as 72h de estabilização a argamassa mantivesse seu espalhamento dentro do mínimo sugerido na norma NBR 16541 (ABNT, 2016a) que é 260 + ou - 5 mm. A determinação do índice de consistência é definido pela NBR 13276 (ABNT, 2016b).

Através dos estudos pilotos para melhoria da trabalhabilidade e estabilização, acabou sendo fixado o traço 1:3 em volume (cimento: agregado miúdo), convertido em massa ficou 1: 5,44 (aglomerante: areia). Ocorreu o aumento do teor de aditivo incorporador de ar (AIA) para 0,06%, do aditivo incorporador de hidratação (AEH) para 0,98% e estabelecimento do fator água /aglomerante (a/agl.) de 0,9, para a argamassa de referência. O valor de espalhamento não foi fixado porque o objetivo era avaliar a influência do MC e do EVA com as mesmas condições da relação água/aglomerante.

O teor de 20% de substituição foi escolhido por ter apresentado bons resultados de resistência à compressão e redução do teor de ar incorporado nos estudos realizados por Laurentino (2019), Paulino (2020) e Silva e Azerêdo (2022) sobre argamassa estabilizada. Também foram feitos testes pilotos da argamassa de referência com 20% de substituição para verificar se a relação a/agl. de 0,9 seria suficiente para uma boa trabalhabilidade com 0 h da mistura e verificar seu comportamento no estado fresco das argamassas após a estabilização de 72 h.

Dessa forma, a preparação das amostras de argamassa para a pesquisa incluiu uma mistura de referência (sem EVA e MC) e outras contendo uma substituição fixa de metacaulim (MC) a 20% em massa do cimento. As amostras com EVA foram preparadas substituindo parcialmente a areia por EVA nos teores de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, em

volume. Como o EVA é um material mais leve que a areia, precisou ser introduzido como substituto de acordo com seu peso específico aparente. Assim, o percentual de EVA utilizado foi baseado no volume de areia. Todos os materiais tiveram suas quantidades convertidas em massa para a preparação da argamassa no laboratório.

Foram preparadas misturas com a introdução do EVA de duas formas: Seco e pré-saturado. Na primeira forma, o EVA foi colocado sem nenhuma umidade inicial e a água da mistura foi adicionada no momento da preparação da argamassa. Para verificação inicial da umidade do resíduo de EVA doado pela empresa e entregue ensacado, foi realizado um teste do teor de umidade da seguinte forma: uma amostra retirada do saco foi seca em estufa em baixa temperatura de 50 °C por 72 horas até constância de massa e verificou-se a estabilidade de massa antes e após a secagem.

Na segunda forma, o EVA foi saturado 24 horas antes da preparação da argamassa com parte da água da mistura correspondente a 180,7 % do peso do EVA a ser adicionado (valor determinado através de testes com % máxima de EVA e do resultado da absorção do EVA). O objetivo da saturação inicial é garantir que o EVA retenha uma quantidade controlada de água para avaliar seu impacto nas propriedades da argamassa. A saturação do EVA foi testada por ser uma técnica utilizada para preparação de outros tipos de agregados leves como a vermiculita expandida (Koksal et al., 2015; Koksal et al., 2020), e a argila expandida (Santos et al., 2020) por melhorar as propriedades das misturas, principalmente no estado fresco. Alguns autores também optaram por pré-saturar o EVA por possuir alto grau de absorção ao incorporá-lo em concretos como Paula (2011).

Portanto, foram analisadas doze misturas, sendo uma mistura de referência, outra apenas com substituição do cimento por MC e dez contendo resíduos de EVA. Além disso, foram analisados três tempos de estabilização (0, 48 e 72 h). A Tabela 11 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 11: 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	3425,109	140	63,27	0,42	6,86	0,90	630
20% MC/ 20% EVA	20	20	560	3044,541	140	126,55	0,42	6,86	0,90	630
20% MC/ 30% EVA	20	30	560	2663,974	140	189,83	0,42	6,86	0,90	630
20% MC/ 40% EVA	20	40	560	2283,406	140	253,10	0,42	6,86	0,90	630
20% MC/ 50% EVA	20	50	560	1902,838	140	316,37	0,42	6,86	0,90	630

* A coluna 1 apresenta a nomenclatura adotada para as argamassas neste trabalho.

***As misturas com incorporação de EVA saturado tiveram o mesmo traço das misturas com EVA incorporado seco e para diferenciação será utilizada a sigla SA após a nomenclatura. EX: 20% MC/ 10% EVA – SA.**

4.2.2 Preparação da argamassa

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.

Para os preparos das argamassas, utilizou-se para as homogeneizações e misturas, um misturador mecânico. Na sequência, pesaram-se as quantidades necessárias do agregado miúdo, metacaulim, EVA e cimento Portland, sendo armazenados em embalagens plásticas. Os aditivos (AEH e AIA) e água foram pesados no momento das misturas. Os AEH e AIA foram medidos em massas percentuais em relação ao aglomerante. As produções das argamassas com a incorporação do EVA Seco ocorreram conforme norma NBR 16.541 (ABNT, 2016a), já a mistura da argamassa com o EVA incorporado saturado foi feita através de adaptações da norma NBR 16.541 (ABNT, 2016a). As misturas foram feitas dos seguintes procedimentos:

Figura 12: Processo de mistura das argamassas com EVA seco incorporado.

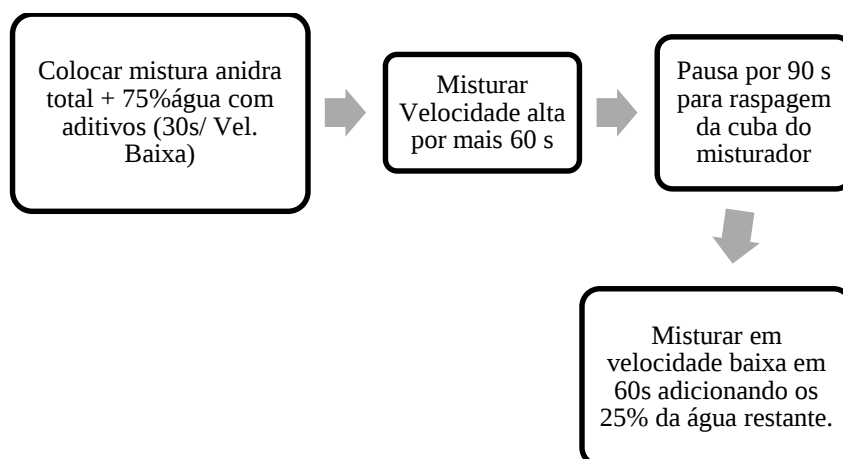
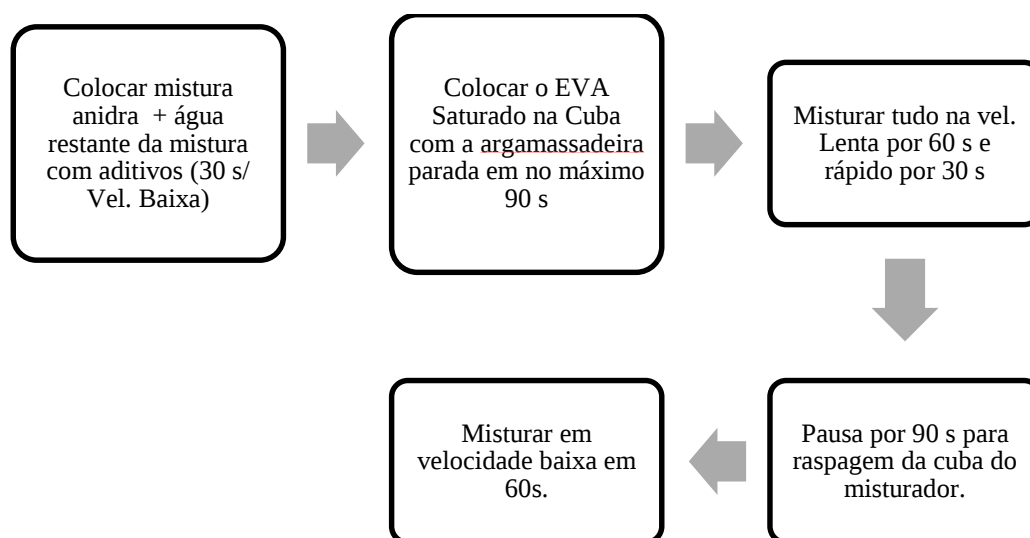


Figura 13: Processo de mistura das argamassas com EVA saturado incorporado.



Os aditivos foram adicionados junto com a água no início da mistura pois de acordo com Antoniazzi et al. (2019), que estudou a influência do procedimento de mistura dos aditivos nas propriedades das argamassas estabilizadas, aquelas que tiveram seus aditivos (AEH e AIA) misturados no início do processo de mistura, juntamente com a água tiveram os melhores resultados no estado endurecido, mais expressivamente para a capilaridade e resistência à compressão.

As misturas foram armazenadas em recipientes de PVC, em local protegido do sol e vento, com uma lâmina de água de 3,0 cm, conforme utilizado nos estudos de Silva (2023) e Laurentino (2019). Após 48h de estabilização, a lâmina d'água foi retirada e feita uma homogeneização de 30s em argamassadeira para realização dos ensaios. A homogeneização é recomendada por empresas que fabricam a argamassa e foi feita por autores como Jantsch

(2015) e Casali et al. (2011). Após a retirada de parte da argamassa em 48h, o restante da argamassa foi coberta novamente com a película d'água de 3 cm e estabilizada para repetição dos passos anteriores e os ensaios em 72h de estabilização.

Na Figura 14 é apresentado a imagem das argamassas armazenadas para a estabilização.

Figura 14: (a) Recipiente com argamassa em estabilização. (b) Argamassa com a lâmina d'água.



4.2.3 Preparação dos corpos de prova

As moldagens seguiram os procedimentos, conforme prescreve a norma NBR 13279 (ABNT, 2005d), sendo que todos os corpos-de-prova permaneceram 48 h nos moldes a partir de moldadas. A seguir, foram desmoldados e imersos na água para a cura até a idade de ensaio.

A cura imersa foi adotada pois de acordo com estudos feitos por Melo (2018) em que a resistência de aderência à tração de argamassas estabilizadas com aditivos estabilizadores de hidratação é maior para cura úmida com ambiente saturado ou por aspersão em comparação a cura ao ar.

As moldagens foram feitas para três tempos de estabilização (0, 48h e 72h) e as amostras após endurecidas foram desmoldadas e colocadas em cura úmida até a idade de 28 dias prosseguindo-se com as análises no estado endurecido. A Figura 15 apresenta corpos de prova preparados após a mistura.

Figura 15: Corpos de provas moldados após a mistura.



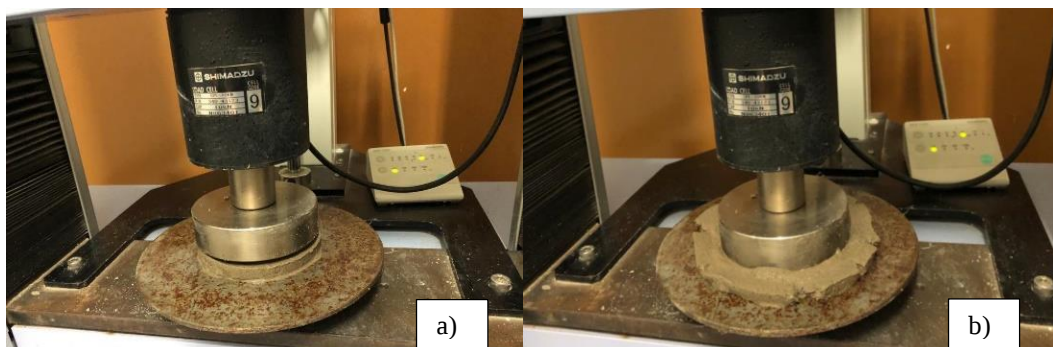
4.2.4 Ensaios nas argamassas

Quando no estado fresco, a argamassa também passou por ensaios, sendo eles: índice de consistência foi avaliado segundo o ensaio da mesa de consistência ou “*flow table*” conforme NBR 13276 (ABNT, 2016b) (Figura 16), densidade de massa e teor de ar incorporado segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005a) e a caracterização reológica pelo método *squeeze-flow* NBR 15839 (ABNT, 2010b) (Figura 17).

Figura 16: Espalhamento da argamassa na mesa de consistência.



Figura 17: (a) Amostra do ensaio *squeeze flow* antes da deformação. (b) Amostra do ensaio *squeeze flow* após a deformação.



Para o ensaio do índice de consistência das argamassas (figura 16) foram realizadas medições do diâmetro em três direções para cada mistura. Além disso, foi realizada apenas uma medida do índice de consistência para cada argamassa. Os ensaios de *squeeze flow* foram feitos no laboratório de mecânica da Universidade Federal da Paraíba, para os tempos de 10 e 60 min na velocidade de deslocamento de 3 mm/s e tempos de 15 e 65 min na velocidade de 0,1 mm/s, conforme NBR 15839 (ABNT, 2010b). Dimensões da amostra: 10mm de altura, 100 mm de diâmetro. Foi utilizado uma máquina universal de ensaios utilizando células de carga de 10kN da marca Shimadzu. A temperatura do laboratório durante a realização do ensaio era de 23 °C. Foi traçada apenas uma curva para cada argamassa estudada.

Os ensaios de caracterização no estado endurecido foram: determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005c), densidade de massa aparente no estado endurecido, que seguiu os preceitos da NBR 13280 (ABNT, 2005e), módulo de elasticidade dinâmico seguindo a norma 15630 (ABNT, 2008) (Figura 18), resistência à tração na flexão e à compressão conforme a NBR 13279 (2005d) (Figura 19), microscopia óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Para a determinação da densidade de massa aparente, absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas foram analisados três corpos de prova para cada amostra.

Figura 18: Ensaio do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.

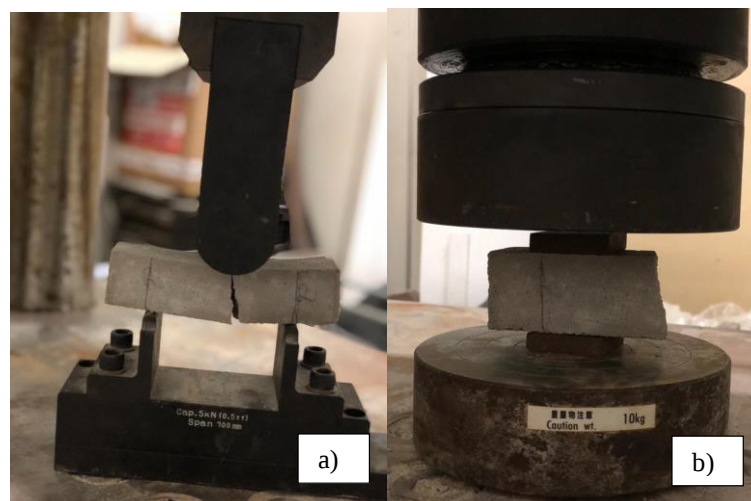


Este ensaio de determinação de módulo de elasticidade foi realizado no laboratório de Tecnologia dos materiais- Tecnomat da Paraíba com a utilização do equipamento PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester), ilustrado na Figura

18. Foi utilizada uma tensão de 200 V, frequência de 54 kHz. Foram utilizados três corpos de prova prismáticos aos 28 dias de idade, com seção de 40 mm por 40 mm e comprimento de 160 mm, por cada uma das argamassas. Para cada corpo de prova o ensaio foi repetido três vezes e foi considerada a menor medida das três leituras. O coeficiente de Poisson utilizado no cálculo foi de 0.2, de acordo com a norma. Apesar do coeficiente de Poisson para as argamassas com EVA provavelmente ser outro, foi utilizado o mesmo coeficiente da argamassa convencional por falta de dados sobre o coeficiente para argamassas com resíduos de EVA e para padronizar o resultado do módulo. Os valores de densidade de massa usados para cálculo do módulo foram os valores reais, obtidos para cada argamassa neste trabalho.

Para o módulo de elasticidade dinâmico foram escolhidas algumas argamassas para fazer o ensaio por limitação laboratorial. As argamassas escolhidas foram a REF, a argamassa 20%MC/0%EVA e as argamassas com 20% de EVA incorporado seco e saturado. A porcentagem de 20% de EVA foi escolhida por ser o maior teor a ter apresentado resultados de resistência adequados para uso em argamassas para os EVAs incorporados secos.

Figura 19: a) Ensaio de resistência à tração na flexão b) Ensaio de resistência à compressão simples.



A prensa utilizada nos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão foi da marca Shimadzu UH – F1000KNI é o programa utilizado para montagem do método do ensaio foi o TRAPEZIUM2. No caso da análise da resistência à compressão (Figura 19b) foram utilizados seis corpos de provas de cada traço e uma velocidade de carregamento aplicada de 500 ± 10 N/s. Na resistência à tração na flexão foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço, a velocidade de carregamento aplicada foi de 50 ± 10 N/s.

4.2.5 *Análise estatística*

Os resultados obtidos a partir dos ensaios no estado fresco e estado endurecido das misturas de argamassas foram submetidos ao tratamento estatístico. Primeiramente foi realizado o teste de homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos, onde $p \geq 0,05$ (normal e homogênea). Em seguida desenvolveu-se a análise de variância ANOVA de fator único, utilizando o programa estatístico Statistica 10.0. Esse método consiste em comparar três ou mais tratamentos e verificar se as variáveis respostas, medidas para diferentes níveis, se diferem entre si do ponto de vista estatístico. Além disso, é possível comparar diferentes grupos por meio da análise de variáveis contínuas (Azerêdo, 2012).

A análise estatística consistiu em comparar a variância das médias em um grupo de resultados e o principal fator analisado foi o Valor-p, para esse fator foi realizada as seguintes verificações:

- 1- Valor- $p > 0,05$: não é estatisticamente significativo, pois o nível de significância será maior que 5%, obtendo uma confiabilidade do resultado menor que 95%. Dessa forma é possível afirmar que as diferenças entre algumas das médias não são estatisticamente significativas ou, verificando relação, que não existe uma relação entre a variável e a resposta;
- 2- Valor- $p \leq 0,05$: é estatisticamente significativo, pois o nível de significância será menor ou igual a 5%, obtendo uma confiabilidade de resultado maior ou igual a 95%. Dessa forma é possível afirmar que as diferenças entre algumas das médias são estatisticamente significativas ou, verificando relação, que existe uma relação entre a variável e a resposta.

Nessa pesquisa foi utilizada a Anova de fator único. Para determinação de diferenças entre tratamentos foi utilizado o teste de Tukey com probabilidade de 95%.

Foram conduzidas também análises de correlação dos resultados utilizando gráficos de dispersão e o coeficiente de correlação produto-momento de Pearson, conhecido como "r" de Pearson. Esse coeficiente quantifica o grau de correlação linear entre duas variáveis quantitativas, apresentando valores compreendidos entre -1,0 e 1,0.

Essa escala reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. O coeficiente "r" é adimensional e varia de 1 a -1. Um valor de r igual a 1 indica uma correlação positiva perfeita entre as duas variáveis, enquanto um valor de r igual a -1 indica

uma correlação negativa perfeita, ou seja, quando uma variável aumenta, a outra sempre diminui. Por outro lado, um valor de r igual a 0 indica que as duas variáveis não têm uma dependência linear entre si (Filho e Júnior, 2009). Dancey e Reidy (2006) apontam para uma classificação para o coeficiente de Pearson: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte). A correlação foi realizada no software Origin 2022.

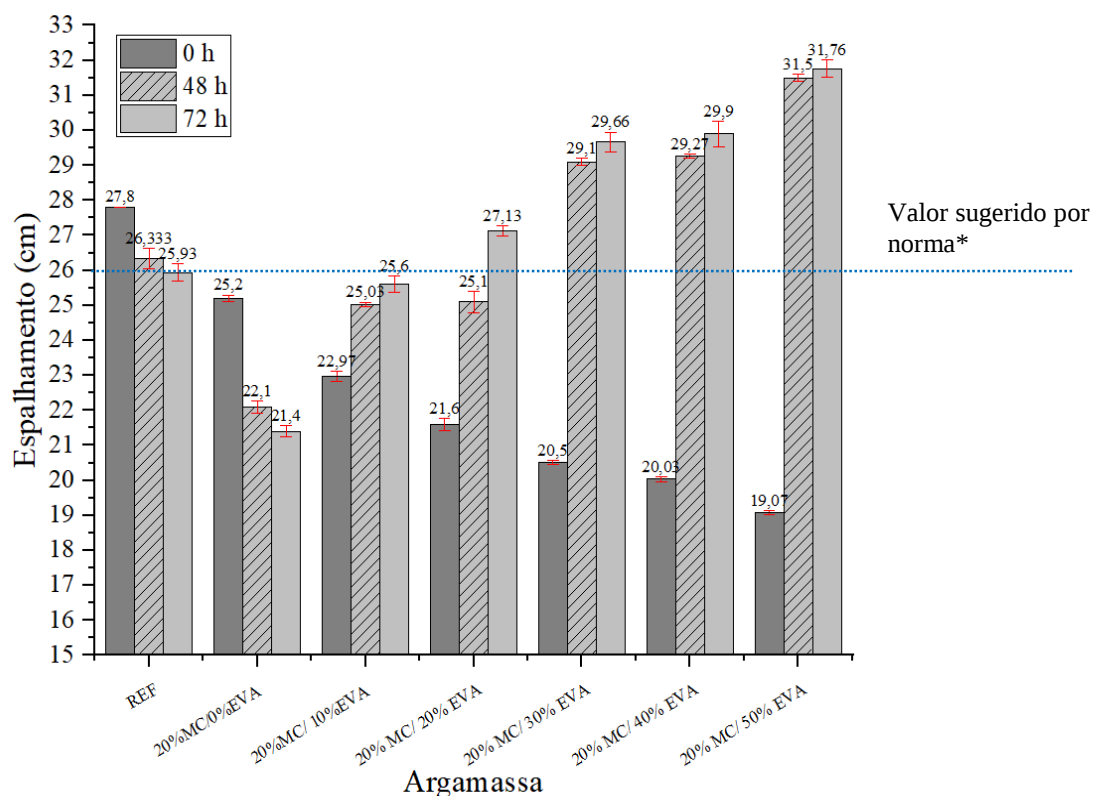
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

5.1.1 Índice de consistência

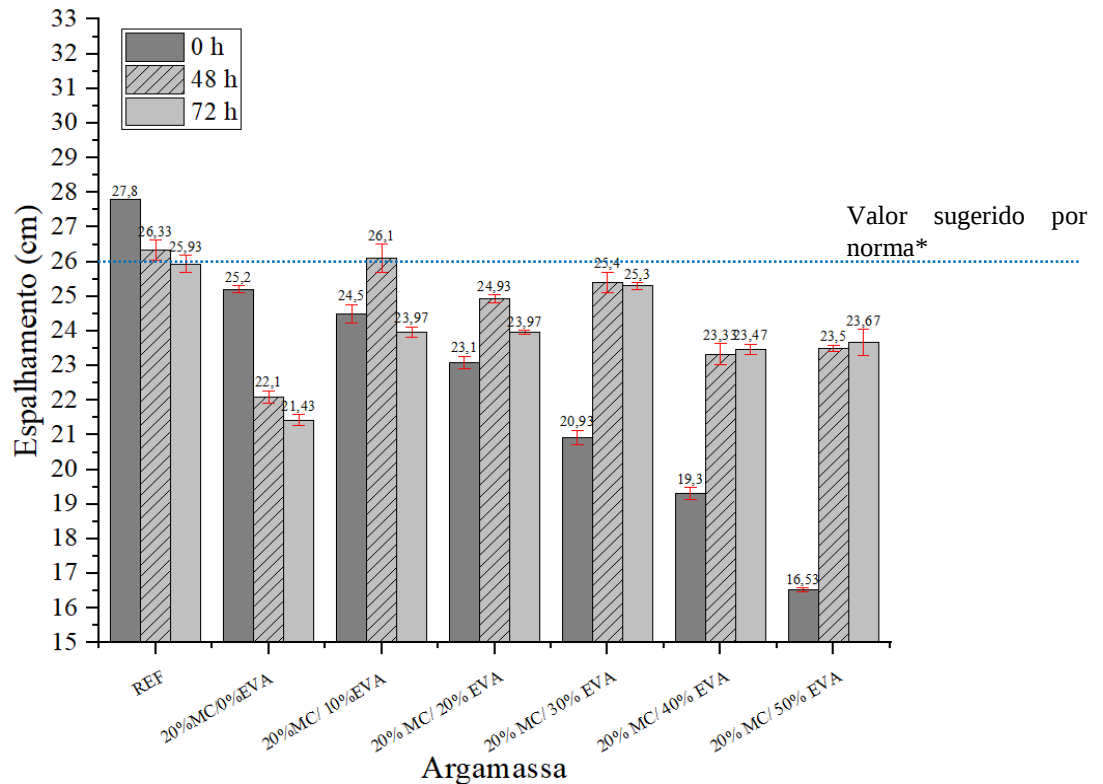
Os resultados contendo o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) são apresentados no Apêndice A. As Figuras 20 e 21 apresentam os espalhamentos das misturas na mesa de consistência.

Figura 20: Espalhamento das argamassas com EVA incorporado seco.



*Espalhamento sugerido na norma NBR 16541 (ABNT, 2016a).

Figura 21: Espalhamento das argamassas com EVA incorporado saturado.



*Espalhamento sugerido na norma NBR 16541 (ABNT, 2016a).

Ao analisar as Figuras 20 e 21, é possível notar a diminuição do índice de consistência da mistura REF e da mistura 20%MC/0%EVA com o aumento do tempo de estabilização. A argamassa de referência teve uma redução de 5,29% e 6,73% do seu espalhamento em 48 e 72h, respectivamente, em relação ao seu espalhamento em 0h. Já a argamassa 20%MC/ 0%EVA apresentou uma redução de 12,30% e 15,08%, em 48 e 72h, respectivamente, em relação ao seu espalhamento em 0h. Este fato pode ter sido ocasionado por um melhor arranjo das partículas, reduzindo o ar incorporado na argamassa conforme verificado por Silva e Azerêdo (2022).

A mistura com metacaulim apresentou menor espalhamento em relação à mistura de referência para todos os tempos de estabilização. Isto pode ser explicado pela granulometria mais fina do MC, como verificado na Figura 4, que facilita a redução do ar incorporado e absorve mais água de amassamento, como observado também por Silva e Azerêdo (2022), Paulino (2020), Jackiewicz-Rek et al. (2015) e Farinha, De Brito e Veiga (2015).

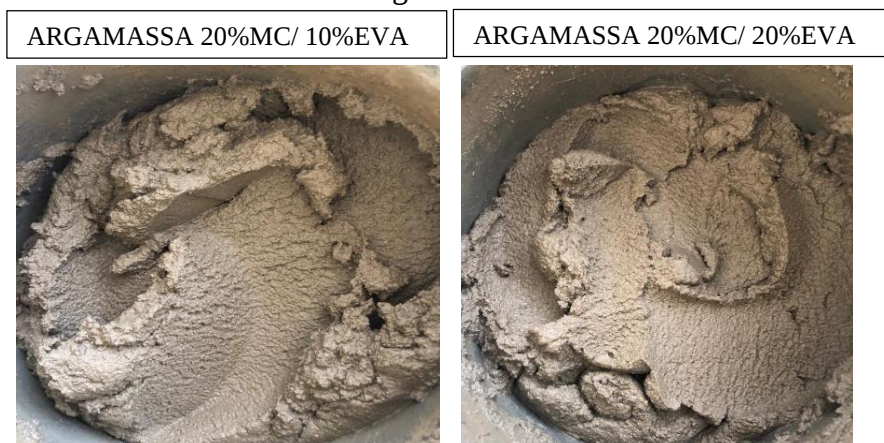
É possível observar nas Figuras 20 e 21, que houve uma diminuição do espalhamento de todas as misturas contendo EVA em relação à mistura de referência e a mistura de 20% de MC em 0h. Para as argamassas com incorporação do EVA seco, com relação à referência, essa redução foi de 17,37%, 22,30%, 26,26%, 27,95% e 31,40 % para as substituições de

10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente. Já com relação a mistura com 20%MC/0%EVA essa redução foi de 8,85%, 14,29%, 18,65%, 20,52% e 24,32% para as substituições de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente.

No caso das argamassas com a incorporação do EVA saturado, ocorreram decréscimos no espalhamento para 0h de estabilização, comparando com a argamassa referência e a mistura com 20% de MC. Para a argamassa com incorporação do EVA saturado, com relação à referência, essa redução foi de 11,87%, 16,91%, 24,70%, 30,58% e 40,53 % para as substituições de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente. Já com relação a mistura com 20%MC/0%EVA essa redução foi de 2,78%, 8,33%, 16,93%, 23,41% e 34,39% para as substituições de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente.

As argamassas reduziram seu espalhamento 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 22 para a argamassa contendo 10% e 20% de EVA incorporado seco. O mesmo fato aconteceu para as argamassas com EVA saturado. Métodos convencionais para medir a trabalhabilidade das argamassas convencionais não se adequam as argamassas com agregados leves, por isso não pôde ser analisado apenas com o ensaio *flow table*, são necessários ensaios reológicos para melhor análise como o *squeeze flow* (Mansur, 2007, Rossignolo, 2009).

Figura 22: Consistência em 0 h das argamassas contendo 10% e 20% de EVA.



O menor espalhamento da argamassa e ao mesmo tempo uma maior facilidade de manuseio pode ser explicada devido a incorporação do EVA nas misturas ter proporcionado o melhor rolamento entre os grãos, pois as partículas poliméricas agem como esferas, no

entanto, aumentando o teor de ar incorporado e aumentando a coesão do sistema, em um primeiro momento, conforme verificado por Silva (2023).

Para Bertoli (2012), porém, essa incorporação pode influenciar nas suas propriedades mecânicas, tais como resistência à compressão e à tração. Além disso, há o efeito tensoativo causado pela ação surfactante do polímero, que ocorre durante os primeiros minutos de hidratação. O aumento dos finos causado pela incorporação do MC também contribuiu para uma maior coesão das partículas no primeiro momento, como também foi observado por Silva (2023).

Nas Figuras 20 e 21 são apresentados os espalhamentos das argamassas ao longo do tempo de estabilização e observa-se que houve um aumento do espalhamento das misturas com EVA, em 48 e 72 h estabilização para a argamassa com EVA incorporado seco e saturado. Para a argamassa com EVA incorporado seco (Figura 20), esse aumento comparado a argamassa 20%MC/ 0%EVA para 48 h de estabilização foi de 13,26%, 13,57%, 31,67%, 32,44% e 42,53% para as misturas com 10, 20, 30, 40 e 50% de EVA, respectivamente. Para o tempo de estabilização de 72 h o aumento do espalhamento das argamassas foi crescente e mais discrepante, chegando a ter um crescimento de 48,41% para a argamassa com 50% EVA em relação a argamassa 20%MC/0%EVA.

Para a argamassa com EVA incorporado saturado (Figura 21), esse aumento comparado a argamassa 20%MC/ 0%EVA para 48 h de estabilização foi de 18,10%, 12,82%, 14,93%, 5,58% e 6,33% para as misturas com 10, 20, 30, 40 e 50% de EVA, respectivamente. Contudo para o tempo de estabilização de 72h o aumento do espalhamento das argamassas foi muito próximo ao aumento do espalhamento em 48 horas, tendo apenas um pequeno decréscimo na argamassa com 10% e 20% de EVA. Isso mostra que as argamassas com EVA saturado apresentam uma melhor manutenção da sua consistência ao longo do tempo de estabilização, comparada às argamassas com EVA incorporado Seco.

Esse aumento do espalhamento durante a estabilização contradiz outros autores (Paulino, 2020; Antoniazzi et al, 2019; Laurentino, 2019) 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.

O maior espalhamento ao longo da estabilização pode ser explicado por uma maior quantidade de água na pasta ao longo da estabilização, visto que as misturas ficaram

nitidamente mais coesas e absorveram a água da mistura, no primeiro momento, mas após 48 e 72h, estavam mais fluidas. No caso da argamassa com EVA incorporado seco, para teores mais altos de EVA como 40% e 50% foi percebido uma exsudação acentuada para estabilização de 48 e 72 h, como observado na Figura 23.

Justamente para esses tempos de estabilização têm-se as maiores faixas de valores para o índice de consistência. Segundo um estudo para concretos leves realizado por Rossignolo (2009), a faixa de valores, normalmente, mostra-se menor do que a utilizada para concretos convencionais. Concretos com agregados leves com altos valores de índice de consistência apresentam grandes possibilidade de segregação dos agregados, por outro lado, concretos leves com baixos valores do índice podem apresentar dificuldade de adensamento (como aconteceu neste estudo com a argamassa com EVA saturado de 40 e 50% em 0h).

Essa tendência que o autor descreve para o concreto leve, também ocorreu com a argamassa com agregado leve desta pesquisa. Segundo Mehta e Monteiro (1994), altos valores do índice de consistência e a baixa coesão são, normalmente, os fatores responsáveis pelo surgimento da segregação e da exsudação de concretos leves, afetando a manipulação do material, podendo até mesmo afetar suas propriedades no estado endurecido. Pode-se afirmar que os resultados do índice de consistência dessa pesquisa vão ao encontro do que Mehta e Monteiro (1994) afirmam.

Figura 23: Argamassa com 50% EVA incorporado seco em 72 h de estabilização com exsudação em 0 e 60 min após mistura para homogeneização.



Outro fato observado durante os experimentos e que influenciaram no maior espalhamento das argamassas com EVA incorporado Seco é que a altura da lâmina d'água inicial, colocada após o preparo da mistura diminuía após 48 e 72 horas, principalmente para argamassas com maiores teores de EVA. Esse fato pode ter sido devido à alta absorção de água do agregado leve (75,44%). Para chegar a essa conclusão, no momento da estabilização

inicial foi feito uma marcação na altura da lâmina d'água e após as 72 h foi constatado uma diminuição de 8,16 mm na lâmina para a argamassa com 50% de EVA em 72h de estabilização. Isso sugere uma absorção da água da lâmina pela argamassa, visto que o armazenamento foi feito com a maior vedação possível nos baldes, tentando simular o que ocorre com as argamassas nos recipientes em obras. A Figura 24 apresenta a redução da lâmina d'água.

Figura 24: Medição da redução da lâmina d'água da argamassa com 50% de EVA após 72 h de estabilização.



Como observado por Mansur et al. (2007), a introdução de um polímero pode trazer diversos aspectos que vão variar de acordo com a natureza do polímero utilizado, natureza do estabilizante utilizado para o látex, quantidade e tamanho da cadeia surfactante. A alteração da consistência na argamassa é associada aos efeitos dos dispersantes promovidos pelos surfactantes utilizados nos látexes poliméricos ou pela sua carga superficial, além do formato da partícula e da capacidade de retenção de água.

Por exemplo, o autor cita que alguns resultados de aumento de consistência de argamassas dependem do agente surfactante na polimerização por emulsão, se for um agente aniônico, influenciam a fluidez por atuarem defloculando a pasta de cimento Portland e liberando água aprisionada nos flocos. Por outro lado, outros estabilizantes não aniônicos podem provocar o aumento da viscosidade da pasta e aumentar a consistência das argamassas.

Existem vários tipos de agente surfactantes, o mais utilizado em polímeros redispersíveis é o poli (álcool vinílico) (PVA), mas existem outros que podem ser empregados na polimerização como o poliestireno sulfonado (PES), o trifosfato de cálcio (TCP), o hidroxietilcelulose (HEC), o poli (metacrilato de amônio) (APMA), dentre outros.

Cada surfactante e os seus teores proporcionam propriedades específicas (Mansur, 2007). Mansur (2007) e Bomediano, Gomes e Fontanini (2020) observaram em seus estudos como o efeito da ação surfactante pode mudar a consistência da argamassa para mesmo teores de polímeros de origens diferentes.

Baseado nisso, para as argamassas com adição de EVA, no primeiro momento, acredita-se que houve o efeito predominante do surfactante proporcionando viscosidade, além do alto teor de ar incorporado e absorção, mas ao longo do tempo de estabilização o efeito das esferas de látex sobrepõe o aumento da viscosidade da fase inicial resultante da presença do surfactante. Somado a isso, o agente surfactante utilizado no EVA em estudo, pode ter provocado a liberação da água aprisionada nos flocos durante a estabilização, provocando exsudação para maiores porcentagens do resíduo (no caso de EVA incorporado seco), o que explica o espalhamento aumentar ao longo da estabilização e com o aumento do teor de EVA incorporado Seco.

No entanto, nas argamassas com EVA incorporado saturado, não ocorreu exsudação e o espalhamento ao longo da estabilização manteve-se próximo para todas as argamassas, mesmo as com 50% de incorporação de EVA, indicando assim uma melhor retenção de água. Entretanto, para as argamassas com 40 e 50% de incorporação de EVA saturado, em 0 h de estabilização, a consistência foi bastante reduzida, dificultando inclusive o manuseio e a moldagem, mas melhorando sua consistência em maiores tempos de estabilização, isso indica que a pré-saturação faz com que a mistura fique com menor água disponível no sistema no primeiro momento da estabilização, devido a utilização de parte significativa da água da mistura para a pré-saturação, conforme foi observado também por Rossignolo (2009) para concretos com agregados leves. A Figura 25 apresenta a consistência seca na argamassa com 50% de EVA incorporado saturado em 0h de estabilização.

Figura 25: Consistência seca na argamassa com 50% de EVA incorporado saturado em 0h de estabilização.



A saturação de agregados com alta absorção de água é uma prática recomendada para otimizar a trabalhabilidade de argamassas e concretos. De acordo com Rossignolo (2009), essa técnica é particularmente crucial para agregados leves com absorção de água acima de 10%, visando evitar prejuízos à consistência do concreto no estado fresco. A absorção de água pelos agregados leves é proporcional à consistência do concreto, justificando a pré-saturação para prevenir a formação de bolhas de ar ao redor do agregado leve decorrente da elevada absorção de água após a mistura dos materiais e reduzir a absorção após a mistura, preservando a trabalhabilidade.

Os agregados de resíduos de EVA utilizados nesse estudo também possuem uma absorção de água elevada (75,44%). Dessa forma, autores como Rossignolo (2009) e Leite (2001) recomendam a pré-molhagem dos agregados para garantir uma trabalhabilidade adequada nas argamassas e concretos produzidos com esses materiais reciclados.

A redução da absorção dos agregados pode ser alcançada por meio da pré-molhagem ou da compensação de água de absorção na mistura. Autores como Ferreira, Brito e Barra (2011) indicam que ambos os métodos interferem minimamente na resistência à compressão do concreto, evitando que a absorção de água do agregado reciclado prejudique a consistência. Entretanto, Guerzou, Mebrouki e Castro-Gomes (2018) recomendam a introdução de agregados reciclados pré-saturados no concreto para garantir resistência e evitar a absorção excessiva de água.

Ao fazer a comparação do método de compensação de água na mistura, que resulta na melhor fluidez do conjunto estudado, com o método da pré-molhagem, Guerzou, Mebrouki e Castro-Gomes (2018) observam que esse método permite a produção de concreto com agregado reciclado de forma semelhante ao concreto convencional. No entanto, é destacado que, apesar da boa fluidez, esse método pode estar associado a problemas como exsudação e segregação, além de apresentar redução na resistência à flexão e compressão. Essa análise ressalta a necessidade de escolher o método mais adequado, considerando não apenas a trabalhabilidade, mas também as propriedades mecânicas do concreto produzido com agregados reciclados.

5.1.2 Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado

As Figuras 26 e 27 apresentam conjuntamente os dados de densidade de massa fresca e teor de ar incorporado das argamassas ensaiadas.

Figura 26: Comparação entre a densidade de massa fresca e o teor de ar incorporado para EVA incorporado Seco.

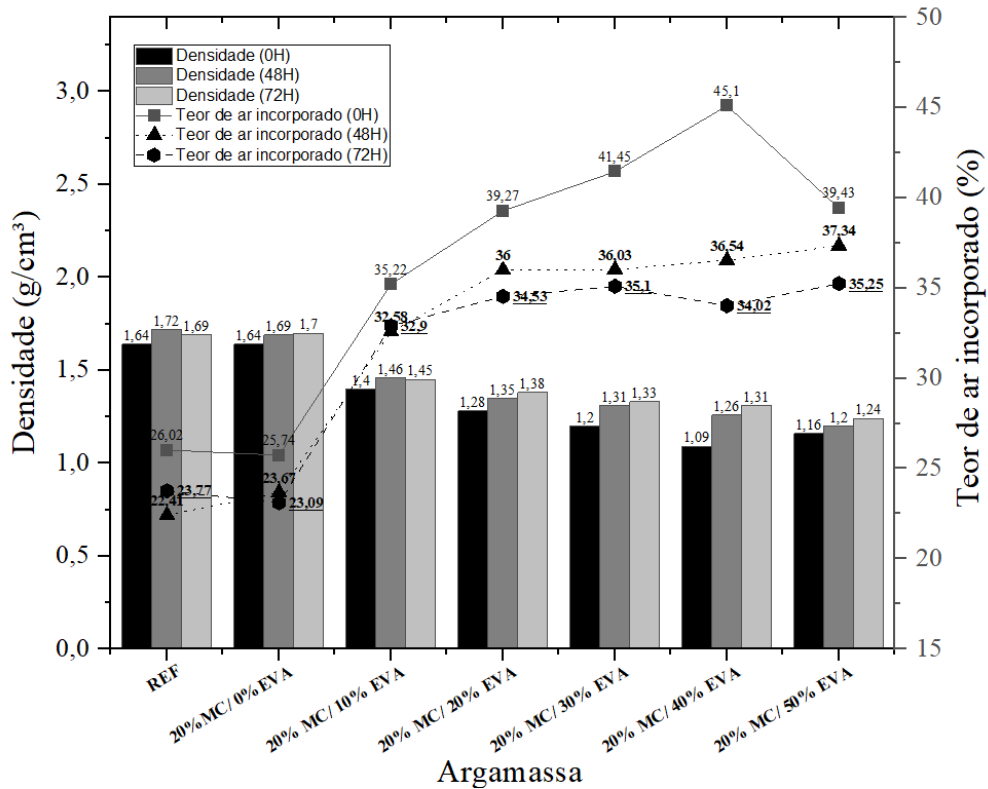
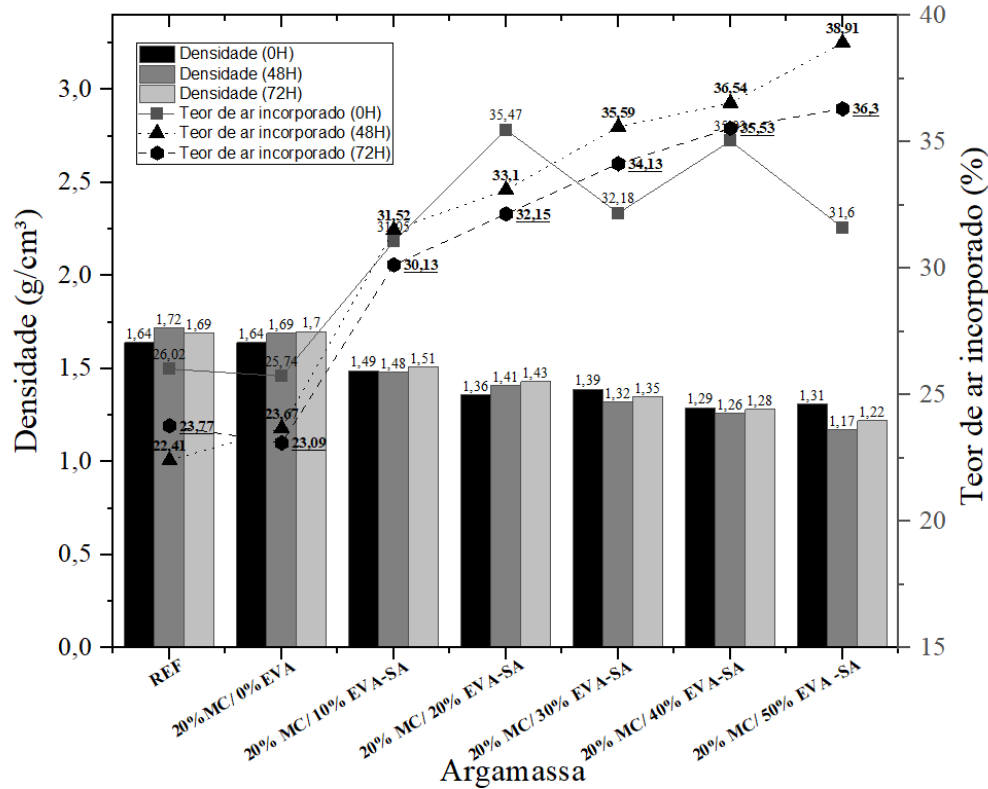


Figura 27: Comparação entre a densidade de massa fresca e o teor de ar incorporado para EVA incorporado saturado.



As argamassas com EVA incorporado seco (Figura 26) 20%MC/10%EVA, 20%MC/20%EVA, 20%MC/30%EVA, 20%MC/40%EVA e 20%MC/50%EVA apresentaram uma redução de 15%, 22%, 27%, 34% e 29% respectivamente, da densidade de massa fresca em relação a densidade de massa fresca da mistura 20%MC/ 0%EVA para 0h de estabilização, diminuindo também, quando em comparação ao tempo de estabilização de 48h. Além disso, percebe-se que quanto maior a porcentagem de EVA menor é a densidade de massa fresca para o mesmo tempo de estabilização. Isso era esperado, já que a densidade de uma mistura de materiais depende da densidade dos seus componentes.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 26 e Figura 27 a argamassa de referência e a argamassa 20%MC/ 0%EVA tiveram uma diminuição de 13,87 % e 8,05%, respectivamente, dos seus teores de ar incorporado em 48h, e 8,67 e 10,30% em 72 horas, em relação aos seus teores de ar incorporado em 0h.

Da Figura 26, para as argamassas com EVA incorporado seco, as argamassas 20%MC/10%EVA, 20%MC/20%EVA, 20%MC/30%EVA, 20%MC/40%EVA e 20%MC/50%EVA apresentaram um aumento do seu teor de ar incorporado de 36,83 %, 52,58%, 61,03%, 75,23% e 53,19% em comparação com a argamassa 20%MC/ 0%EVA, respectivamente, para os mesmos tempos de estabilização de 0h. Além disso, é possível observar que há um pico do teor de ar incorporado na argamassa com 40% de EVA, em 0 h. Santiago (2008) também constatou esse comportamento, de acordo com a autora as misturas com EVA, para qualquer das relações estudadas, apresentaram os maiores teores de ar incorporado. A textura esponjosa, a alta porosidade do grão, a forma e o aumento da quantidade de agregado de EVA podem ter impedido a liberação das bolhas de ar no momento da execução do ensaio, contribuindo para o elevado aumento do teor de ar aprisionado em 0h de estabilização.

Pelas Figuras 26 e 27 fica evidente como o EVA eleva o teor de ar incorporado de todas as misturas, se comparado a argamassa de referência e a argamassa 20%MC/0%EVA. Isso também foi observado por outros autores como Silva (2023) e Mansur et al. (2007).

Da Figura 26 também é possível verificar como o teor de ar incorporado vai reduzindo ao longo da estabilização para todas as argamassas com EVA incorporado seco apresentadas, como já explicado anteriormente, isso possivelmente é devido a argamassa utilizada possuir uma porcentagem de finos significativa que facilita a acomodação das partículas durante a estabilização (Oliveira, 2017). Além da maior quantidade de água disponível na argamassa ao longo do tempo de estabilização provocada pela absorção parcial

da lâmina d'água (Figura 24) que reduz as bolhas de ar, pois a água livre na matriz reduz o efeito do aditivo incorporador de ar.

As argamassas com EVA incorporado saturado (Figura 27) 20%MC/10%EVA-SA, 20%MC/20%EVA-SA, 20%MC/30%EVA-SA, 20%MC/40%EVA-SA e 20%MC/50%EVA-SA apresentaram uma redução de 9,22%, 17,14%, 15,32%, 21,41% e 20,19% respectivamente, da densidade de massa fresca em relação a densidade de massa fresca da mistura 20%MC/ 0%EVA para 0h de estabilização, diminuindo também, quando em comparação ao tempo de estabilização de 48h. Além disso, percebe-se que quanto maior a porcentagem de EVA menor é a densidade de massa fresca para o mesmo tempo de estabilização, exceto para a argamassa com 30 e 50% em 0 h que apresentou uma densidade de massa fresca próxima a argamassa de 20 e 40%, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo menor teor de ar incorporado na argamassa com 30% e 50% conforme visto na Figura 27, proporcionando melhor arranjo das partículas.

A substituição parcial do agregado por EVA promove uma redução da densidade das argamassas uma vez que ele apresenta menor valor de massa específica aparente, conforme mostrado na Tabela 5, isso corrobora com o estudo de Silva (2023), Mansur et al. (2007), Andrade e Guimarães (2017). Entretanto, com o aumento do tempo de estabilização, há uma tendência de aumentar a densidade de massa fresca para todas as argamassas com EVA seco incorporado, incluindo a REF. Isso pode ser explicado pela diminuição do teor de ar incorporado com 48h e 72h de estabilização, como pode ser visto na Figura 26.

No entanto, as argamassas com EVA incorporado saturado não apresentaram linearidade no aumento da densidade de massa, mas ao mesmo tempo apresentaram menor variação das densidades ao longo do tempo de estabilização. Isso pode ser explicado pelos valores mais próximos apresentados no teor de ar incorporado de argamassas com EVA saturado (Figura 27) ao longo do tempo de estabilização, proporcionando uma estabilidade maior das massas específicas ao longo do tempo.

Observando a curva granulométrica do cimento Portland e do MC, é possível notar que as partículas do MC são mais finas. Sendo assim, essa grande quantidade de finos facilita a acomodação das partículas ao longo do tempo de estabilização, aumentando a densidade e diminuindo o teor de ar incorporado (Oliveira, 2017). A argamassa REF (sem MC e EVA) também teve aumento da densidade, provocado pela redução do teor de ar incorporado, gerando uma acomodação gravitacional.

É importante ressaltar que todas as argamassas com EVA incorporado seco acima de 20% de incorporação de EVA caracterizam-se como argamassa leve com uma densidade de

massa fresca menor que $1,4 \text{ g/cm}^3$ (Carasek, 2010). A argamassa com 10% de EVA apresenta valores de densidade próximos durante a estabilização. No entanto, as argamassas com EVA saturado apresentaram aumento da densidade de massa em relação às argamassas com EVA seco, enquadrando-se como argamassa leve apenas as argamassas com 20% em 0h (apesar dos demais tempos terem valores próximos), e as argamassas com 30%, 40% e 50% em todos os tempos de estabilização.

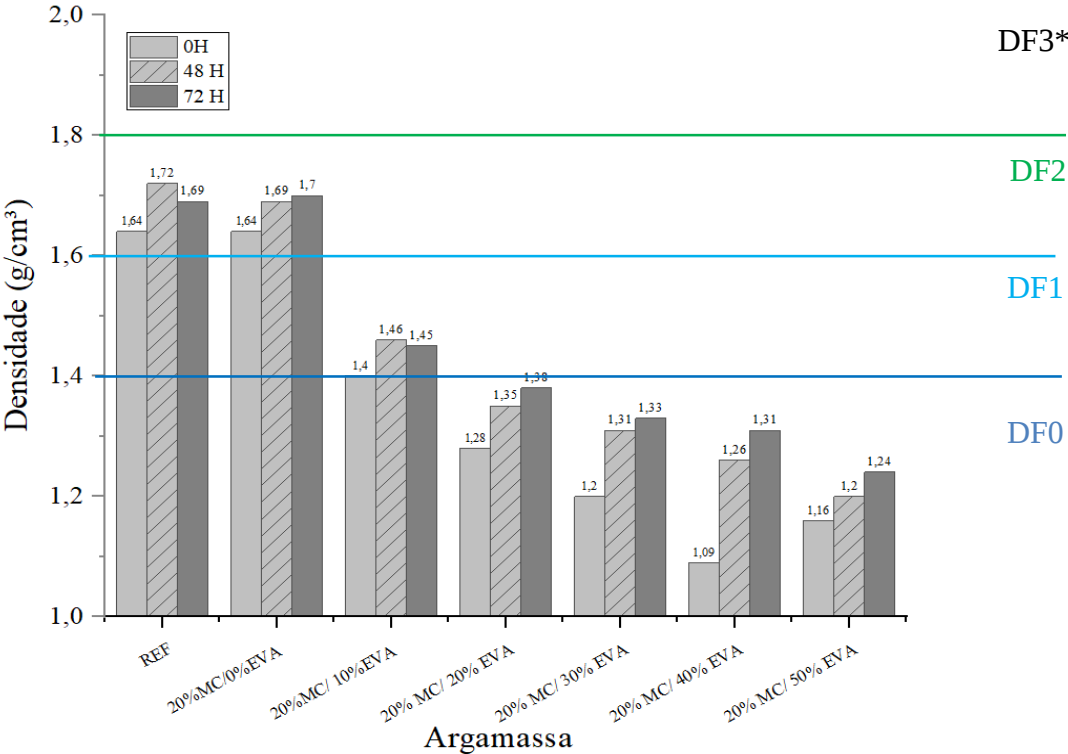
Para as argamassas produzidas com EVA saturado (Figura 27) a redução do ar incorporado com o tempo de estabilização é menos acentuada e para a argamassa de 30%, 40% e 50% ocorre o inverso, tendo um aumento do ar incorporado durante a estabilização. Este fato pode ter sido proporcionado provavelmente pela menor quantidade de água disponível no sistema devido a maiores porcentagens de EVA pré-saturado. Rossignolo (2009) observa que os agregados leves sem saturação prévia, podem absorver parte dos aditivos redutores de água, como o aditivo incorporador de ar, reduzindo assim, sua atuação. Isso explica o fato das argamassas com EVA incorporado seco terem perdido mais ar incorporado ao longo da estabilização do que as argamassas com EVA saturado. A rápida absorção de água do agregado seco e a própria propriedade do EVA de incorporação de ar, proporcionou um aumento considerável do teor de ar incorporado em 0 h de estabilização, tendo então reduzido o efeito do aditivo incorporador de ar nos demais tempos de estabilização.

Comparando as Figuras 26 e 27, as argamassas com EVA saturado (Figura 27) apresentaram menores teores de ar incorporado, se comparado às argamassas com EVA incorporado Seco. Essa redução mais acentuada ocorreu em 0 h de estabilização. As argamassas com 10%, 20%, 30%, 40% e 50% apresentaram uma redução de 11,83%, 9,67%, 22,37%, 22,33% e 19,87%, respectivamente, das argamassas com EVA incorporado saturado para argamassa com EVA Seco para 0h. No entanto, para os tempos de 48 e 72 h de estabilização, os valores e teor de ar incorporado foram muito próximos, com uma maior variação na argamassa com 10% de EVA em 72 h, tendo uma redução de 8,44%.

Como explicado por Santiago (2008), a alta porosidade do agregado leve pode impedir a liberação das bolhas de ar no momento da execução do ensaio, por isso é importante a pré-saturação para estabilizar esse fenômeno. Além disso, conforme explicado por Rossignolo (2009) deve-se pré-saturar o agregado leve para evitar a formação de bolhas de ar ao redor do agregado decorrente da elevada absorção de água após a mistura dos materiais e para reduzir a absorção de água após a mistura, evitando prejuízos a trabalhabilidade.

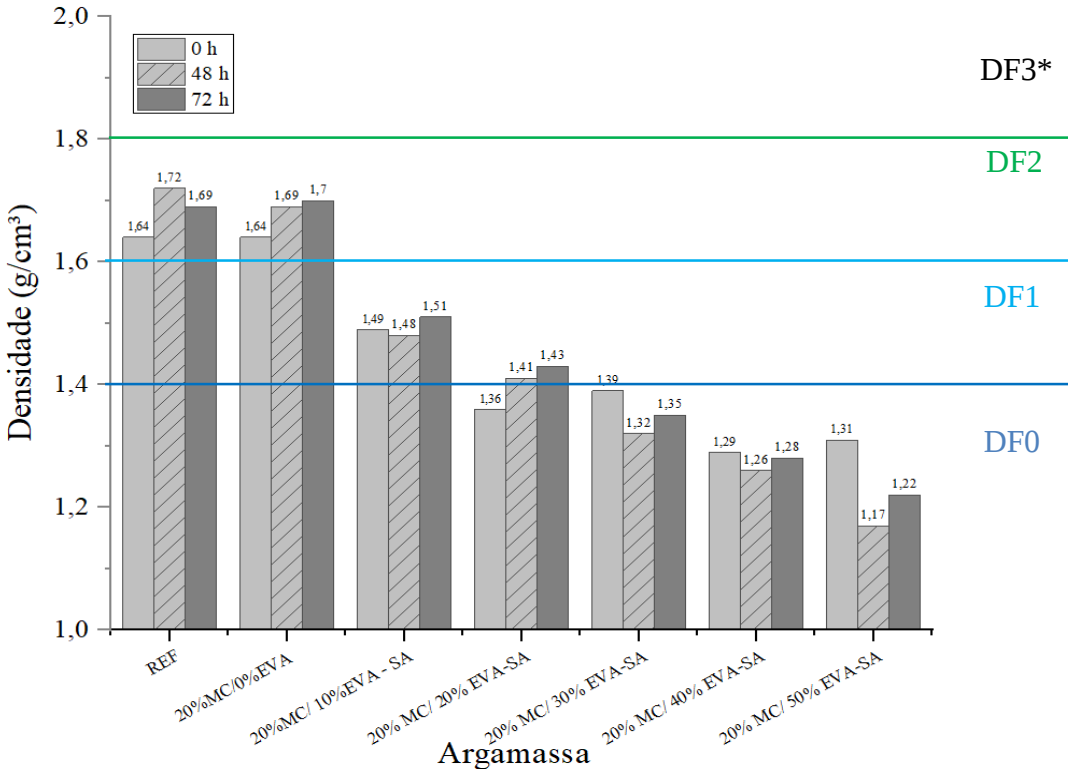
As Figuras 28 e 29 apresentam as densidades de massa das misturas no estado fresco. Além disso, estão representadas as siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023) para a densidade de massa no estado fresco de argamassas de revestimento.

Figura 28: Densidade de massa fresca das argamassas com EVA incorporado seco.



* Siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

Figura 29: Densidade de massa fresca das argamassas com EVA incorporado saturado.

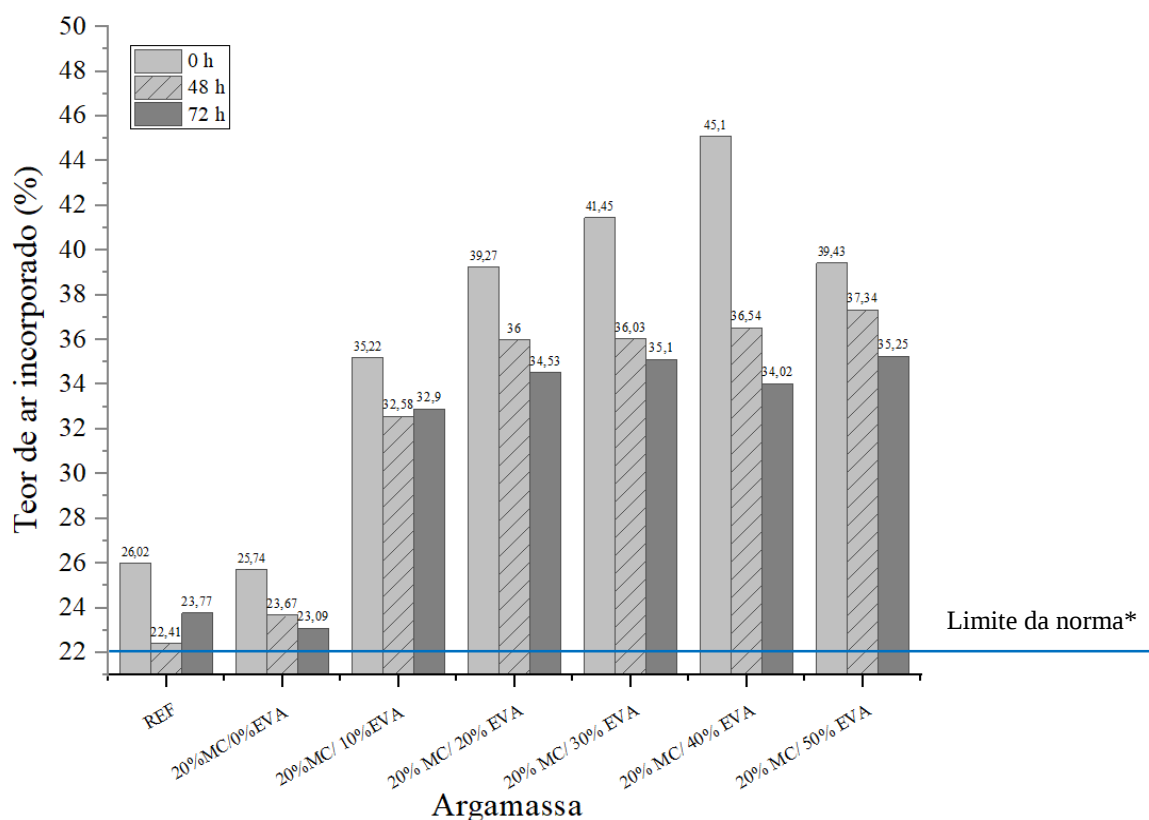


* Siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

A NBR 13281-1 (ABNT, 2023) classifica as argamassas de revestimento de acordo com a densidade de massa no estado fresco. De acordo com essa norma, as argamassas com EVA incorporado seco (Figura 28) com teores de EVA acima de 20% classificam-se como DF0, ou seja, enquadrada como argamassa leve pois apresenta valor de densidade menor que 1.400 Kg/m³. A argamassa com 10% de EVA ficou dentro da classe DF1 e as argamassas sem incorporação de EVA, apresentaram-se na classe DF2. Já as argamassas com EVA saturado (Figura 29), ficaram classificadas em DF1 as argamassas com 10% de EVA e 20% em 48 h e 72 h de estabilização) e as demais argamassas classificadas em DF0.

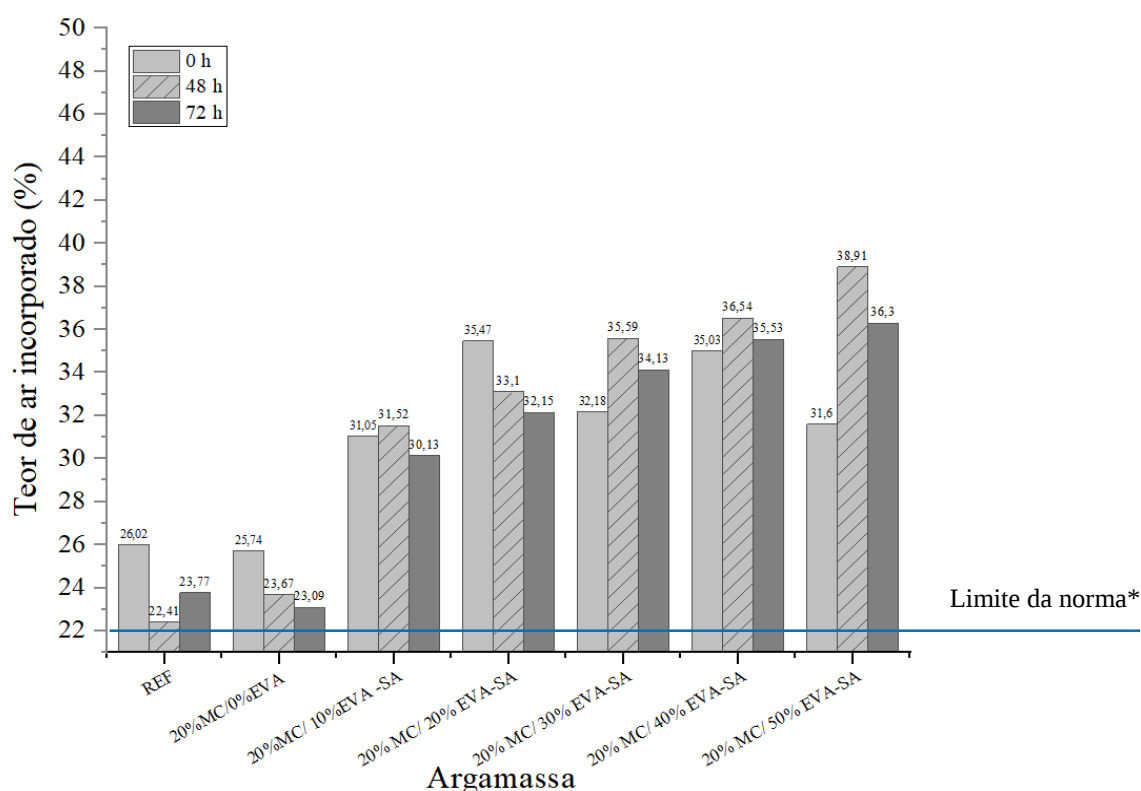
Os resultados de teor de ar incorporado para as misturas analisadas são apresentados nas Figuras 30 e 31. Além disso, está representado o limite estabelecido pela norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023) para o teor de ar incorporado de argamassas de alvenaria sem função estrutural.

Figura 30: Teor de ar incorporado das misturas com incorporação de EVA seco.



* Norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023)

Figura 31: Teor de ar incorporado das misturas com incorporação de EVA saturado.



* Norma NBR 13281-2 (ABNT, 2023)

De acordo com a NBR 13281-2 (2023), o teor de ar incorporado das argamassas para assentamento e fixação de alvenaria deve ser menor que 22% para argamassas de alvenaria sem função estrutural e menor que 18% para alvenaria estrutural. Da Figura 30 e 31 observamos que apenas as argamassas sem EVA se aproximam desse limite.

Dessa forma, sua aplicação como argamassa de assentamento e revestimento fica inviabilizada, sendo necessário recorrer a alternativas como utilização de aditivos impermeabilizantes ou aditivos cristalizantes para diminuir a maior absorção de água que pode ser provocada pelo elevado teor de ar. Outra alternativa seria usar aditivos antiespumantes ou alterar a dosagem do aditivo incorporador de ar para as argamassas de referência e retirar o aditivo nas argamassas com EVA com objetivo de reduzir o teor de ar incorporado.

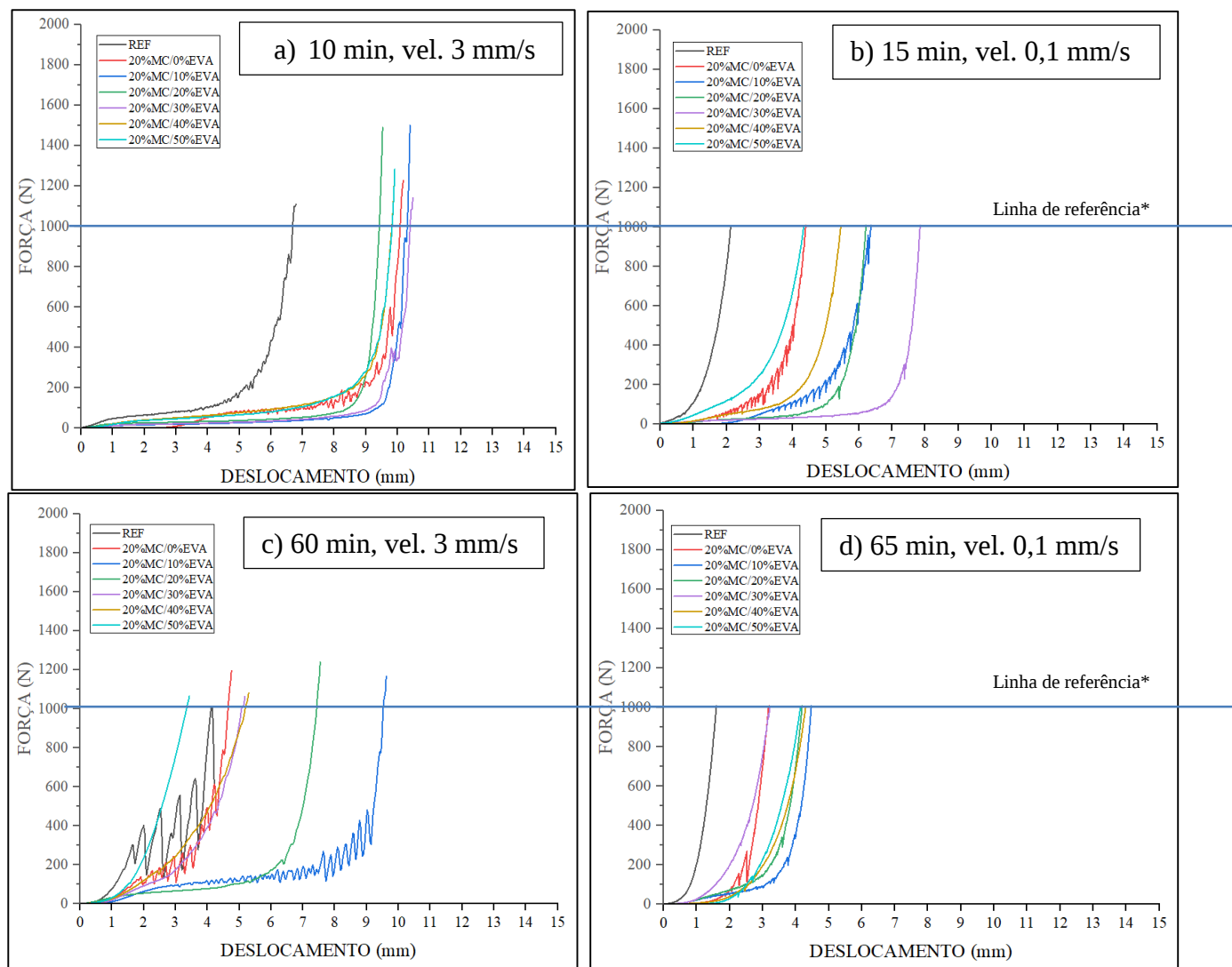
5.1.3 Squeeze flow

Nas Figuras 32 a 38 constam os resultados após 10, 15, 60 e 65 minutos da mistura e deslocamento ocorrendo em duas velocidades, 3 mm/s e 0,1 mm/s, representando velocidades de solicitações comuns na argamassa durante aplicação, conforme recomendado

pela norma NBR 15.839 (ABNT, 2010b). Nas figuras as curvas se diferenciam por cores e tipo de traço.

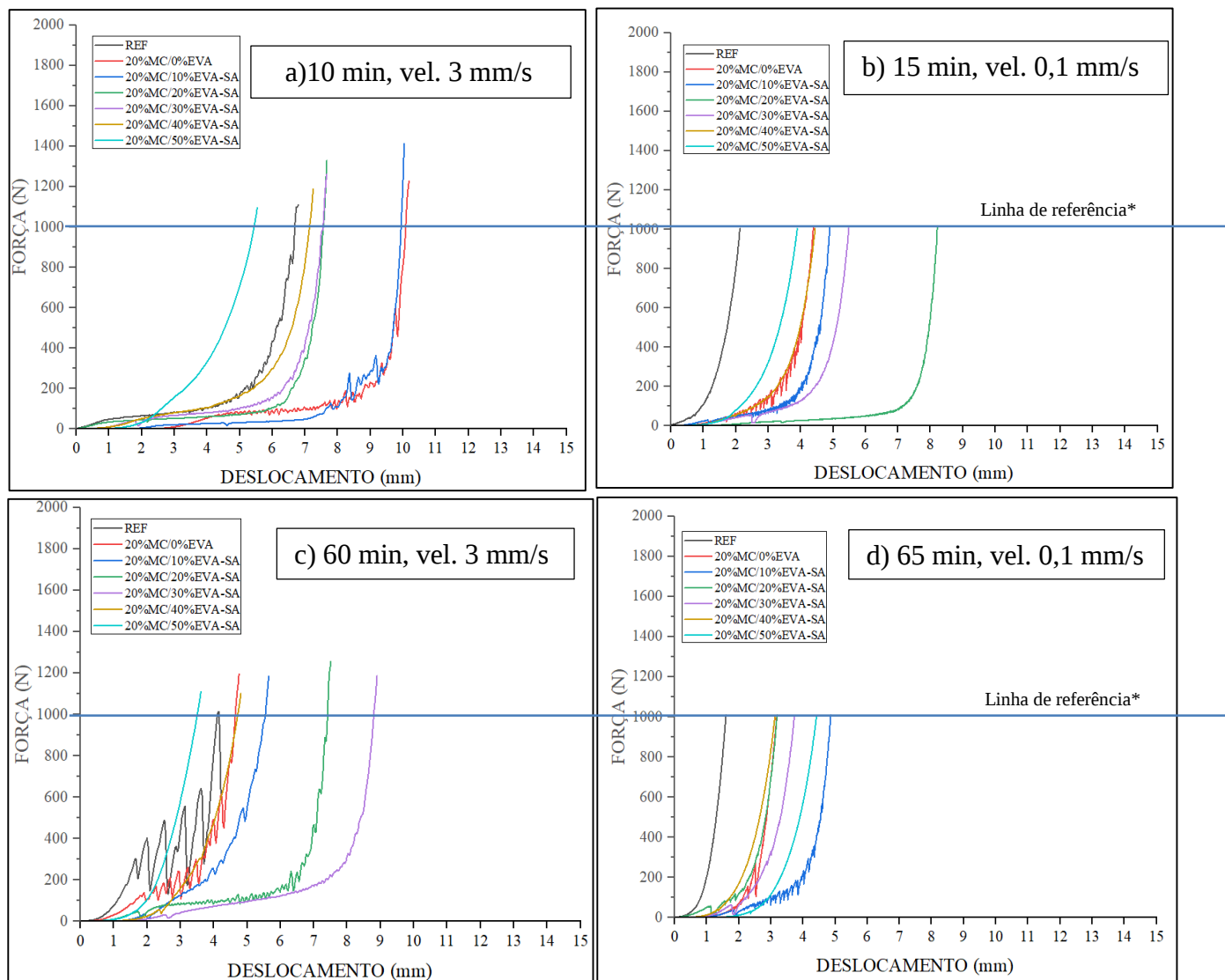
As Figuras 32 e 33 apresentam os resultados do ensaio *Squeeze flow* das argamassas em 0h de estabilização.

Figura 32: Resultados de *squeeze-flow* ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado seco) no comportamento reológico das argamassas em 0 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.



*Linha de referência para auxiliar na comparação dos deslocamentos em uma aplicação de força de 1000 N (força comum a todos os gráficos).

Figura 33: Resultados de *squeeze-flow* ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado saturado) no comportamento reológico das argamassas em 0 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.



*Linha de referência para auxiliar na comparação dos deslocamentos em uma aplicação de força de 1000 N (força comum a todos os gráficos).

As argamassas REF, 20%MC/0%EVA e 20%MC/10%EVA com grande oscilação nos gráficos das Figuras 32 e 33, sugerem a ocorrência de altos níveis de cisalhamento interno no material. De acordo com Cardoso, Pileggi e John (2010), algumas argamassas têm um comportamento particular durante os ensaios, resultando em gráficos com variações de carga. É comum algumas argamassas, geralmente em níveis de consistência intermediários (dentro do estágio II do gráfico carga vs deslocamento apresentado na Figura

1) fluírem e depois pararem, sendo que quando para de fluir a carga aumenta e quando voltam a escoar a carga diminui. Este fenômeno está relacionado ao atrito entre a placa e a argamassa, e também, a deformação interna e fluxo do material. O alto nível de cisalhamento interno pode ser verificado na imagem da argamassa 20MC%/10%EVA após o ensaio *squeeze flow*, como apresentado na Figura 34.

Figura 34: Argamassa 20%MC/ 10%EVA (EVA incorporado seco) com fendas de cisalhamento interno nas suas bordas laterais após ensaio de *squeeze flow* no tempo de 10 min após a mistura e velocidade de ensaio de 3mm/s.



A Figura 32 (a) mostra que a argamassa REF tem um aspecto mais seco e já apresentava carga acima de 1000 N em deslocamento menor que 7 mm. Entretanto, as demais argamassas comportaram-se plasticamente até aproximadamente 8 mm, a partir deste deslocamento ocorre a inversão que caracteriza o terceiro estágio de enrijecimento.

Na Figura 32 (b) ocorre uma tendência semelhante ao da Figura 32 (a), mas apresentando maiores cargas para atingir as deformações. Dos gráficos, é possível concluir que para as argamassas analisadas, quanto maior a taxa de carregamento do ensaio, mais facilmente são deformadas. De acordo com Cardoso, Pileggi e John (2010), isso indica que quanto menor a velocidade, maior a tendência à segregação, pois a pasta mais fluida tem tempo suficiente para migrar, deixando os sólidos no centro, assim, as cargas resultantes são elevadas quando a velocidade é em 3mm/s. Nessas condições, o fluido comporta-se mais homogêneo, necessitando de menores cargas.

Na Figura 32 (c) é possível ver a tendência de oscilação bem acentuada, como citado anteriormente. Nesse caso, após 60 minutos do início da mistura, as argamassas REF, 20% MC/0%EVA, 20%MC/30%EVA E 20%MC/50%EVA, apresentaram um comportamento mais enrijecido, demandando cargas maiores para maiores deformações.

Na Figura 32 (d) é possível ver que as argamassas REF, 20%MC/0%EVA e 20%MC/30%EVA, apresentaram mais resistência às deformações, com destaque para a Referência que entrou no estágio III de tensão/deformação com menos de 2 mm de deslocamento. Na comparação entre os tempos, as argamassas em 10 e 15 minutos

apresentaram-se menos viscosas e com melhor escorregamento relativo dos agregados e apresentaram nível de carga menores que as argamassas após 60 e 65 min.

A Figura 33 apresenta os resultados das argamassas com EVA incorporado saturado. A Figura 33 (a) mostra que a argamassa REF tem um aspecto mais seco e já apresentava carga acima de 1000 N em deslocamento menor que 7 mm. As argamassas com 20, 30 e 40% de EVA apresentaram comportamentos semelhantes à referência. As argamassas com 0% e 10% de Eva apresentaram os melhores deslocamentos para as mesmas cargas. No entanto, a argamassa com 50% de EVA comportou-se plasticamente até aproximadamente 2 mm, a partir deste deslocamento ocorre a inversão que caracteriza o terceiro estágio de enrijecimento.

Na Figura 33 (b) ocorre uma tendência diferentes ao da Figura 33 (a), elas necessitam de maiores cargas para atingir as deformações. Nas figuras 33 (a e b), é possível concluir que para as argamassas analisadas, quanto maior a taxa de carregamento do ensaio, mais facilmente são deformadas. No entanto, nesse caso, a argamassa REF apresentou o menor deslocamento, enquanto a argamassa com 20% de EVA apresentou deslocamentos maiores dentro do conjunto. As demais argamassas apresentaram comportamento semelhantes.

Na Figura 33 (c) é possível ver a tendência de oscilação bem acentuada, como citado anteriormente. Nesse caso, após 60 minutos do início da mistura, as argamassas REF, 20%MC/0%EVA, 20%MC/10%EVA-SA, 20%MC/40%EVA-SA e 20%MC/50%EVA-SA, apresentaram um comportamento mais enrijecido, demandando carga maiores para maiores deformações.

Na Figura 33 (d) é possível ver que a argamassa REF apresentou mais resistência às deformações e entrou no estágio III de tensão/deformação com menos de 2 mm de deslocamento. As argamassas com adição apenas de metacaulim apresentou deslocamento próximo a argamassa com 20, 30 e 40%. Tendo melhores deslocamentos as argamassas com 10% e 50% de EVA.

Na comparação entre os tempos, as argamassas em 10 e 15 minutos apresentaram-se menos viscosas e com melhor escorregamento relativo dos agregados e apresentaram nível de carga menores que as argamassas após 60 e 65 min.

Comparando os gráficos das Figuras 32 e 33 em que temos resultados das argamassas com EVA incorporado seco e saturado, é possível observar que as argamassas com EVA saturado e seco apresentaram comportamentos semelhantes no *squeeze flow*. Apresentando bons deslocamentos em comparação a argamassa REF e 20 MC/0 EVA, no entanto, é possível observar, principalmente para menores tempos de ensaio, que as argamassas com

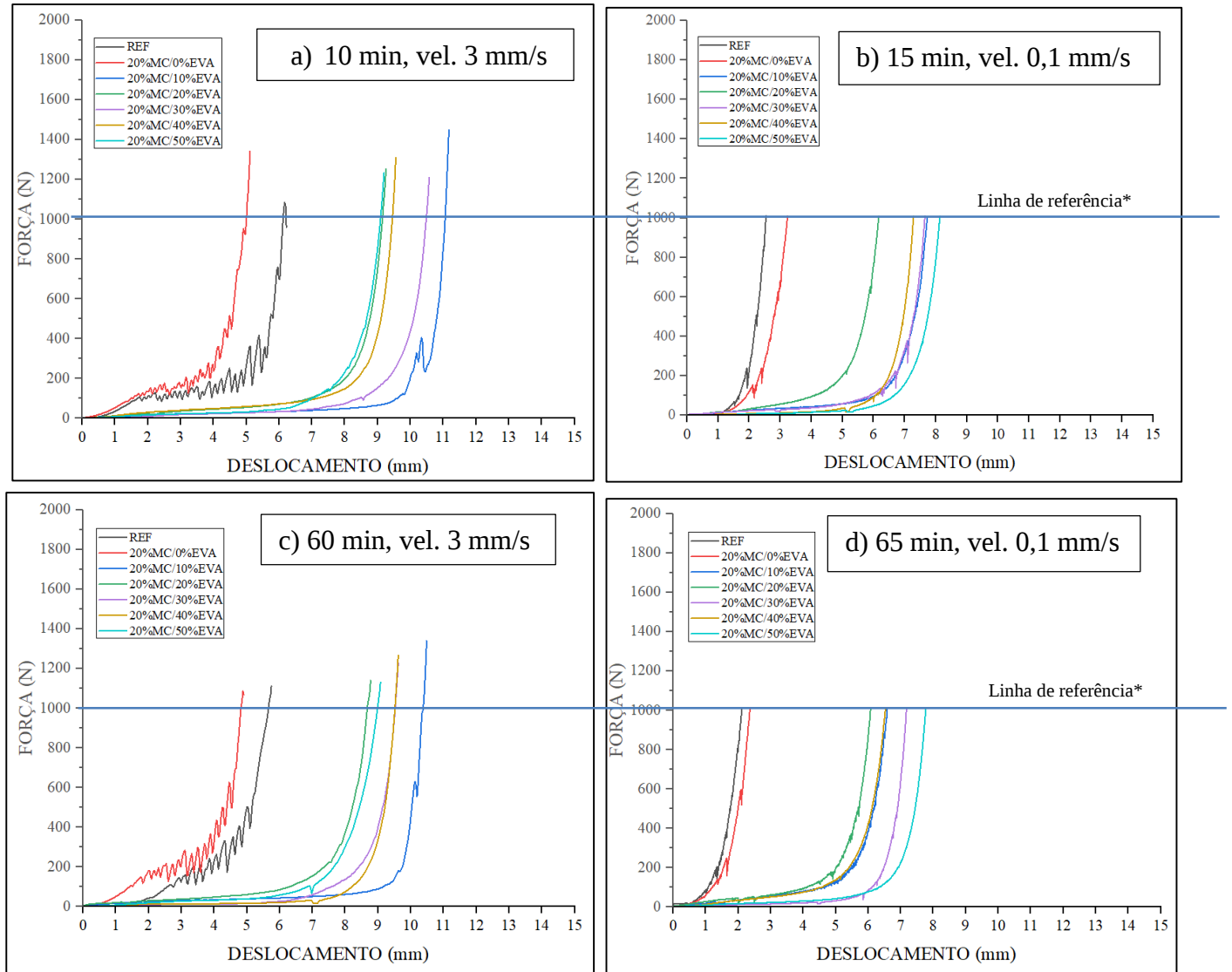
EVA saturado teve uma pequena perda de deslocamento, comprovando o que Rossignolo (2009) afirma de que a pré-saturação dos agregados aumenta a absorção final de água dos agregados, entretanto reduz a absorção de água após a mistura.

De uma forma geral, é possível concluir para 0h de estabilização que as argamassas com EVA mesmo apresentando um espalhamento baixo no ensaio de “*flow table*”, apresentou comportamentos reológicos próximos e na maioria dos casos até melhores, com deslocamentos maiores em menores cargas, do que a argamassa de referência, exceto para a argamassa com 50% de EVA que teve uma considerável perda de consistência.

Conclui-se também que a presença do metacaulim na mistura melhorou as propriedades reológicas na argamassa, visto que as curvas com metacaulim, em todas as condições do ensaio, se apresentam com deslocamento maior em menores cargas. Isso pode ter ocorrido devido à estrutura lamelar característica do metacaulim que promoveu facilidade no escorregamento entre suas camadas, e também devido às suas reações de hidratação que se processam de forma mais lenta que às do cimento Portland, como afirma Matos (2013).

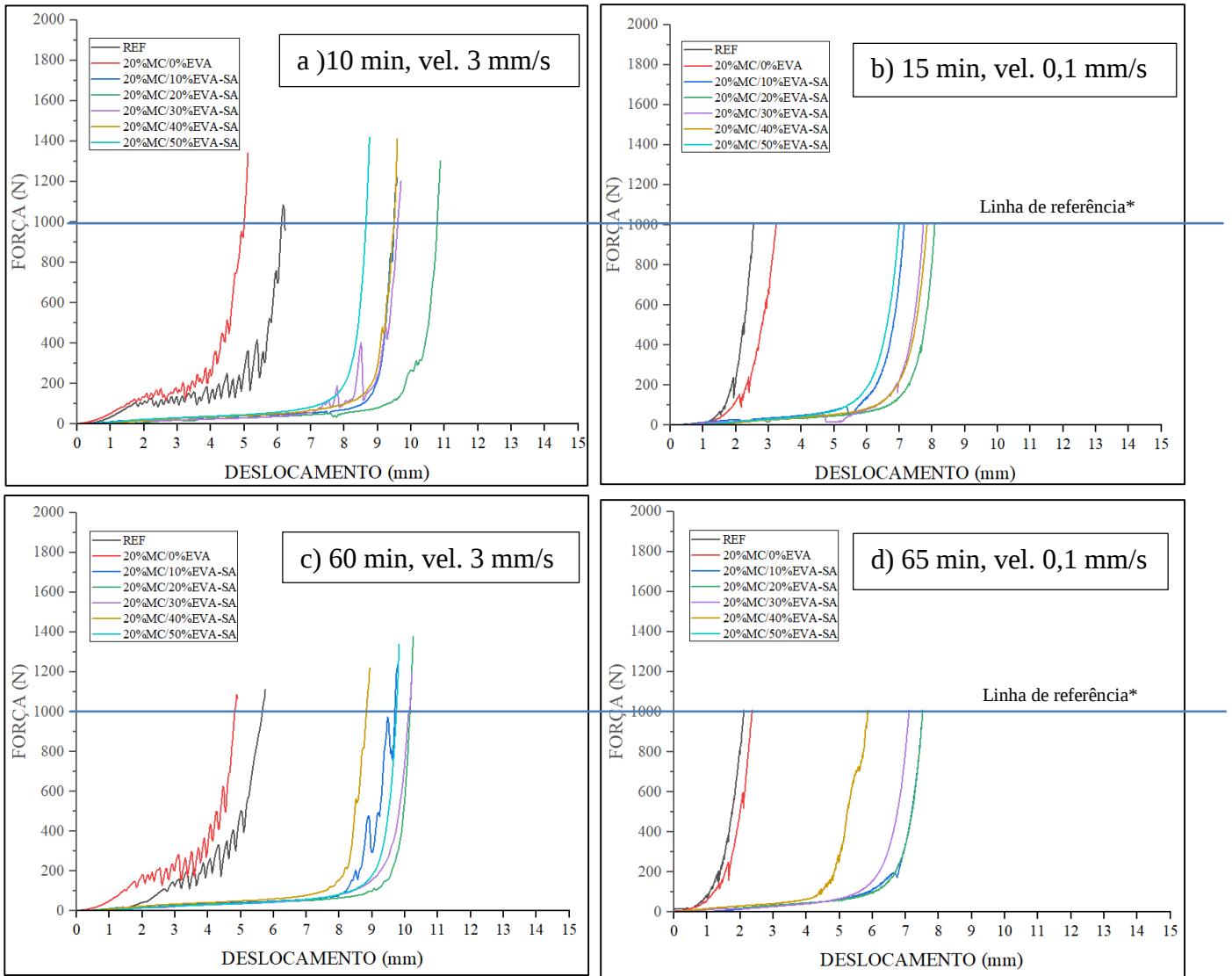
As Figuras 35 e 36 apresentam os resultados do ensaio *Squeeze flow* das argamassas em 48h de estabilização.

Figura 35: Resultados de *squeeze-flow* ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado seco) no comportamento reológico das argamassas em 48 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.



*Linha de referência para auxiliar na comparação dos deslocamentos em uma aplicação de força de 1000 N (força comum a todos os gráficos).

Figura 36: Resultados de *squeeze-flow* ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado saturado) no comportamento reológico das argamassas em 48 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.



*Linha de referência para auxiliar na comparação dos deslocamentos em uma aplicação de força de 1000 N (força comum a todos os gráficos).

A Figura 35 (a) mostra que as argamassas REF e 20%MC/0%EVA têm um aspecto mais seco e já apresentavam carga acima de 1000 N em deslocamento menor que 6 mm. Entretanto, as demais argamassas comportaram-se plasticamente até uma faixa entre 7 a 10 mm, sendo que a argamassa 20%MC/10%EVA apresentou maior comportamento plástico. Entretanto, as argamassas contendo EVA não apresentaram um estágio I de deformação elástica claro e tiveram um estágio II bem amplo, caracterizado por uma deformação plástica,

seguida por um enrijecimento por deformação, isso pode indicar um aspecto mais fluido, se comparado a 0h de estabilização.

Na Figura 35 (b) ocorre uma tendência semelhante à Figura 35 (a), mas apresentando maiores cargas para atingir as deformações. 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 (2010), 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 incorporado seco, entretanto, esse comportamento é devido também pela exsudação presente nas argamassas, principalmente as argamassas com 40 e 50% de EVA, como mostrado na Figura 23.

Na Figura 35 (c e d) após 60 e 65 minutos do início da mistura, o comportamento das argamassas mostrou-se bem parecido ao gráfico de 10 e 15 min. As argamassas REF, 20% MC/0%EVA apresentaram um comportamento mais enrijecido demandando carga maiores para maiores deformações, no entanto, para as argamassas com EVA ocorreu o oposto. Mostrando que para 48 h de estabilização as argamassas mantinham suas propriedades reológicas ao longo do tempo em todas as taxas de carregamento utilizadas.

A Figura 36 (a) mostra que as argamassas contendo EVA incorporado saturado comportaram-se plasticamente até uma faixa entre 7 a 10 mm, sendo que a argamassa 20MC/20%EVA-SA apresentou maior comportamento plástico. Entretanto, as argamassas contendo EVA tiveram um estágio II bem amplo, caracterizado por uma deformação plástica, seguida por um enrijecimento por deformação, isso pode indicar um aspecto mais fluido, se comparado a 0h de estabilização, fato que foi comprovado no ensaio “*flow table*”

Na Figura 36 (b) ocorre uma tendência semelhante à Figura 36 (a), mas apresentando maiores cargas para atingir as deformações e menores tensões de cisalhamento interno. As argamassas REF e 20%MC/0%EVA apresentaram altas cargas para atingir menos de 3 mm de deslocamento. É visto na imagem o melhor comportamento reológico das argamassas contendo EVA. O mais interessante é que não foi constatado exsudação nessa argamassa ao contrário da argamassa com EVA seco incorporado que para maiores porcentagens de EVA apresentou faixa de deslocamento próximos mas ao mesmo tempo com exsudação e alto índices de consistência.

Na Figura 36 (c e d) após 60 e 65 minutos do início da mistura, o comportamento das argamassas mostrou-se bem parecido ao gráfico de 10 e 15 min. As argamassas REF, 20% MC/0%EVA apresentaram um comportamento mais enrijecido demandando carga maiores para maiores deformações, no entanto, para as argamassas com EVA ocorreu o oposto.

Mostrando que para 48 h de estabilização as argamassas com EVA incorporado saturado mantinham suas propriedades reológicas ao longo do tempo em todas as taxas de carregamento utilizadas ao mesmo tempo em que obtinham boas propriedades de índice de consistência e de homogeneidade da mistura.

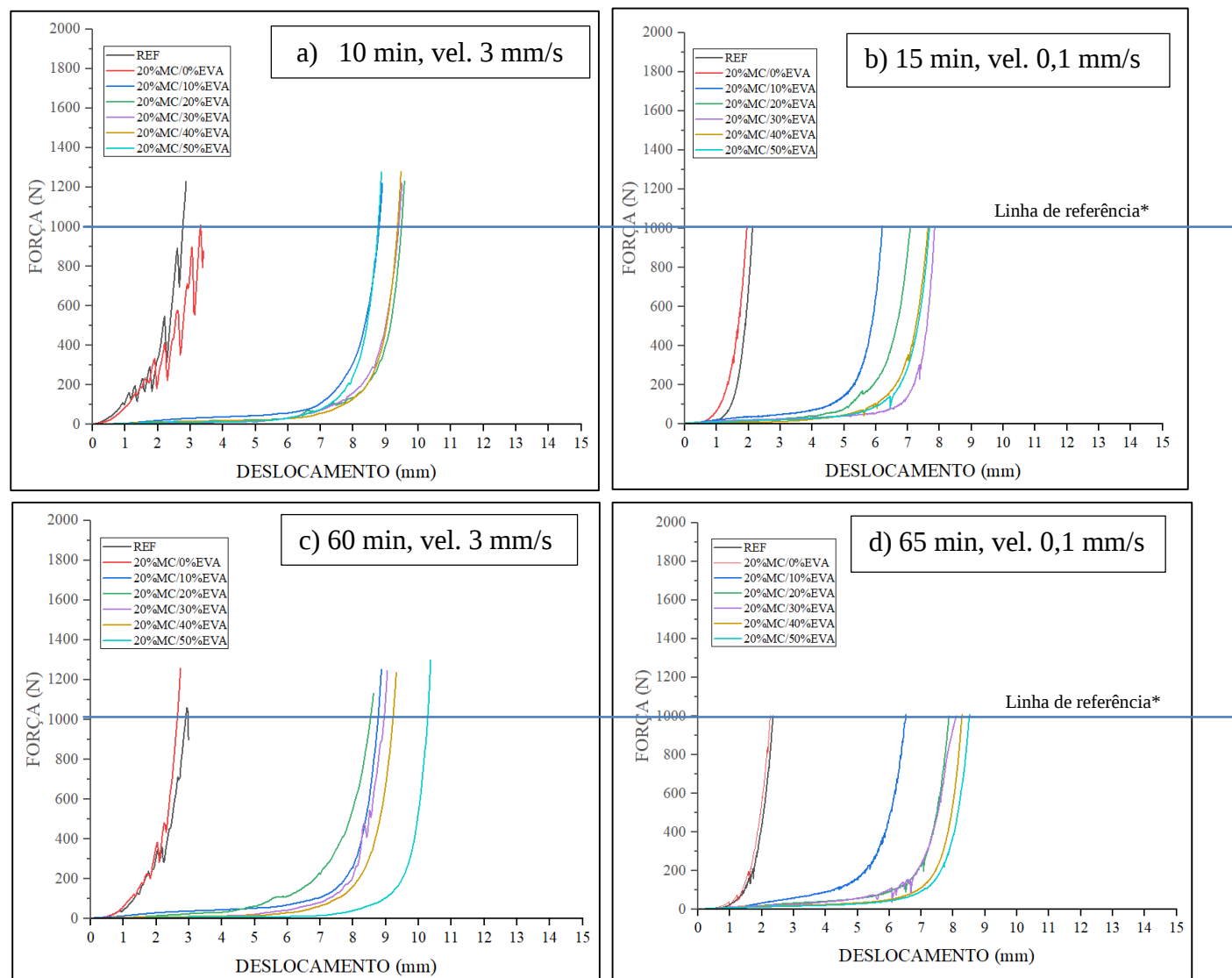
Comparando as argamassas com EVA seco e saturado (Figuras 35 e 36) é possível observar que as argamassas com EVA incorporado saturado apresentaram crescimento de deslocamento ao longo da aplicação da força mais próximos em todas as velocidades de ensaios, indicando uma melhor homogeneidade da mistura mesmo com aumento do teor de resíduos de EVA.

De uma forma geral, é possível concluir para 48h de estabilização, que as argamassas com EVA apresentaram um deslocamento mais acentuado para menores forças, reforçando a capacidade delas se tornarem mais trabalháveis ao longo da estabilização, como constatado anteriormente no ensaio de consistência pelo método “*flow table*”. As argamassas com EVA saturado apresentaram melhores resultados conjuntos de índice de consistência e *squeeze flow*.

Conclui-se também, que para 48 h de estabilização a presença do metacaulim na mistura não trouxe melhorias significativas para as propriedades reológicas da argamassa. Visto que as curvas com metacaulim (em vermelho nas Figura 35 e Figura 36), em condições do ensaio com maior velocidade, apresentam menores deslocamentos, em velocidade menor apresentam deslocamentos próximos a referência. O estudo de Silva (2023) e Laurentino (2019), assim como esse estudo, mostram que em 48 h de estabilização, o espalhamento da argamassa 20%MC/ 0%EVA na mesa de consistência diminui.

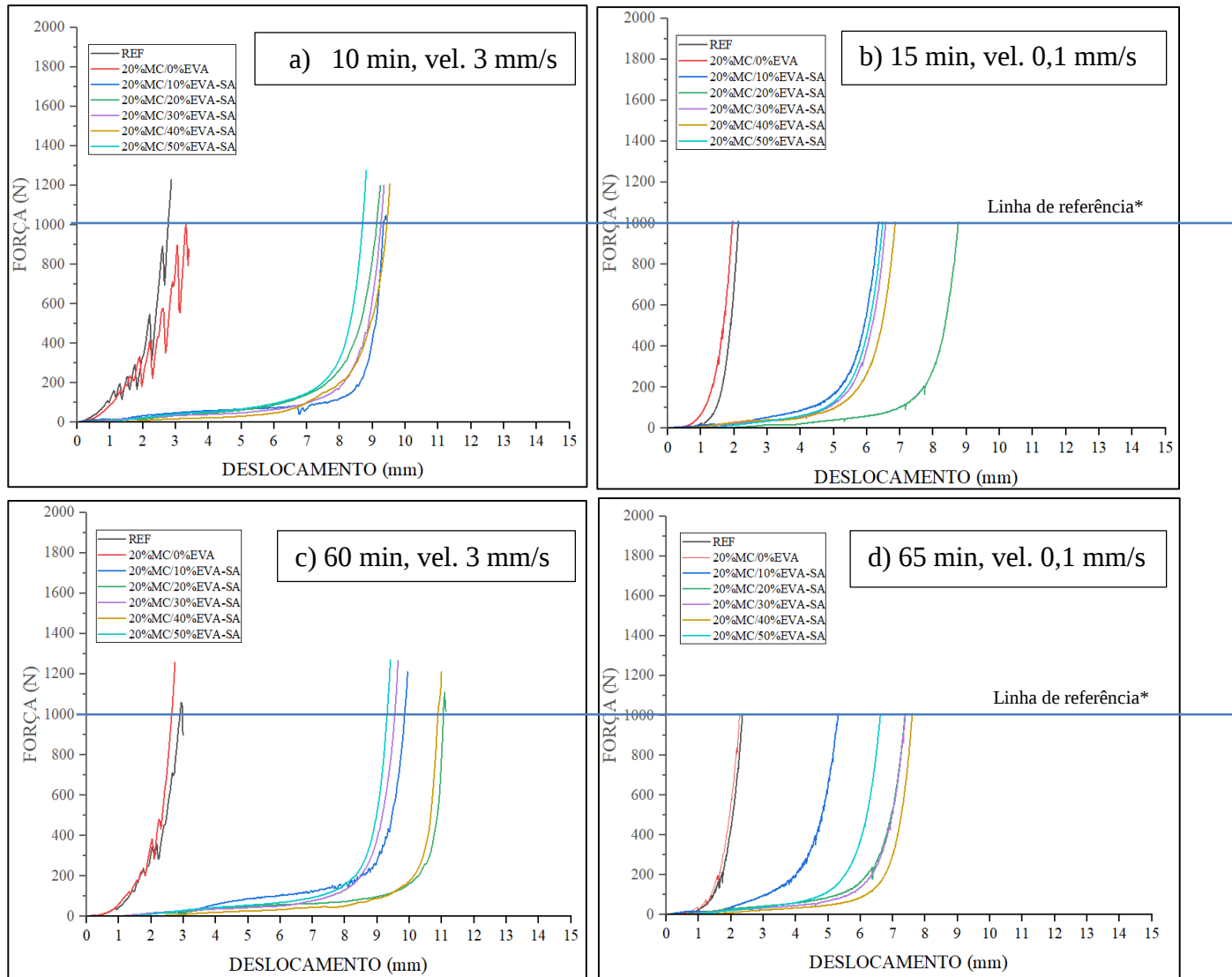
As Figuras 37 e 38 apresentam os resultados do ensaio *Squeeze flow* das argamassas em 72h de estabilização.

Figura 37: Resultados de *squeeze-flow* ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado seco) no comportamento reológico das argamassas em 72 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.



*Linha de referência para auxiliar na comparação dos deslocamentos em uma aplicação de força de 1000 N (força comum a todos os gráficos).

Figura 38: Resultados de *squeeze-flow* ilustrando a influência do Metacaulim e do EVA (incorporado saturado) no comportamento reológico das argamassas em 72 h de estabilização. a) Argamassas ensaiadas 10 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. b) Argamassas ensaiadas 15 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s. c) Argamassas ensaiadas 60 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 3 mm/s. d) Argamassas ensaiadas 65 minutos após a mistura com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/s.



*Linha de referência para auxiliar na comparação dos deslocamentos em uma aplicação de força de 1000 N (força comum a todos os gráficos).

A Figura 37 (a) mostra que as argamassas REF e 20%MC/0%EVA têm um aspecto mais seco e já apresentavam carga acima de 1000 N em deslocamento menor que 4 mm, tornando-se menos trabalhável do que nos tempos de estabilização de 0 e 48h. Entretanto, as demais argamassas comportou-se plasticamente até 7 mm, e todas elas apresentaram deslocamento ao longo da aplicação da força parecida. As argamassas contendo EVA, assim como no tempo de 48 h, não apresentaram um estágio I de deformação elástica claro e

tiveram um estágio II bem amplo, caracterizado por uma deformação plástica, seguida por um enrijecimento por deformação, isso pode indicar um aspecto mais fluido se comparado a 0h de estabilização.

Na Figura 37 (b) ocorre uma tendência semelhante ao da Figura 37 (a), mas apresentando maiores cargas para atingir as deformações. As argamassas REF e 20%MC/0%EVA apresentaram altas cargas para atingir menos de 2 mm de deslocamento. No entanto, para essa taxa de aplicação do deslocamento, as argamassas com 10 e 20% de EVA apresentaram um perfil com os estágios mais definidos e apresentaram uma resistência maior à deformação do que as argamassas de 30, 40 e 50%. Como mostrado no ensaio de consistência, as argamassas com 10 e 20% de EVA mantiveram um bom espalhamento, no entanto, as de maiores teores espalharam-se demasiadamente devido à exsudação.

A Figura 37 (c e d) após 60 e 65 minutos do início da mistura, mostrou que as argamassas REF, 20%MC/0%EVA, 20%MC/10%EVA, 20%MC/20%EVA mantiveram comportamentos próximos as figuras de 10 e 15min. Entretanto as argamassas com 40 e 50% de EVA apresentaram maior deformação em 60 e 65 min. Isso ocorreu pelo fato da exsudação acentuada nessas argamassas. Ao longo do tempo a água migrava para superfície, o que resultou em uma massa mais fluida, proporcionando uma tendência de segregação maior. A pasta mais fluida migra rapidamente e radialmente através da estrutura tridimensional formada pelos agregados e perde a sua capacidade de resistir à elevação das cargas (Cardoso, Pileggi, John, 2010).

Na Figura 38 (a) é possível observar que as argamassas REF e 20%MC/ 0%EVA apresentaram menor deslocamento para as mesmas forças em comparação as argamassas com EVA, sendo que todas as argamassas com EVA apresentaram deslocamento ao longo da aplicação da força parecidos.

Na Figura 38 (b) ocorre uma tendência semelhante ao da Figura 38 (a), mas apresentando maiores cargas para atingir as deformações. As argamassas REF e 20%MC/0%EVA apresentaram altas cargas para atingir menos de 2 mm de deslocamento. No entanto, para essa taxa de aplicação do deslocamento, a argamassa com 20% de EVA apresentou uma resistência menor a deformação do que as argamassas de 10%, 30%, 40% e 50%, que tiveram comportamentos parecidos. Como mostrado no ensaio de consistências, todas as argamassas mantiveram um bom espalhamento e não apresentaram exsudação.

A Figura 38 (c e d) após 60 e 65 minutos do início da mistura, mostrou que as argamassas REF, 20%MC/0%EVA mantiveram comportamentos próximos aos gráficos de 10 e 15 min, mas mais distintos entre si. Entretanto, as argamassas com EVA apresentaram

maior deformação em 60 e 65 min, com exceção da argamassa com 10% de EVA em 65 minutos. Apesar dessa deformação razoavelmente maior em 60 e 65 min após a mistura, possivelmente provocada por mais água disponível no sistema devido ao maior tempo disponível para liberação de água incorporada ao EVA, as argamassas não apresentaram exsudação para maiores teores de EVA durante o ensaio, indicando uma boa retenção de água e manutenção da propriedade de consistência.

De uma forma geral, é possível concluir para 72h de estabilização, que as argamassas com teor maior de EVA incorporado seco apresentaram um deslocamento mais acentuado para menores forças, reforçando o maior espalhamento constatado no ensaio de consistência. As argamassas com EVA saturado apresentaram bons deslocamentos comparado a REF e 20%MC/0%EVA e não apresentaram exsudação, mantendo uma boa trabalhabilidade.

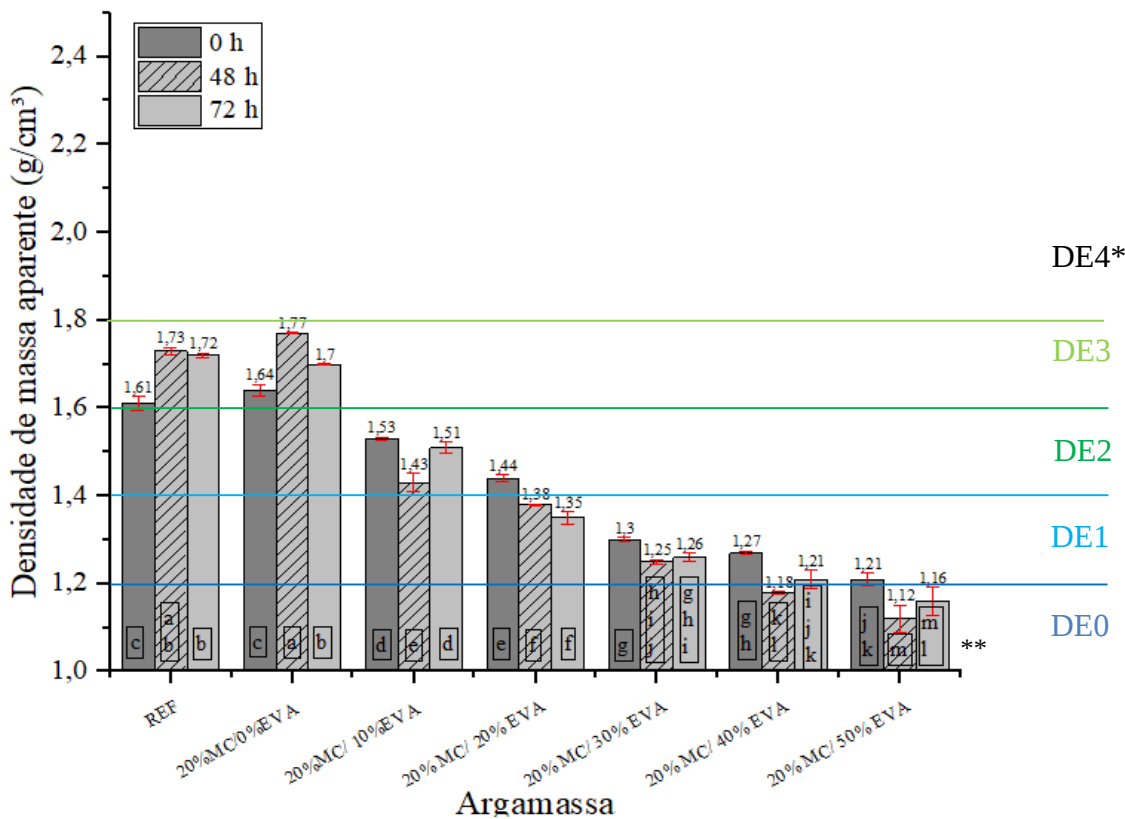
Conclui-se também, que para 72 h de estabilização a presença do metacaulim na mistura diminui as propriedades reológicas da argamassa, pelo comportamento da mistura 20%MC/0%EVA, em relação à referência. Visto que as curvas com metacaulim (em vermelho nas figuras 37 e 38), em todas as condições do ensaio, se apresentam com menores deslocamentos, exceto nas figuras 37 (a) e 38 (a) em que possui deslocamentos próximos a referência.

5.2 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

5.2.1 *Densidade de massa aparente*

As Figuras 39 e 40 apresentam as densidades de massa aparente no estado endurecido das misturas aos 28 dias de idade após moldadas. Os resultados contendo o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) são apresentados no Apêndice B. Além disso, estão representadas as siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023) para a densidade de massa aparente de argamassas de revestimento. As letras na parte inferior do gráfico são da classificação obtida na análise estatística pelo método de Tukey.

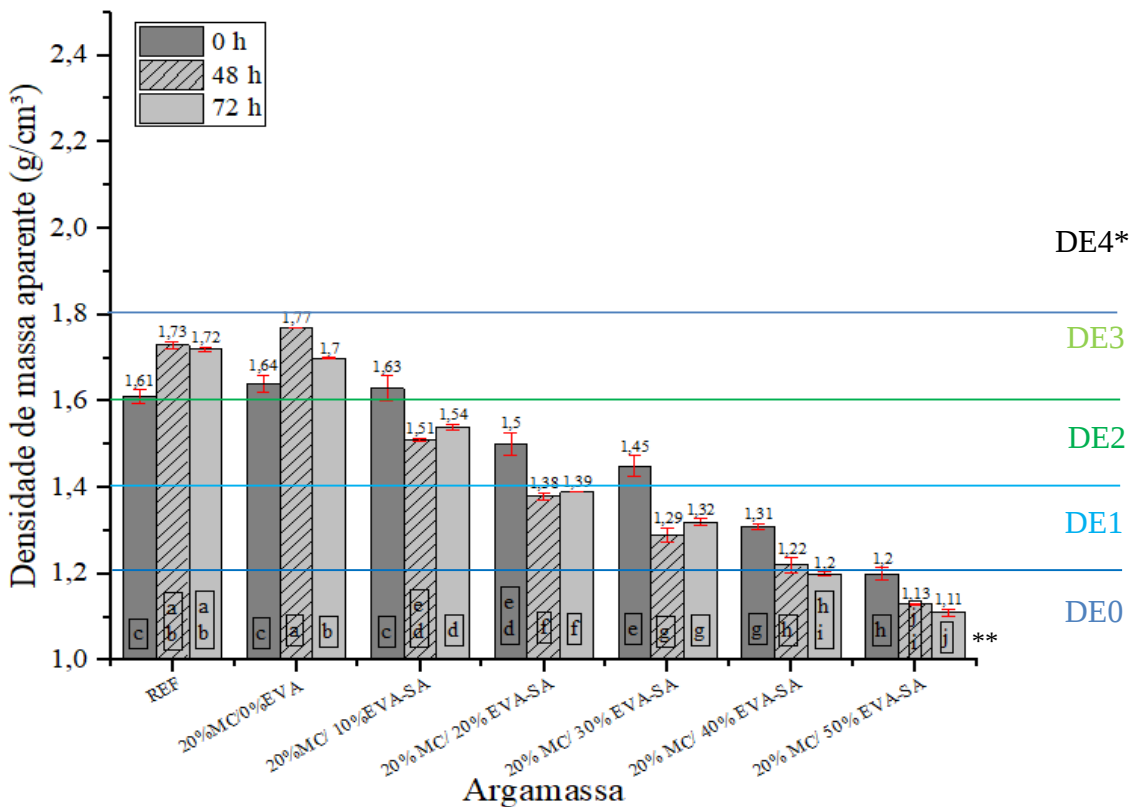
Figura 39: Densidade da massa aparente das argamassas com EVA incorporado seco.



* Siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

**As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 40: Densidade da massa aparente das argamassas com EVA incorporado saturado.



* Siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

**As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Como observado na Figura 39, ocorreram densidades de massa aparentes bem próximas para a argamassa REF e 20%MC/0%EVA em todos os tempos de estabilização, sendo um valor um pouco maior para as argamassas apenas com substituição do cimento Portland por MC. Este fato ocorreu porque o MC possui uma granulometria um pouco menor do que a do cimento Portland, como visto na Figura 4, e isso proporcionou um melhor arranjo entre as partículas de cimento Portland e MC, aumentando a sua densidade, conforme constatado também por Laurentino (2019).

A partir da Figura 39 é possível observar que a densidade de massa aparente no estado endurecido diminui com a incorporação de agregado leve. Esses resultados corroboram com aqueles encontrados nos trabalhos de Da Silva et al (2020) que incorporou o poliestireno expandido (EPS), para Silva (2023) e Da Costa et al. (2021) que trabalharam com a incorporação de EVA nas argamassas. De acordo com Andrade e Guimarães (2017) a redução da densidade de massa com o aumento do teor de EVA é benéfica para a argamassa pois para usos em que se necessitam de conforto térmico e acústico irá promover maiores vantagens.

Todas as argamassas com EVA seco incorporado (Figura 39) apresentam uma redução da densidade aparente após a estabilização de 48 e 72 h, comparado à 0h, conforme também foi observado por Silva (2023). Na Figura 26 é possível observar que o teor de ar incorporado reduz para as argamassas ao longo da estabilização e a densidade de massa fresca aumenta; no estado endurecido, a densidade de massa se comporta de forma oposta ao do estado fresco. A menor densidade pode ser explicada pelo menor arranjo dos grãos durante a estabilização, e consequentemente durante a cura, no ademas, houve a formação maior de poros durante a estabilização, isso refletiu também na absorção por capilaridade, que aumentou ao longo da estabilização, como será explicado adiante.

As argamassas com EVA saturado (Figura 40) apresentaram comportamento semelhante às argamassas com EVA incorporado seco, apresentando redução da densidade de massa com o aumento do teor de EVA em comparação com as argamassas REF e 20%MC/0%EVA. Além disso, tiveram uma redução da densidade ao longo do tempo de estabilização. Entretanto, é possível notar ao comparar os dois gráficos, que as argamassas com EVA saturado apresentaram um aumento de densidade se comparada às argamassas com o mesmo teor de EVA incorporado seco em 0h de estabilização, isso é devido ao maior teor de ar incorporado nas argamassas com EVA inserido seco.

A NBR 13281-1 (2023) classifica as argamassas de revestimento de acordo com a densidade de massa no estado endurecido, nos ensaios feitos de acordo com a NBR 13280

(ABNT, 2005e). De acordo com a norma 13281, as argamassas com EVA inserido seco (Figura 39) com teor de EVA de 20% (48 e 72 h de estabilização), 30%, 40% e 50% (0h de estabilização) classificam-se como DE1. Apenas as argamassas com 40% de EVA em 48 h e a argamassa com 50% de EVA em 48 e 72 h de estabilização se enquadram na classe mínima DE0. As argamassas com 10% e 20% (0h de estabilização) de EVA ficaram dentro da classe DE2, as argamassas sem incorporação de EVA, apresentaram-se na classe DE3.

De acordo com a norma 13281-1 (2023), a classificação das argamassas com EVA pré-saturado (Figura 40) fica a seguinte: argamassas com teor de EVA de 20% (48 e 72 h de estabilização), 30% (48 e 72 h de estabilização), 40% e 50% (0h de estabilização) classificam-se como DE1. Apenas as argamassas com 50% de EVA em 48 e 72 h de estabilização se enquadram na classe mínima DE0. As argamassas com 10% (48 e 72 h de estabilização), 20% (0h de estabilização) e 30% (0h de estabilização) de EVA ficaram dentro da classe DE2. As argamassas sem incorporação de EVA e a argamassa com 10% de EVA em 0 h de estabilização, apresentaram-se na classe DE3.

- Análise estatística

Através da análise estatística foi possível observar para as argamassas com EVA incorporado seco (Figura 39) que o tratamento pelo teste de Tukey da argamassa REF nos tempos de 0h apresentou resultado não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) da argamassa 20%MC/0%EVA em 0h (apresentaram letras iguais). Os resultados da análise estatística da argamassa REF no tempo de 72 h e 20%MC/0%EVA em 72 h de estabilização são semelhantes entre si. O resultado da argamassa REF (48 h de estabilização) é diferente ($p < 0,05$) de todas as amostras. Assim também como a argamassa 20%MC/0%EVA (48 h de estabilização).

O resultado da argamassa 20%MC/10%EVA (0 h de estabilização) é semelhante ($p > 0,05$) à amostra 20%MC/10%EVA em 72 h. As amostras com 20% de EVA em 48 e 72 h de estabilização são estatisticamente iguais entre si. Todas as demais amostras diferem entre si ($p < 0,05$). É possível notar pela análise estatística que até 20% de EVA as amostras apresentam maiores semelhanças nas médias. A partir disso, apresentam diferenças significativas.

Da Figura 40, analisando as argamassas com EVA pré-saturado, através da análise estatística foi possível observar para as argamassas que o tratamento pelo teste de Tukey da argamassa REF apresentou resultado não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) das amostras

20%MC/0%EVA e 20%MC/10%EVA em 0h de estabilização. No tempo de 48 e 72 h a argamassa REF apresentou resultado não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) entre si. A argamassa com 20% de EVA apresentou média nos tempos de 48 e 72 h de estabilização não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) entre si.

A argamassa com 30% de EVA (48 e 72 h de estabilização) e a argamassa com 40% EVA em 0 h apresentaram média não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) entre si. Ocorreu a semelhança estatística entre as argamassas com 40% EVA em 48 h e a argamassa com 50% de EVA em 0h. As demais argamassas diferiram estatisticamente a ($p < 0,05$) entre si.

Da análise estatística é possível concluir que as argamassas com EVA saturado apresentaram maiores semelhanças estatisticamente entre as médias, o que representa uma maior estabilidade das propriedades de densidade de massa endurecida ao longo da estabilização e até mesmo entre os diferentes teores.

5.2.2 *Absorção por capilaridade*

As Figuras 41 e 42 apresentam a absorção por capilaridade média das argamassas em 0h de estabilização aos 28 dias de idade da moldagem. Os resultados contendo o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) são apresentados no Apêndice C.

Figura 41: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA incorporado seco em 0h.

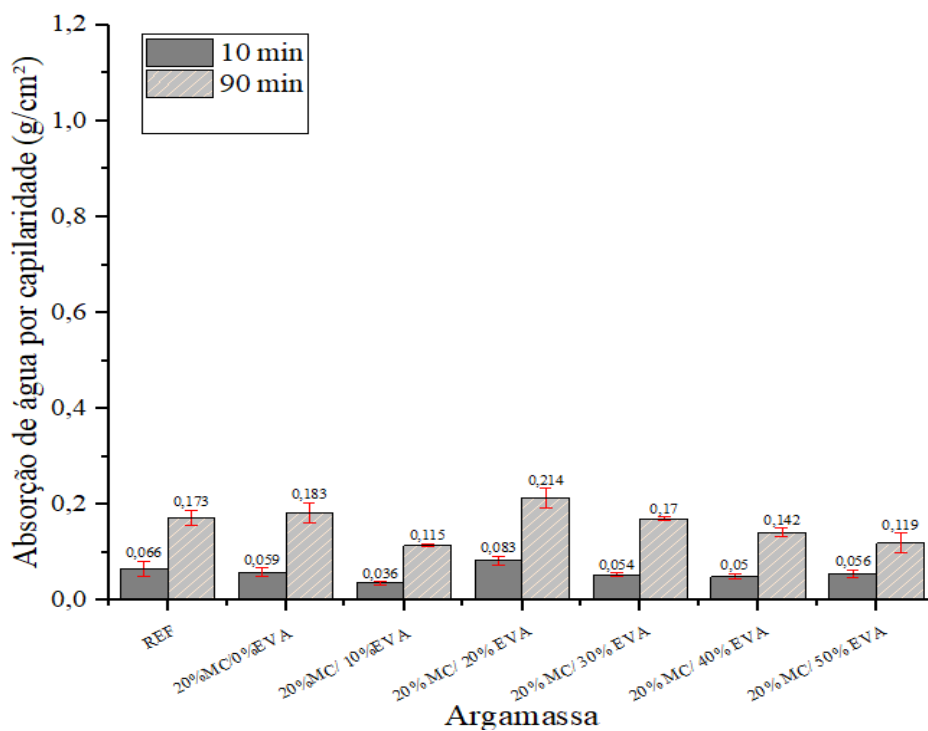
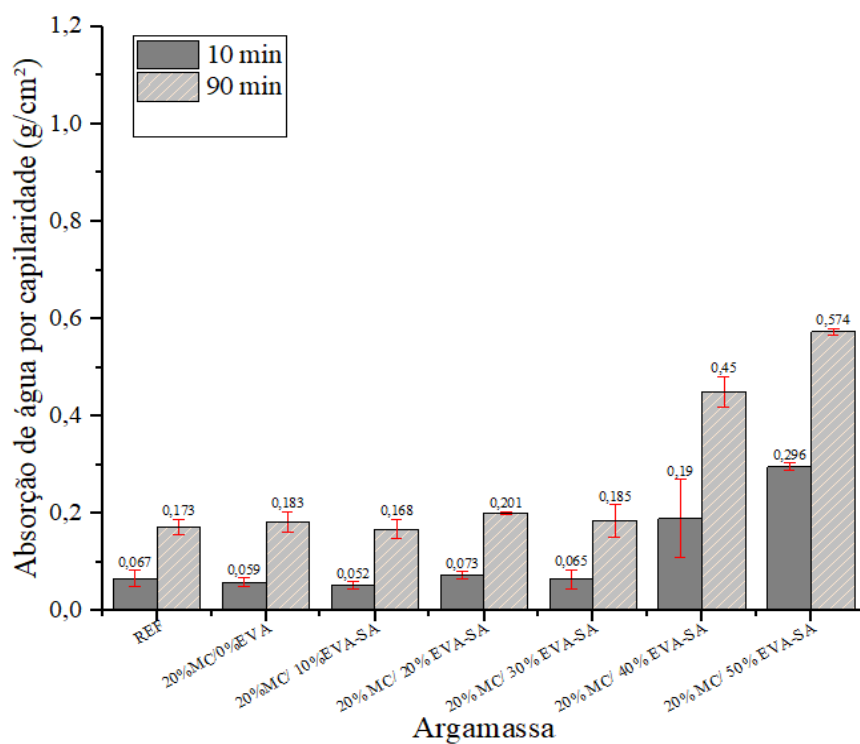


Figura 42: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA incorporado saturado em 0h.



De acordo com a Figura 41, as misturas com substituições de agregado por EVA incorporado seco, apresentaram valores próximos de absorção de água em relação a argamassas de referência e a mistura 20%MC/0%EVA, para o tempo de 10 e 90 min. A mistura com 20% de EVA apresentou os maiores teores de absorção de água dentre as argamassas com EVA com um aumento de 40,68 % em 10 min e cerca de 16,94% em 90 minutos, em relação à argamassa 20%MC/0%EVA.

Observa-se que a argamassa 20%MC/0%EVA também apresentou aumento da absorção de água, isso também foi observado no estudo de Paulino (2020). Destaca-se, na Figura 41, que não houve considerável aumento da absorção de água das misturas contendo EVA para o tempo de estabilização em 0h em relação à mistura de referência para o mesmo período, para os ensaios após 10 min e 90 min. O que ocorreu, provavelmente, é que o EVA resultou em uma pequena vedação parcial dos poros pela presença do filme polimérico. Isso vai de acordo ao observado por Bomediano, Gomes e Fontanini (2020) e por Silva, Roman e Gleize (2002).

Os polímeros como o EVA se relacionam física e quimicamente com as moléculas de cimento Portland, devido a essas interações ocorrem a formação do filme polimérico no processo de hidratação do cimento Portland, além de selar parcialmente as paredes dos poros. Essa formação do filme é muito importante pois influencia diretamente a zona de transição, entre a pasta de cimento e os agregados (Silva; Roman; Gleize, 2002)

A formação do filme ocorre após a hidratação do cimento Portland, preenchendo os poros existentes, no entanto para que isso ocorra é preciso que as partículas dos polímeros sejam menores do que as partículas de areia e cimento Portland (Bomediano, Gomes e Fontanini, 2020). No caso deste estudo, conforme Figura 5, para o EVA observa-se que cerca de 90% das partículas ficam retidas acumuladas na peneira 0,3 mm. No caso da areia, apenas 54,61 % das partículas ficam retidas acumuladas na peneira 0,3 mm. Isso mostra que uma parcela significativa da areia possui menores tamanhos de partículas, respaldado também pelo menor módulo de finura da areia, indicando uma possível dificuldade para formação do filme, que não proporcionou uma vedação mais eficaz do filme.

No caso do EVA incorporado saturado (Figura 42), as argamassas com EVA até 30% apresentaram valores de absorção de água próximos a REF, a argamassa 20%MC/0%EVA. Entretanto, as argamassas com 40 e 50% de EVA apresentaram maior absorção. Isso ocorreu devido à dificuldade de adensamento dessas argamassas em 0h de estabilização na forma de moldagem provocada pelo baixo índice de consistência apresentado.

As Figuras 43 e 44 apresentam a absorção por capilaridade média das argamassas em 48h de estabilização.

Figura 43: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA seco incorporado em 48h.

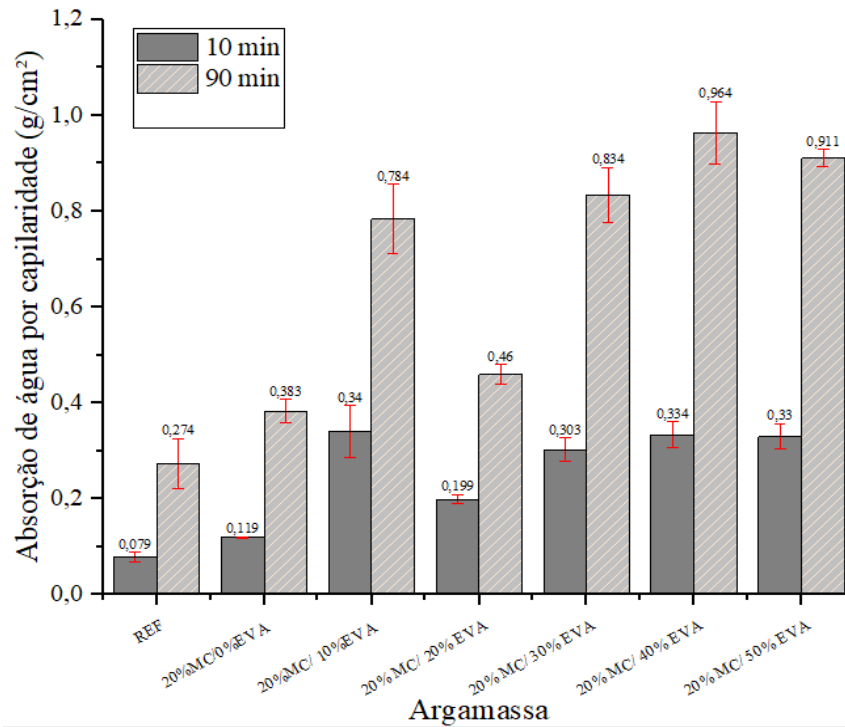
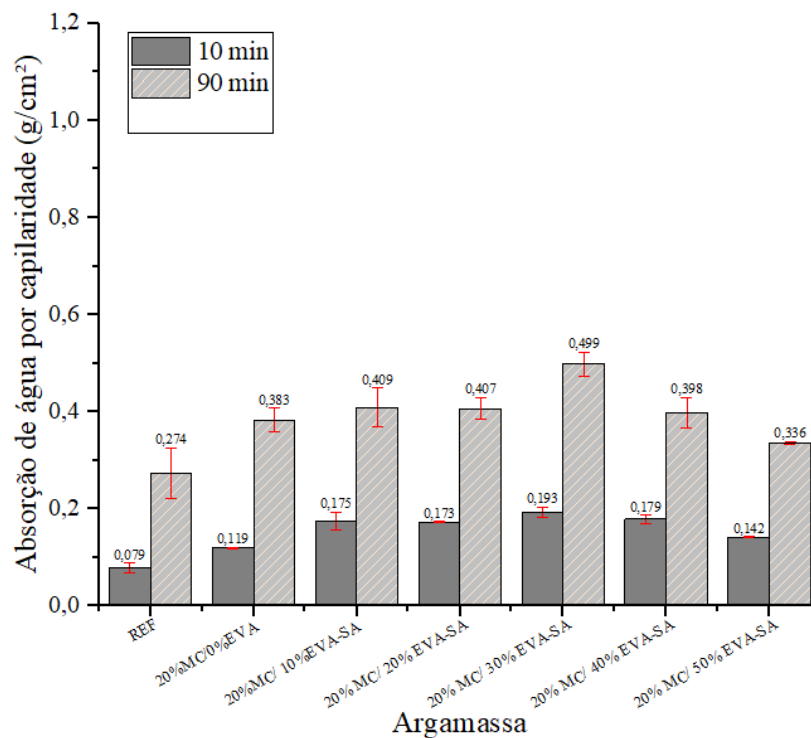


Figura 44: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA saturado incorporado em 48h.



De acordo com a Figura 43, as misturas contendo EVA incorporado seco apresentaram aumentos de 332,54%, 153,17%, 284,39%, 324,34% e 319,05% respectivamente, da absorção de água em relação à argamassa de referência para o tempo de 10min. Entre as argamassas com EVA incorporado Seco a argamassa com 20% de incorporação apresentou a menor absorção em 48h. Ou seja, essa porcentagem de EVA proporcionou uma estrutura com menos formação de poros intercomunicáveis.

Para o tempo de 90 min ocorreram aumentos mais significativos de absorção entre as argamassas REF e 20%MC/ 0%EVA e as demais argamassas. Nota-se que para argamassa de referência e a argamassa 20%MC/0%EVA, em 48h de estabilização, ocorreram aumentos de 246,84% e 221,85 %, respectivamente, da absorção de água em 10 min em relação a mesma mistura em 90 min de ensaio.

As misturas com teores de 30%, 40% e 50% de EVA incorporado seco (Figura 43), em 48h de estabilização, apresentaram os maiores valores, respectivamente, de absorção por capilaridade obtidos para os tempos ensaiados de 10min e 90min. Esse aumento da absorção após 48 h em relação à 0h de estabilização, pode estar relacionada com a formação de poros intercomunicáveis gerados pela evaporação da água livre na matriz devido a maior exsudação provocada durante as 48h de estabilização, ocasionando o acréscimo da porosidade, conseqüentemente, aumentando a absorção de água das argamassas, como constatado também por Garlet (1998) para o concreto.

Segundo Nakakura (2003), a capilaridade está relacionada com as características dos poros superficiais, e não apenas com a porosidade total da argamassa. Portanto, para que a capilaridade ocorra, não basta que a matriz seja porosa; é necessário que os poros possuam comunicação entre si e dimensões favoráveis para que a força capilar atue.

Na Figura 44 é possível ver os resultados das argamassas com incorporação de EVA saturado. As argamassas com EVA apresentaram valores de absorção de água por capilaridade mais próximos entre si e as referências. Isso mostra que o EVA introduzido pré-saturado melhora a estabilidade da propriedade de absorção de água por capilaridade da matriz cimentícia em 48 h de estabilização. Isso pode ocorrer devido a melhoria da qualidade da zona de transição pasta-agregado quando o agregado leve é colocado pré-saturado na matriz cimentícia, além de diminuição das fissuras internas das argamassas e concreto com agregado leve devido a redução da diferença entre os módulos de deformação do agregado e a pasta de cimento Portland (Rossignolo, 2009).

Normalmente a zona de transição pasta-agregado é a região de origem das primeiras microfissuras do composto cimentício, quando solicitado mecanicamente, e apresenta maior

permeabilidade do que a pasta bem como altos teores de hidróxido de sódio e de etringita (Rossignolo, 2009). Como citado anteriormente, Rossignolo (2019) defende que a pré-saturação do agregado leve melhora a zona de transição pasta-agregado reduzindo a formação de bolhas de ar na massa fresca neste local e consequentemente, fissuras e poros na massa endurecida.

Comparando as argamassas com EVA incorporado seco e saturado temos uma redução de 48,53%, 13%, 36%, 46,41% e 56,91%, respectivamente, em 10 min de ensaio. Para 90 min de ensaio, temos uma redução de 47,85%, 11,55%, 40,12%, 58,79% e 63,10%, respectivamente, comparando EVAS colocados secos e saturados, da menor para maior porcentagem de EVA.

As Figuras 45 e 46 apresentam a absorção por capilaridade média das argamassas em 72h de estabilização.

Figura 45: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA incorporado seco em 72 h.

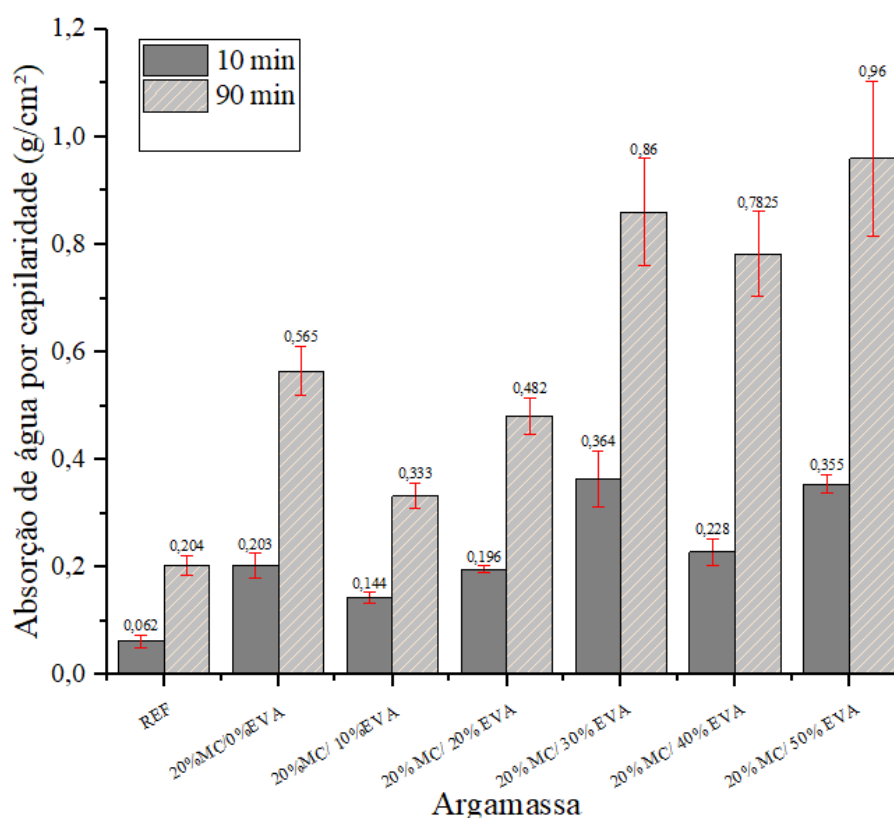
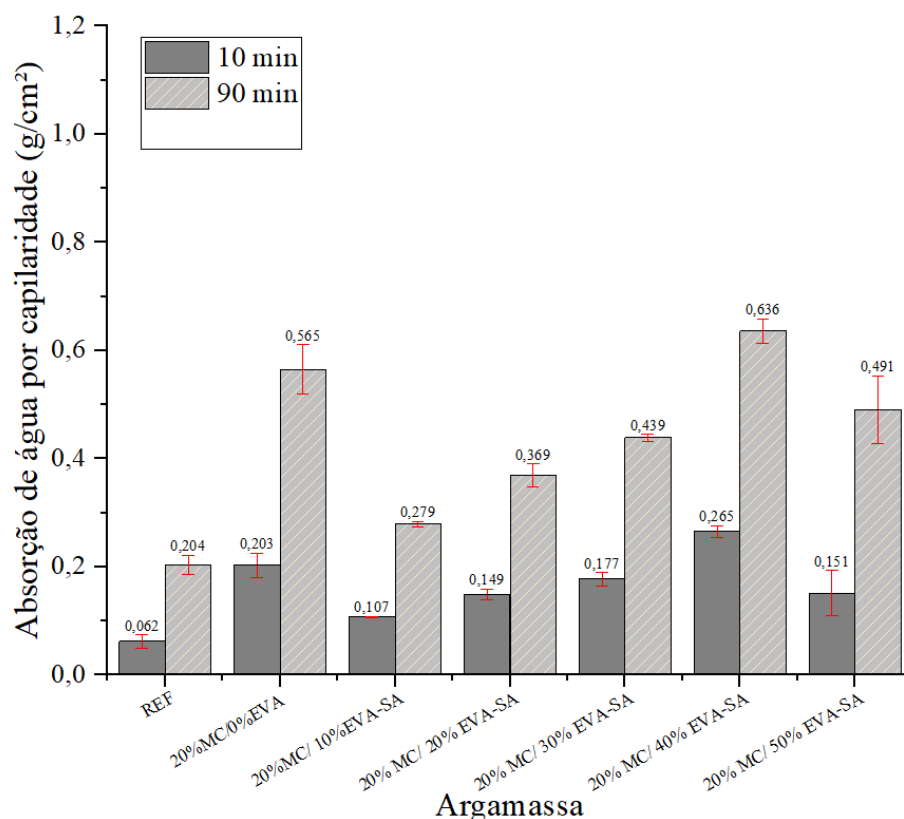


Figura 46: Absorção por capilaridade das argamassas com EVA incorporado saturado em 72h.



Analisando a Figura 45, para uma argamassa com 72h de estabilização, pode-se observar que a tendência segue a mesma para 48h de estabilização. Houve um aumento na absorção por capilaridade em 10 e 90 minutos para todas as argamassas quando comparadas à argamassa de referência. Esse aumento também foi constatado por Garlet (1998) que realizou um estudo sobre concreto com adição de EVA e constatou que a absorção de água, no seu caso por imersão, aumentou consideravelmente com o teor de EVA na mistura. O autor relata que a elevada absorção de água em concretos leves de EVA influencia negativamente no cobrimento necessário para prevenir a corrosão da armadura. Isso também traz influência para as argamassas, como a lixiviação, principalmente em caso de argamassa armada ou para recuperação estrutural.

Guimarães e Andrade (2017) também constataram que para argamassas no traço de 1:6 em massa, substituições até 10% de EVA apresentaram redução da absorção de água por imersão e por capilaridade em relação à argamassa de referência, mas com teores de substituição maiores que 15% do agregado este comportamento foi inverso. Os autores defendem que a introdução do EVA nas misturas até um certo percentual reduz os vazios

por causa do arranjo granulométrico, mas após esse limite ocorre uma redistribuição granulométrica e formam-se mais vazios. Aumentos na absorção por capilaridade correspondem com um aumento na formação de poros interconectados.

Da mesma forma, Da Silva et al. (2020) observaram que a incorporação do EPS reduz a absorção de água por capilaridade até certo ponto. No entanto, à medida que a quantidade de EPS aumenta, a absorção de água também pode aumentar. Isso foi particularmente evidente na argamassa com 30% de EPS, que exibiu um aumento na taxa de absorção em comparação com a mistura contendo 20% de EPS. Os autores atribuíram esse aumento na absorção à maior área superficial das partículas de EPS e, conseqüentemente, a uma maior zona de transição que pode funcionar como um caminho preferencial para a absorção capilar.

De acordo com Gallegos (1995) apud Sinharelli (2019, p. 68) “poros ativos possuem diâmetros entre 0,1 μm e 5 μm . Poros inferiores a 0,1 μm apesar de possuírem elevada força capilar, eles absorvem quantidades insignificantes de água, já os superiores a 5 μm não possuem força capilar suficiente para vencer os poros existentes na matriz cimentícia.”.

Um fator que pode ter contribuído para o aumento da propriedade de absorção de água é o aumento do teor de EVA. O fato de a matriz estar mais densamente preenchida pode ser devido à presença de uma quantidade superior de EVA, isso potencialmente incrementa a absorção de água que se soma à absorção por capilaridade.

É interessante notar que as argamassas contendo 30% e 50% de EVA exibiram as mais altas absorções de água por capilaridade. Isso sugere que, ao longo do período de 72 horas, essa composição de argamassa apresentou uma maior formação de poros interconectados. Para uma explicação mais precisa, são necessários estudos da microestrutura dos materiais, pois a absorção de água por capilaridade depende de muitos fatores ligados à sua matriz cimentícia.

Na Figura 46 é possível ver os resultados das argamassas com incorporação de EVA saturado. As argamassas com EVA apresentaram valores de absorção de água por capilaridade próximos entre si e as referências e também próximo aos resultados em 48 h de estabilização, se comparado com o EVA incorporado seco. Isso mostra que o EVA introduzido pré-saturado melhora a estabilidade da propriedade de absorção de água por capilaridade da matriz cimentícia em 48h e 72h de estabilização. Como já mencionado anteriormente, isso pode ocorrer devido a melhoria da qualidade da zona de transição pasta-

agregado quando o agregado leve é colocado pré-saturado na matriz cimentícia, proporcionando também poros menos suscetíveis a absorção de água (Rossignolo, 2009).

Comparando as argamassas com EVA incorporado seco e saturado tem-se uma redução de 25,75%, 23,92% e 57,51% respectivamente, das argamassas com 10%, 20% e 50% em 10 min de ensaio, enquanto houve um pequeno aumento de 2,85% e 16,41%, respectivamente, das argamassas com 30% e 40% em 10 min de ensaio. Para 90 min de ensaio, temos uma redução de 16,18%, 23,48%, 7,48%, 18,69% e 48,91%, respectivamente, comparando EVAS colocados secos e saturados, da menor para maior porcentagem de EVA.

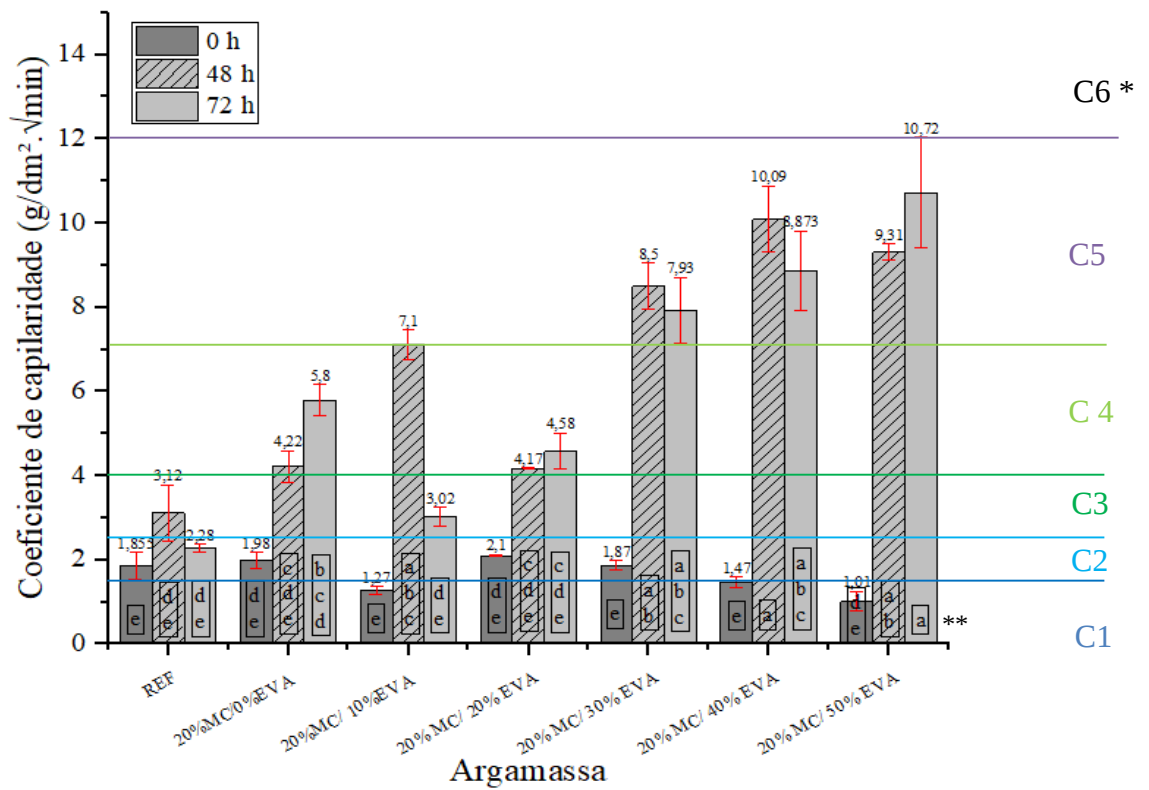
Das Figuras 45 a 46 pode-se observar que a argamassa apenas com o metacaulim em substituição ao cimento Portland apresentou aumento de absorção por capilaridade entre 48h e 72h. Enquanto a argamassa referência apresentou um aumento de absorção de 0 para 48h, no entanto, de 48h para 72h manteve valores próximos.

- Coeficiente de capilaridade

As Figuras 47 e 48 apresentam os coeficientes de capilaridade das misturas aos 28 dias de idade. Os resultados contendo o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) são apresentados no Apêndice C.

Além disso, estão representadas as siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2005) e do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB, 1993) para o coeficiente de capilaridade de argamassas de revestimento. As letras na parte inferior do gráfico são da classificação obtida na análise estatística pelo método de Tukey.

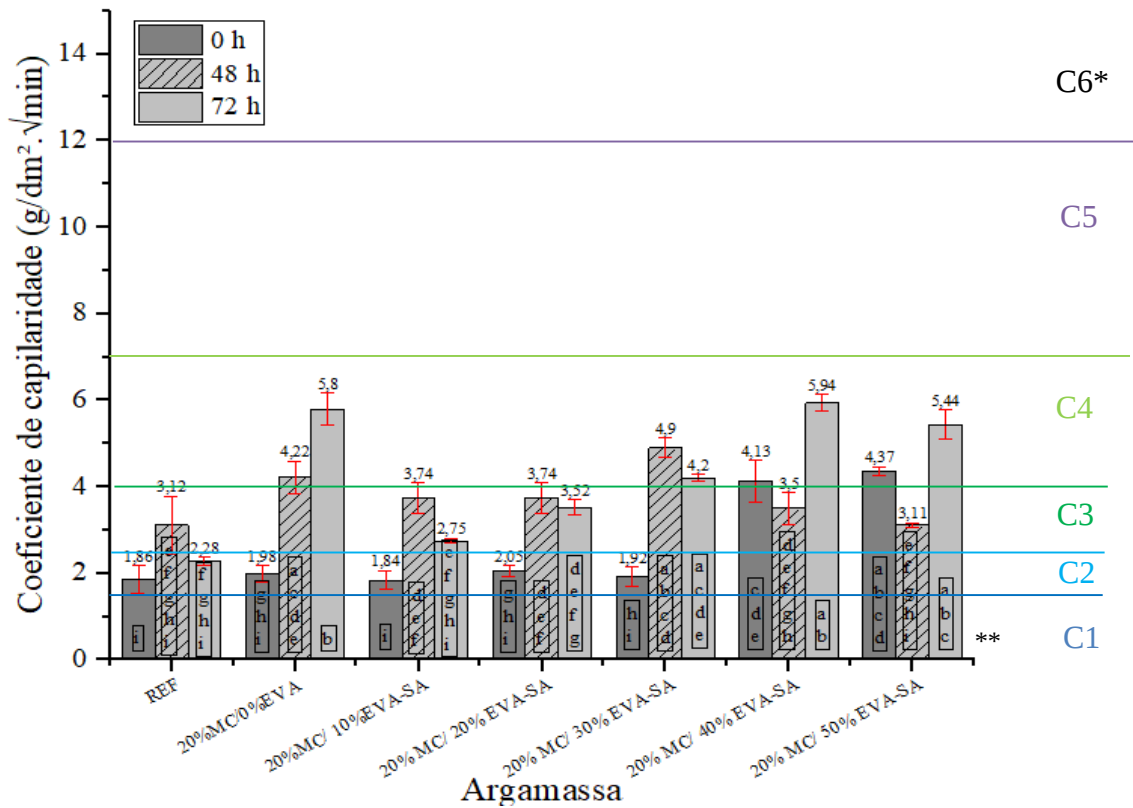
Figura 47: Coeficiente de capilaridade das argamassas com EVA incorporado seco.



* Siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2005) e CSTB (1993).

**As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 48: Coeficiente de capilaridade das argamassas com EVA incorporado saturado.



* Siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2005) e CSTB (1993).

**As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Como observado na Figura 47, todas as argamassas com EVA incorporado Seco apresentaram aumento do coeficiente de capilaridade ao longo do tempo de estabilização, com destaque para as argamassas com maiores teores de EVA. Esse fenômeno foi provocado devido à exsudação nessas argamassas em maiores tempos de estabilização. A argamassa com 10% de EVA em 48 h de estabilização apresentou um elevado coeficiente de capilaridade, ao mesmo tempo em que teve um decréscimo da densidade do estado endurecido, indicando a formação de poros intercomunicáveis. É possível observar que as argamassas com MC apresentaram maiores coeficientes de capilaridade ao longo da estabilização, quando comparado à referência.

A Figura 48 apresenta o resultado das argamassas com EVA incorporado pré-saturado, é possível observar um aumento do coeficiente de capilaridade ao longo da estabilização para a maioria das argamassas, exceto as argamassas com 40% e 50% de EVA que tiveram uma redução do coeficiente com 48 h, indicando uma menor taxa de absorção de umidade neste tempo.

Comparando os coeficientes de capilaridade das argamassas com EVA incorporado seco e saturado é possível perceber resultados mais próximos ao longo da estabilização para as argamassas com EVA pré-saturado. Isso evidencia que a pré-saturação é benéfica para manter as propriedades de absorção ao longo da estabilização.

De acordo com a norma 13281 (2005f) e a classificação do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB, 1993) para o coeficiente de capilaridade de argamassas de revestimento, a classificação das argamassas com EVA incorporado seco (Figura 47) fica a seguinte: Na classe 1 ficam as argamassas com 10%, 40%, 50% de EVA, todas em 0h de estabilização, na classe 2 ficam as argamassas REF (0 e 72 h de estabilização), 20%MC/0%EVA (0h de estabilização), as argamassas com 20% e 30% de EVA (0h de estabilização), na classe 3 ficam as argamassas REF (48 h), com 10% de EVA (72 h de estabilização), na classe 4 ficam as argamassas 20%MC/0%EVA (48h e 72 h de estabilização) e a argamassa com 20% de EVA (48h e 72h de estabilização), na classe 5 estão as argamassas com 10% EVA (48 h de estabilização), 30%, 40% e 50% (48h e 72h de estabilização).

Para as argamassas com EVA pré-saturado (Figura 48) a classificação fica a seguinte: Na classe 2 ficam as argamassas 10%, 20%, 30% de EVA (0h de estabilização), na classe 3 ficam as argamassas 10% de EVA (48 e 72 h de estabilização), 20% de EVA (48 e 72 h de estabilização), as argamassas com 40 e 50% (ambas em 48 h de estabilização), na classe 4

ficam as argamassas 30% de EVA (48 e 72 h de estabilização), 40% e 50% de EVA (ambas em 0 e 72 h de estabilização).

Nas duas formas de incorporação de EVA, as argamassas só podem ser utilizadas para revestimento externo em 0h de estabilização, pois segundo a (CSTB, 1993), as argamassas usadas para revestimentos externos devem estar dentro da classe C1 ou C2.

- Análise estatística

Através da análise estatística foi possível observar para as argamassas com EVA incorporado seco (Figura 47) que o tratamento pelo teste de Tukey da argamassa REF nos tempos de 0h apresentou resultado do coeficiente de capilaridade não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) das argamassas com 10%, 30% e 40% de EVA em 0h (apresentaram letras iguais).

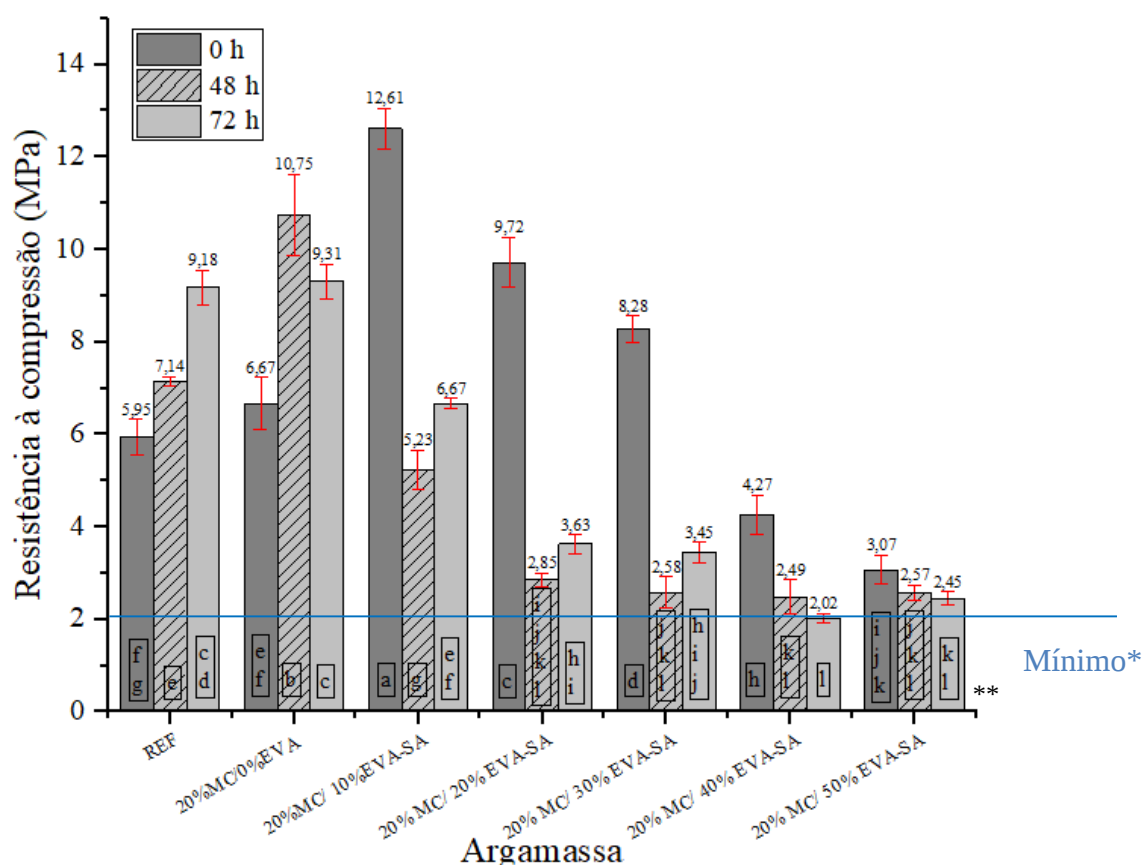
Os resultados da análise estatística da argamassa REF (48 e 72 h), 20%MC/0%EVA em 0h, a argamassa com 10% EVA em 72h e a argamassa com 20% e 50% de EVA em 0h são semelhantes entre si. O resultado da argamassa 20%MC/0%EVA (48 h de estabilização) é semelhante a ($p > 0,05$) das amostras com 20% EVA (48h e 72 h). Assim também como a argamassa 20%MC/10%EVA (48 h de estabilização) é semelhante às amostras com 30% (72 h) e 40% (72 h). As demais amostras diferem estatisticamente entre si e as outras.

Da Figura 48, analisando as argamassas com EVA pré-saturado, através da análise estatística foi possível observar para as argamassas que o tratamento pelo teste de Tukey da argamassa REF apresentou resultado não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) da amostra 20%MC/10%EVA-SA em 0h de estabilização.

A argamassa REF em 48 h de estabilização apresentou semelhança estatisticamente, na média do coeficiente de capilaridade, em relação às argamassas com 10% e 50% de EVA em 72 h e 48 h, respectivamente. No tempo de 48 a argamassa com 10% de EVA apresentou resultado não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) entre a argamassa com 20% de EVA em 48 h de estabilização. A argamassa com 20% de EVA apresentou média no tempo de 0h de estabilização não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) entre a argamassa 20%MC/0%EVA em 0h. As demais amostras diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) e as outras.

Da análise estatística é possível concluir que as argamassas com EVA incorporado seco e saturado apresentaram diferenças estatisticamente entre as médias, o que representa uma menor estabilidade das propriedades de capilaridade ao longo da estabilização e até

Figura 50: Resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado.



* Classificação da NBR 13281-2 (ABNT, 2023).

**As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Analisando a Figura 49, nota-se uma redução da resistência à compressão das misturas contendo EVA em relação à argamassa de referência, exceto para a argamassa 20%MC/10%EVA, que apresentou resistência superior em 0 h de estabilização. Comparando com a argamassa 20%MC/0%EVA, todas as argamassas com EVA incorporado seco apresentaram redução de resistência nos três tempos de estabilização, exceto a 20%MC/10%EVA, que apresentou resistência superior em 0 h de estabilização. Esse comportamento de redução foi de acordo com os resultados observados nos trabalhos com EVA (Santana et al., 2018; Guimarães e Andrade, 2017 e Da Costa et al., 2021).

A redução da resistência à compressão das argamassas com 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, em 0h de estabilização, foi de 11,89%, 60,07%, 61,95% e 63,74%, respectivamente, em relação a argamassa 20%MC/0%EVA, já o aumento da argamassa com 10% de EVA em relação a argamassa 20%MC/0%EVA em 0h foi de 11,59%. A redução da resistência à compressão das argamassas com 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, em 48h de estabilização, foi de 73,75%, 71,71%, 85,39%, 88,70% e 86,78%, respectivamente, em

relação a argamassa 20%MC/0%EVA, em 48 h. Essas reduções em 72h de estabilização foram 54,03%, 77,98%, 87,27%, 86,57%, 90,22%, respectivamente.

Como esperado, a argamassa contendo metacaulim e sem adição de EVA apresentou as maiores resistências à compressão nos três tempos de estabilização. As argamassas REF e 20%MC/0%EVA apresentaram aumento da resistência ao longo do tempo de estabilização. No entanto, as argamassas contendo EVA tiveram uma redução da resistência ao longo da estabilização.

Como esperado, as argamassas sem EVA apresentaram maiores resistências, enquanto as argamassas com EVA incorporado seco tiveram suas resistências à compressão reduzidas, seguindo os resultados de estudos já citados anteriormente como Silva (2023), Guimarães e Andrade (2017), Menezes et al. (2018). A baixa resistência das argamassas com EVA incorporado seco, principalmente ao longo da estabilização e em maiores porcentagens de EVA é proporcional a maior exsudação nessas argamassas. A maior quantidade de água livre na matriz provocou maior evaporação de água ao longo do endurecimento, que deveria ser usada para proporcionar melhores reações de hidratação do compósito.

A mistura com 10% de EVA apresentou maior resistência à compressão entre as misturas com EVA com 0h e 72h de estabilização e a mistura com 20% de EVA apresentou melhor resistência com 48h entre as misturas com EVA incorporado seco.

Analisando os resultados de resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado (Figura 50), nota-se um aumento das resistências em 0h para as argamassas 10%, 20% e 30% de EVA, esse aumento comparado a argamassa 20%MC/0%EVA foi de 89,10%, 45,73% e 24,11% em 0h, respectivamente. Para maiores teores de EVA ocorreram reduções na resistência em relação a argamassa 20%MC/0%EVA em 0h de estabilização, para as argamassas com 40% e 50% a redução foi de 36,05% e 53,95%, respectivamente.

Para os tempos de estabilização de 48h e 72h houveram diminuição da resistência à compressão para todas as argamassas com EVA em relação a REF e a argamassa 20%MC/0%EVA. Essa redução foi proporcional ao aumento do teor de EVA. Comparando as argamassas com EVA seco incorporado e as com EVA saturado (Figura 49 e 50) tem-se, em 0h de estabilização, para as argamassas com 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente, um acréscimo de resistência de 69,46%, 65,41%, 210,81%, 68,80% e 27,02%.

Para 48 h de estabilização, esse aumento, para as argamassas com 10%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente é de 85,24%, 64,55%, 104,67% e 81,15%. Em 48 h, a

argamassa com 20% de EVA incorporado saturado apresentou uma pequena redução de 15,13% em relação a argamassa com 20% de EVA incorporado seco, considerando o desvio padrão, valores muito próximos. Para 72h h de estabilização, esse aumento das resistências das argamassas com EVA incorporado saturado em comparação com argamassa com EVA incorporado seco, para os teores de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente, é de 55,80%, 77,30%, 191,21, 61,43% e 169,15%.

No geral, observa-se um aumento considerável da resistência à compressão nas argamassas com EVA saturado. Esse comportamento de aumento de resistência das argamassas com EVA pré-saturado era esperado, pois de acordo com Rossignolo (2009) o agregado leve beneficia o processo de hidratação do cimento pois, retém uma parcela de água, que será transferida para a pasta ao longo do período de hidratação, garantindo assim a presença de parte da água utilizada para as reações químicas desse processo, tendo pouca influência das condições ambientais externas, esse fenômeno é denominado “cura interna”. No caso do agregado leve pré-saturado, essa contribuição se intensifica.

Para o caso do concreto, a adição de agregado leve sem pré-molhagem também influencia na resistência. Por exemplo, se o cimento Portland é colocado junto com o agregado de EVA seco e depois se adicionou parte da água (como ocorreu neste estudo), este processo pode prejudicar a formação dos compostos resistentes, pois ao adicionar água ao EVA e cimento Portland, previamente misturados, poderá ocorrer uma maior absorção de grãos de cimento mais água, pelo agregado de EVA, reduzindo a quantidade de grãos de cimento disponível na mistura. Quando se usa o EVA pré-saturado, a possibilidade de absorção de maior parcela de cimento Portland é bem menor (Rossignolo, 2009).

Além disso, a alta quantidade de água absorvida pelo agregado leve (como o resíduo de EVA) pode ser desfavorável a algumas propriedades dos concretos e argamassas como por exemplo, aumento da retração por secagem, aumento da massa específica e a redução da resistência ao fogo. No entanto, se pré-saturado pode trazer benefícios como melhoria das propriedades da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento, além disso, a água absorvida pelo agregado leve beneficia a “cura interna” dos materiais cimentícios (Rossignolo, 2009, Garlet, 1998).

A NBR 13281-2 (ABNT, 2023b) fixa a faixa de 2,0 a 5 MPa adequada para argamassas inorgânicas para assentamento de alvenaria de vedação e a partir de 5 MPa já podem ser usadas em alvenaria estrutural. Assim, pode-se analisar para as argamassas com EVA incorporado seco (Figura 49) que as argamassas REF e 20%MC/ 0%EVA apresentam resistências superiores a 5 MPa nos três tempos de estabilização. As argamassas

estabilizadas com 10%, e 20% de EVA apresentaram resistências para utilização em assentamento de alvenarias de vedação em todos os tempos de utilização. A argamassa com o teor de 30%, 40% e 50% de EVA apresentaram resistências dentro da norma apenas para 0h de estabilização. Para as argamassas com EVA incorporado saturado (Figura 50), todas as argamassas com EVA apresentaram resistência dentro do adequado com valores acima de 2 MPa.

- Análise estatística

Através da análise estatística foi possível observar para as argamassas com EVA incorporado seco (Figura 49) que o tratamento pelo teste de Tukey que as argamassas apresentaram resultados de resistência à compressão diferindo estatisticamente a ($p < 0,05$) entre si e ao longo dos tempos de estabilização (apresentam letras diferentes). Algumas argamassas como a argamassa REF em 48h de estabilização e a argamassa com 10% de EVA em 0h apresentaram resultados semelhantes entre si.

O resultado da argamassa REF 72 h e a argamassa 20%MC/0%EVA (72 h de estabilização) são semelhantes a ($p > 0,05$) entre si. Assim também como a argamassa 20%MC/10%EVA (48 h de estabilização) é semelhante às amostras com 30% (0 h) e 50% (0 h). Tem-se semelhança também entre as amostras 30% EVA ao longo da estabilização. As amostras com 40% e 50% de EVA apresentaram semelhanças estatisticamente entre suas médias ao longo da estabilização. As demais amostras diferem estatisticamente entre si e as outras.

Da Figura 50, analisando as argamassas com EVA pré-saturado, através da análise estatística foi possível observar para as argamassas que o tratamento pelo teste de Tukey da argamassa REF apresentou resultado diferindo estatisticamente a ($p < 0,05$) de todas as amostras em todos os tempos de estabilização. A argamassa 20%MC/0%EVA -SA em 0h de estabilização apresentou semelhança estatisticamente, na média da resistência à compressão, em relação a argamassas com 10% de EVA em 72 h.

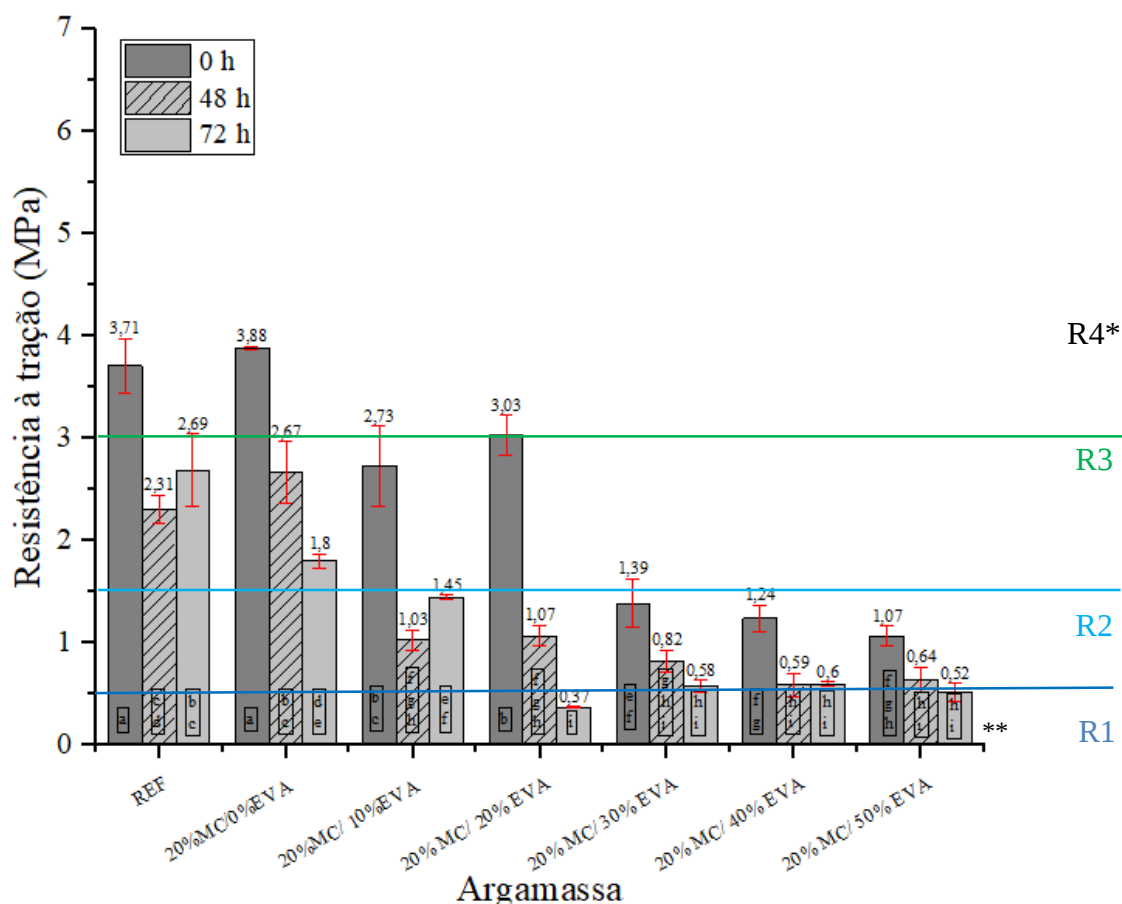
A argamassa 20%MC/0%EVA -SA em 72 h de estabilização apresentou semelhança estatisticamente, na média da resistência à compressão, em relação a argamassas com 20% de EVA em 0 h. No tempo de 48h a argamassa com 30% de EVA apresentou resultado não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) entre a argamassa com 50% de EVA em 48 h de estabilização. A argamassa com 40% de EVA apresentou média no tempo de 48 h de estabilização não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) entre a argamassa com 50% de EVA em 72 h. As demais amostras diferem estatisticamente entre si ($p < 0,05$) e as outras.

Da análise estatística é possível concluir que as argamassas com EVA saturado apresentaram maiores diferenças estatisticamente entre as médias, o que representa uma menor estabilidade das propriedades de resistência à compressão ao longo da estabilização e entre os diferentes teores. As argamassas com EVA incorporado seco apresentaram médias de resistência à compressão mais semelhantes em maiores tempos de estabilização e para maiores teores de EVA.

5.2.4 Resistência à tração

As Figuras 51 e 52 apresentam as resistências à tração na flexão das argamassas analisadas aos 28 dias de idade de moldadas. Os resultados contendo o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) são apresentados no Apêndice E. Além disso, estão representadas as siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023) para a resistência à tração na flexão de argamassas de revestimento. As letras na parte inferior do gráfico são da classificação obtida na análise estatística pelo método de Tukey.

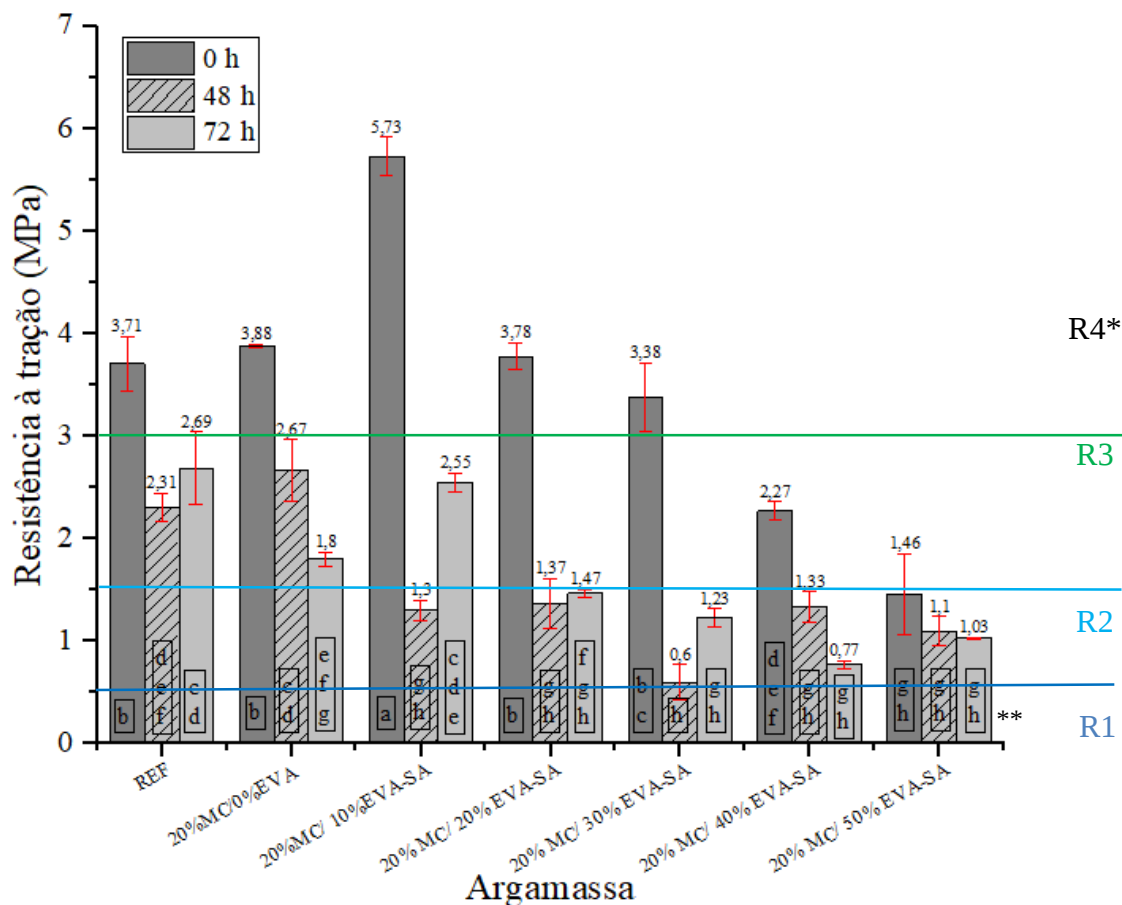
Figura 51: Resistência à tração na flexão das argamassas com EVA seco incorporado.



*Siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

**As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 52: Resistência à tração na flexão das argamassas com EVA incorporado saturado.



*Siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

**As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 51, constata-se que o metacaulim melhorou razoavelmente a resistência à tração comparada a REF para 0 h e 48 h de estabilização. Nota-se uma diminuição da resistência à tração das misturas contendo EVA incorporado seco em relação à argamassa de referência e a 20%MC/0%EVA. Houve um decréscimo de resistência à tração ao longo do tempo de estabilização. Essa redução pode ser justificada pelo aumento da água livre nas misturas durante a estabilização.

A mistura contendo 20% de EVA incorporado seco (Figura 51) apresentou maior resistência à tração em relação às misturas com EVA em 0h e 48 h de estabilização. Já a mistura com 10% de EVA apresentou maior resistência à tração na flexão entre as misturas com EVA com 72h de estabilização.

Analisando as argamassas com EVA incorporado saturado (Figura 52) observa-se uma alta resistência à tração das argamassas com 10% de EVA em 0h de estabilização, sendo maior inclusive que as resistências da argamassa REF e 20%MC/0%EVA, enquanto as

argamassas com 20% e 30% de EVA apresentaram resistências próximas entre si e as referências. Todas as argamassas apresentaram redução das resistências ao longo do tempo de estabilização. Entre as argamassas com EVA em 0h de estabilização, a argamassa com 10% apresentou maior resistência. Para as argamassas com EVA em 48h de estabilização, a argamassa com 20% apresentou maior resistência. Por fim, para as argamassas com EVA em 72h de estabilização, a argamassa com 10% apresentou maior resistência.

Comparando as argamassas com EVA seco incorporado e as com EVA saturado (Figura 51 e 52) temos, em 0h de estabilização, para as argamassas com 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente, um acréscimo de resistência de 109,40%, 24,76%, 143,02%, 82,75% e 35,77%. Para 48 h de estabilização, esse aumento, para as argamassas com 10%, 20%, 40% e 50% de EVA, respectivamente é de 26,81%, 28,70%, 125,03 e 71,41%. Em 48 h a argamassa com 30% de EVA incorporado saturado apresentou uma redução de 26,35% em relação a argamassa com 30% de EVA incorporado seco, considerando o desvio padrão, valores muito próximos. Para 72h h de estabilização, esse aumento das resistências das argamassas com EVA incorporado saturado em comparação com argamassa com EVA incorporado seco, para os teores de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de EVA, respectivamente, é de 75,52%, 293,00%, 111,01, 28,00% e 95,40%.

No geral, observa-se um aumento considerável da resistência à tração nas argamassas com EVA saturado, provocado também pela melhor “cura interna” proporcionada pelo EVA adicionado à mistura já saturado, como ressaltado por Rossignolo (2009) e explicado anteriormente.

Adotando a classificação da NBR 13281-1 (ABNT, 2023) e observando as argamassas apresentadas na Figura 51, nota-se que as amostras com EVA incorporado seco nos 3 tempos de estabilização apresentaram resistência à tração dentro da classificação R2, exceto a argamassa com 10% e 20% de EVA que em 0 h apresentaram classificação R3 e também a argamassa com 20% em 72 h que apresentou classificação R1. Já as misturas REF e 20%MC/0%EVA apresentaram classificação R3 (48 h e 72 h de estabilização) e R4 (0 h de estabilização). Os resultados corroboraram com os estudos de outros autores como Silva (2023), Guimarães e Andrade (2017), Menezes et al (2018), mostrando que a incorporação de EVA reduz a resistência à tração nas argamassas.

Classificando as argamassas com EVA incorporado saturado (Figura 52), de acordo com a NBR 13281-1 (ABNT, 2023), temos para a classificação R2 as argamassas de 10% de EVA em 48 h de estabilização e as argamassas com 20%, 30%, 40% de EVA em 48 e 72 h de estabilização, além da argamassa de 50% de EVA em todos os tempos de estabilização.

Na classificação R3 temos a argamassa de 10% de EVA em 72h de estabilização e a argamassa com 40% de EVA em 0h de estabilização. Na classificação R4 temos as argamassas 10% e 20% de EVA em 0 h de estabilização.

- Análise estatística

Através da análise estatística foi possível observar na (Figura 51) que o tratamento pelo teste de Tukey que a argamassa REF (0h) apresentou resultado de resistência à tração não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) da argamassa 20%MC/0%EVA (0h) (apresentaram letras iguais). Algumas argamassas como a argamassa REF em 72 h de estabilização, a 20%MC/0%EVA (48 h) e a argamassa com 10% de EVA em 0h apresentaram resultados semelhantes entre si.

O resultado das argamassas com maiores teores de EVA (40% e 50%) são estatisticamente semelhantes entre si com o aumento do tempo de estabilização. As demais argamassas diferem estatisticamente entre si e as outras. Podemos perceber uma variabilidade nas médias das resistências à tração, principalmente para menores teores de EVA em todos os tempos de estabilização.

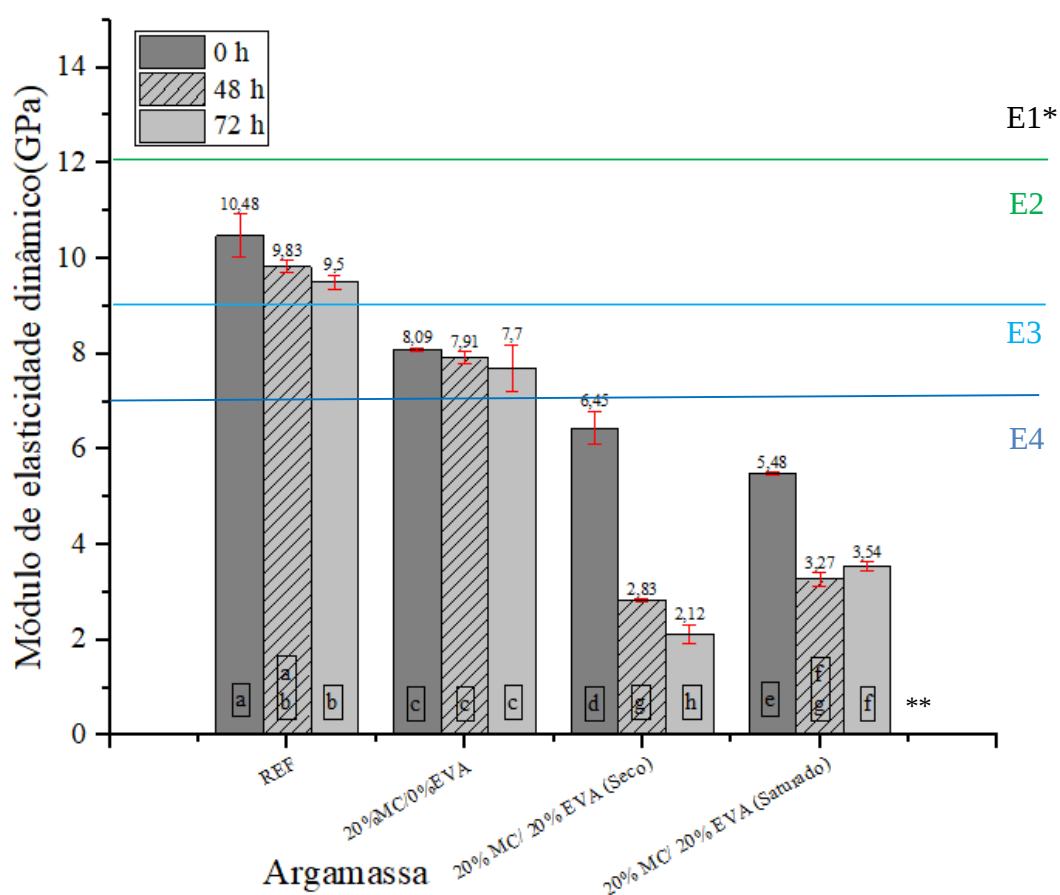
Da Figura 52, analisando as argamassas com EVA pré-saturado, através da análise estatística foi possível observar para as argamassas que o tratamento pelo teste de Tukey da argamassa REF (0h de estabilização) apresentou resultado não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) das amostras 20%MC/0%EVA (0h) e 20%MC/20%EVA (0h). A argamassa REF em 72 h de estabilização apresentou semelhança estatisticamente, na média da resistência à tração em relação a argamassa 20%MC/0%EVA em 48 h de estabilização. Com o aumento do teor de EVA, é possível observar uma semelhança estatística nas médias ao longo da estabilização.

Da análise estatística é possível concluir que as argamassas com EVA incorporado seco e saturado apresentaram diferenças estatisticamente entre as médias de resistência à tração, o que representa uma menor estabilidade dessa propriedade ao longo da estabilização e entre os diferentes teores. Ambas as argamassas (com Eva incorporado seco e saturado) apresentaram médias de resistência à tração mais semelhantes em maiores tempos de estabilização e para maiores teores de EVA. Isso indica que o aumento do teor de EVA proporciona uma estabilização com menor mudanças de propriedades.

5.2.5 Módulo de elasticidade dinâmico

A Figura 53 apresenta os módulos de elasticidade dinâmico das misturas aos 28 dias de idade de moldadas. Os resultados contendo o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) são apresentados no Apêndice F. Além disso, estão representadas as siglas das classificações da NBR 13281-1 (ABNT, 2023) para o módulo de elasticidade de argamassas de revestimento. As letras na parte inferior do gráfico são da classificação obtida na análise estatística pelo método de Tukey.

Figura 53: Módulos de elasticidade dinâmico para as argamassas aos 28 dias de idade.



*Siglas da classificação da NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

**As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Da Figura 53 é possível observar que o maior valor do módulo de elasticidade dinâmico ocorre para a argamassa referência nos três tempos de estabilização, isso condiz com a menor absorção de água por capilaridade que ocorre nessas argamassas nos três tempos de estabilização. Isso vai de acordo com os autores Mehta e Monteiro (2008) e Fabro (2022) que afirmam que o módulo de elasticidade dinâmico está relacionado com a absorção

de água por capilaridade, pois uma quantidade maior de vazios no interior da argamassa dificulta a passagem da onda ultrassônica que se propaga melhor em matéria sólida, retornando em uma velocidade de pulso ultrassônico e um módulo de elasticidade dinâmico inferiores.

As argamassas apenas com substituição parcial de 20% do cimento Portland por metacaulim (20%MC/0%EVA) apresentaram menor módulo de elasticidade dinâmico se comparado a referência. Também é possível ver nessas argamassas que os valores de absorção de água por capilaridade aumentaram em relação à REF. O decréscimo da velocidade da onda ultrassônica nas argamassas é um indicativo de que há um aumento na porosidade com o passar do tempo. Esse aumento é evidenciado pelo crescimento da absorção de água com o tempo, comportamento este que é visto na argamassa 20%MC/0%EVA. Isso mostra que a absorção de água está diretamente relacionada à quantidade de vazios da argamassa, pois a onda ultrassônica tem uma velocidade menor em corpos de porosidade maior, o que pode ser afirmado a partir das análises feitas também por Mehta e Monteiro (2008).

Os autores Mota, Oliveira e Carneiro (2016) realizaram ensaios de módulo de elasticidade dinâmico utilizando a velocidade de propagação da onda ultrassônica para argamassas com dois teores de adição (8% e 15%) de MC, sendo duas formas de adição (por substituição de parte de cimento e por adição pura) e constataram que as argamassas com adição pura apresentaram maiores valores de módulo e menor absorção por capilaridade, se comparada a argamassa com substituição parcial. Os autores justificam esse fato denotando, possivelmente, uma melhor tendência devido à relevância do cimento e o refinamento dos poros pelas reações pozolânicas.

No entanto, o artigo de Mota, Oliveira e Carneiro (2016) traz um resultado interessante que vai ao encontro do apresentado neste trabalho. A argamassa com substituição parcial de cimento por metacaulim apresentou menores valores do módulo de elasticidade dinâmico em comparação à referência, apesar de terem maiores resistências à compressão que elas. Porém a absorção de água por capilaridade é maior em argamassas com substituição parcial do que na referência.

Isso leva a conclusão que, no caso das argamassas em que temos a substituição parcial do cimento por MC, o módulo de elasticidade dinâmico se relaciona melhor com a absorção de água por capilaridade do que com a resistência à compressão. No caso da adição pura de MC, segue a tendência de proporcionalidade entre módulo e resistência. No entanto, quando se substitui, como acontece nesse trabalho, principalmente em maiores porcentagens,

pode ocorrer maior formação de poros devido o MC requerer maior quantidade de água na mistura devido as suas partículas absorverem mais por causa das origens mineralógicas (Vieira, 2005).

A imagens do microscópio eletrônico de varredura das seções transversais das amostras (Figura 61 a, b, c e d), mostram que as argamassas REF e 20%MC/0%EVA apresentam uma estrutura mais densa em 48 h de estabilização, com menores tamanhos de poros, porém mais próximos entre si. Isso ajuda a explicar o fato dessas argamassas diminuírem seu módulo de elasticidade dinâmico e aumentarem a absorção capilar.

As argamassas com EVA (Figura 53) apresentaram menores módulos de elasticidade dinâmico comparado a argamassas REF e 20%MC/0%EVA. Ocorre a diminuição dos módulos ao longo do tempo de estabilização. Com a adição de 20% de EVA nas argamassas, estamos incrementando agregado leve com uma estrutura porosa, esses agregados são menos resistentes, consequentemente com menor módulo de deformação. Os agregados leves com baixa resistência mecânica tem pouca participação na transmissão das tensões internas de concretos e argamassas. A diminuição do módulo de deformação do agregado leve, diminui também os valores de resistência à compressão e o módulo de elasticidade de concreto e argamassa (Rossignolo, 2009). Segundo Garlet (1998), isso indica a ductilidade do material, provocada pelas propriedades elásticas dos polímeros.

Em 0h de estabilização a argamassa com EVA incorporado seco apresenta maior módulo de deformação do que a argamassa com EVA incorporado saturado, no entanto, nos demais tempos de estabilização ocorre o inverso. Isso mostra que as misturas com EVA incorporado saturado apresentam melhor desempenho às fissuras, a impactos e movimentações acidentais da estrutura em 0h e consegue uma manutenção melhor de suas propriedades ao longo da estabilização.

Bezerra (2014) também encontrou menores valores do módulo de elasticidade para concretos com EVA pré-saturado em comparação ao EVA sem saturação. O autor defende que isso demonstra que, quando se faz a imersão prévia do EVA em água, o concreto fica mais suscetível aos efeitos da presença do EVA, provavelmente devido ao agregado de EVA previamente saturado provocar uma maior relação a/c na região da interface pasta-EVA do que o agregado sem imersão prévia em água. Esse acúmulo de água na interface irá sair com o tempo, gerando assim uma região mais porosa. Entretanto, Garlet (1998) defende uma melhoria na zona de transição pasta-agregado com o uso de agregados leves pré-molhados.

Amaral (2019) em seu estudo sobre a introdução de agregados leves de argila expandida secos e pré-molhados encontraram através do ensaio de porosidade aberta que as

argamassas com agregados pré-molhados apresentaram uma estrutura com menor ligação entre os poros, podendo indicar, uma melhor hidratação das partículas das argamassas. Além disso, pode-se ressaltar os resultados encontrados na área superficial, através do ensaio de adsorção, onde, argamassas com a pré-molhagem dos agregados resultaram em valores menores de área superficial em relação às argamassas com agregados secos, indicando que seus poros permeáveis são maiores. Sugerindo também que, esta condição de pré-molhagem das partículas destes agregados porosos, resultou em maior movimentação de água, pelo fato de o agregado liberar a água presente em seus poros para a mistura, ao longo da hidratação da pasta, como visto em estudos anteriores.

Fazendo essa análise para o presente estudo, isso pode explicar o fato de em 0h a argamassa com 20% de EVA pré-saturado apresentar menor módulo de elasticidade, devido a porosidade, mas ao mesmo tempo com menos ligações capilares. No caso da argamassa apresentada neste estudo, podemos observar que em 0h de estabilização a argamassa com 20% de EVA saturado apresenta uma maior densidade de massa aparente, se comparada ao EVA incorporado seco, indicando menor formação total de vazios. Amaral (2019) constatou também em seu estudo que com relação a absorção por capilaridade não houve diferenças significativas para as duas formas de incorporação e o teor de agregado leve também foi de 20% em substituição a areia. Isso corrobora com o que foi visto nesse estudo, as argamassas apresentaram valores de absorção por capilaridade próximos para esse teor.

As argamassas com 20% de EVA seco e saturado, conforme pode ser visto no MEV apresentado na Figura 61 (e, f, g, h) têm uma estrutura mais densa em 0h de estabilização, com menor quantidade de poros, explicando o maior módulo de elasticidade dinâmico em comparação à 48 h. Percebe-se que a estabilização das argamassas com EVA proporciona uma estrutura mais porosa.

O pré-tratamento do EVA através da saturação proporcionou em 0h de estabilização uma diminuição no módulo de elasticidade dinâmico em comparação a argamassa com EVA não saturado, apesar do aumento da resistência. Nas imagens do MEV (Figura 61 g) é possível visualizar que essa argamassa possui uma porosidade acentuada, mas com poros menores e menos interligados, comparada à argamassa com EVA seco no mesmo tempo de estabilização (Figura 61 e). O aumento da resistência é devido à melhor “cura interna” pela presença de água no interior do EVA, conforme defendido por Rossignolo (2009) e Garlet (1998).

Classificando as argamassas de acordo com a NBR 13281-2 (ABNT, 2023), temos para a classificação E2 as argamassas REF em todos os tempos de estabilização. Para a

classificação E3 temos a argamassa 20%MC/0%EVA em todos os tempos de estabilização. Além disso, as argamassas com 20% de EVA incorporado seco ou saturado se enquadram dentro da classe E4 em todos os tempos de estabilização, apresentando os menores módulos de elasticidade dinâmico.

De acordo com a norma, apenas as argamassas com EVA com módulo de elasticidade classe E4 podem ser utilizadas para emboço técnico. Pelo o módulo de elasticidade dinâmico, as argamassas com EVA e MC podem ser usadas revestimento interno de qualquer edificação e externo de edificações com altura superior a 60 m do nível médio da rua da fachada principal. Já a argamassa REF pode ser usada em revestimentos internos de qualquer edificação e externos com altura total de até 60 m do nível médio da rua da fachada principal.

- Análise estatística

Da Figura 53, analisando as argamassas através da análise estatística pelo teste de Tukey, observa-se que a argamassa REF apresentou resultados do módulo de elasticidade dinâmico diferindo estatisticamente a ($p < 0,05$) entre seus tempos de estabilização (letras diferentes). No entanto, a argamassa 20%MC/ 0%EVA apresentou resultados não diferindo estatisticamente a ($p > 0,05$) entre os seus próprios tempos de estabilização. Isso indica que a argamassa com a incorporação de MC, consegue manter sua média do módulo de elasticidade ao longo do tempo de estabilização. As argamassas com EVA incorporado seco e saturado com 20% de EVA apresentaram médias do módulo de elasticidade diferentes entre si e ao longo dos tempos de estabilização.

Da análise estatística é possível concluir que as argamassas com incorporação apenas do MC conseguem manter melhor o seu módulo de deformação ao longo da estabilização. Ambas as argamassas (com Eva incorporado seco e saturado) apresentaram médias de módulo de elasticidade mais semelhantes em maiores tempos de estabilização.

5.2.6 Análise conjunta dos dados das argamassas no estado endurecido

Neste item são mostrados e discutidos os resultados de resistência à compressão de todas as argamassas em função das propriedades de capilaridade, densidade e resistência à tração na flexão. Nas Figuras 54 e 55 são apresentados os resultados das argamassas com EVA incorporado seco e saturado, respectivamente, com relação à capilaridade. Nas Figuras

56 e 57 os resultados em função da densidade de massa e por fim em função resistência à tração na flexão podem ser vistos nas Figuras 58 e 59.

Figura 54: Correlação entre coeficiente de absorção e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado seco.

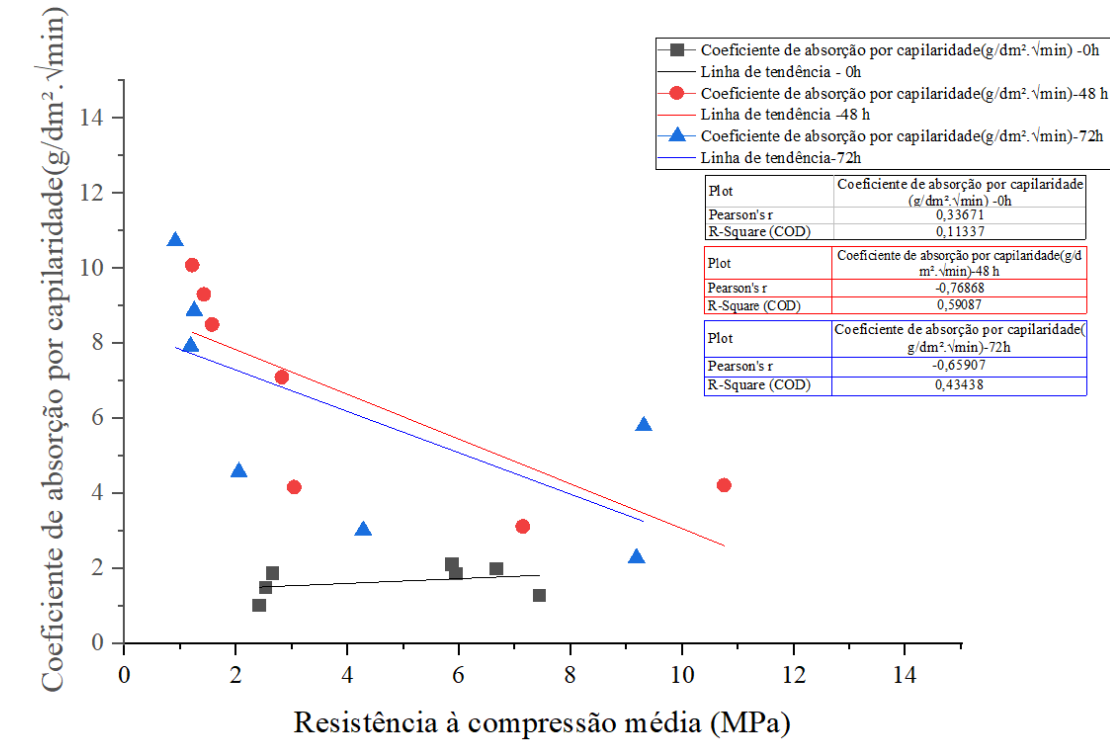
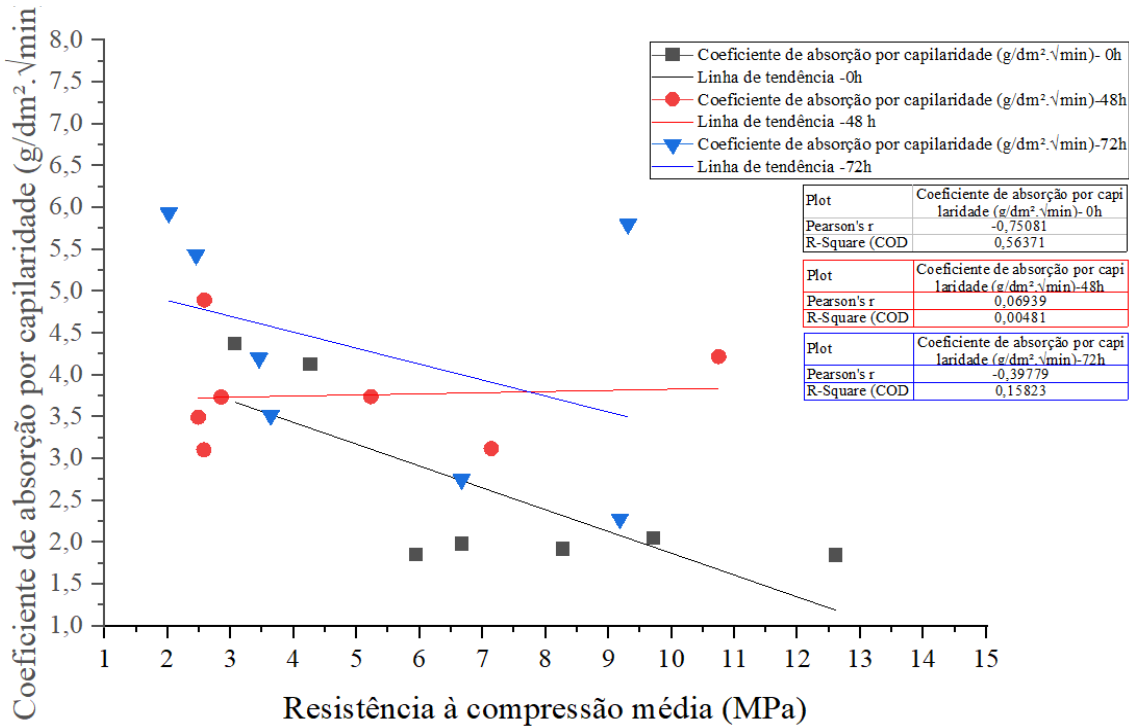


Figura 55: Correlação entre coeficiente de absorção e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado.



Pela Figura 54 é possível observar a correlação entre os resultados dos ensaios do coeficiente de absorção e a resistência à compressão para cada tempo de estabilização. Portanto, é possível ver que as argamassas em 0h de estabilização apresentam uma correlação fraca ($r=0,33671$) entre o coeficiente de absorção e a resistência. A correlação nos mostra de forma estatística o que já tínhamos avaliado anteriormente. De que as argamassas em 0h mesmo apresentando valores de coeficientes de absorção próximos, apresentaram valores de resistência bem variados, indicando a fraca correlação. A resistência à compressão diminui para menores valores de absorção por capilaridade, isso se deve ao uso do agregado leve de EVA, que em maiores quantidades nas argamassas não impactavam o coeficiente de capilaridade para 0h de estabilização, mas afetavam a resistência por ser um material menos resistente incorporado na argamassa em maiores quantidades.

Para 48h a correlação é inversamente proporcional e é considerada forte ($r=-0,76868$), ou seja, com a alta absorção por capilaridade as argamassas tendem a ter menores valores de resistência. Para 72 h de estabilização há uma correlação inversamente proporcional e é considerada moderada ($r=-0,65607$), seguindo uma tendência inversamente proporcional, em que alguns resultados de aumento de absorção não seguiam a tendência de redução da resistência.

Pela Figura 55 é possível observar a correlação entre os resultados dos ensaios do coeficiente de absorção e a resistência à compressão para cada tempo de estabilização das argamassas com EVA incorporado saturado. Portanto, é possível ver que as argamassas em 0h de estabilização apresentam uma correlação forte e inversamente proporcional ($r=-0,75081$) entre o coeficiente de absorção e a resistência. Para 48h não existe uma correlação ($r=0,06939$), ou seja, não existe correlação entre a absorção por capilaridade e os valores de resistência. Para 72 h de estabilização há uma correlação inversamente proporcional e considerada moderada ($r=-0,39779$), seguindo uma tendência inversamente proporcional, em que alguns resultados de aumento de absorção não seguiam a tendência de redução da resistência.

Figura 56: Correlação entre densidade de massa endurecida e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado seco.

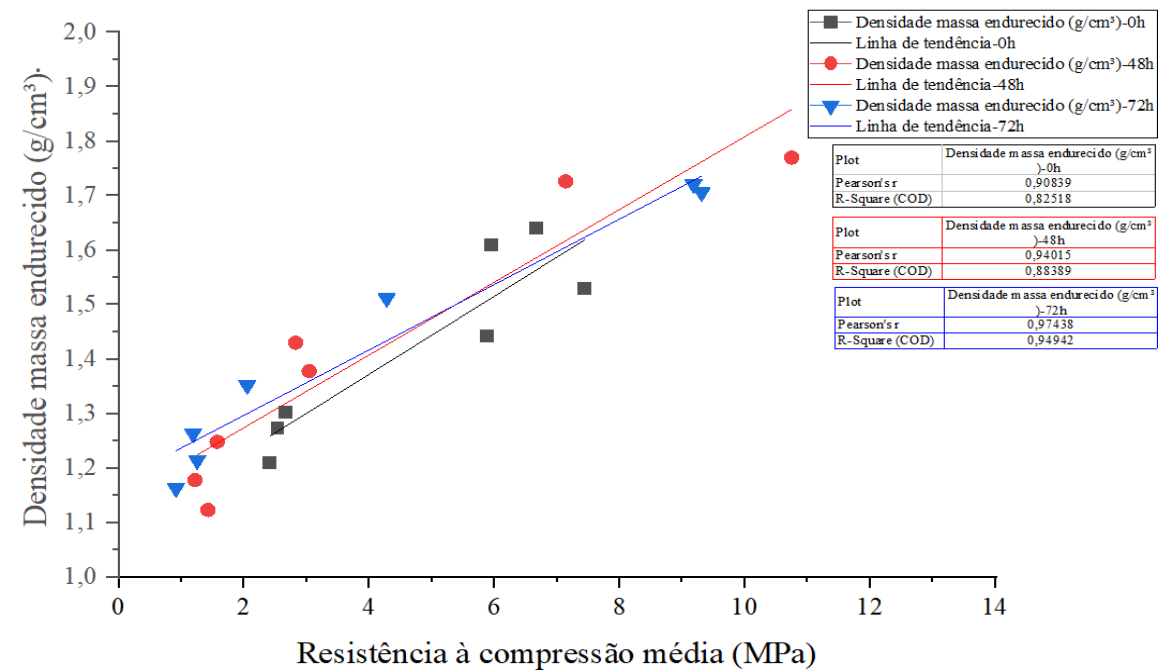
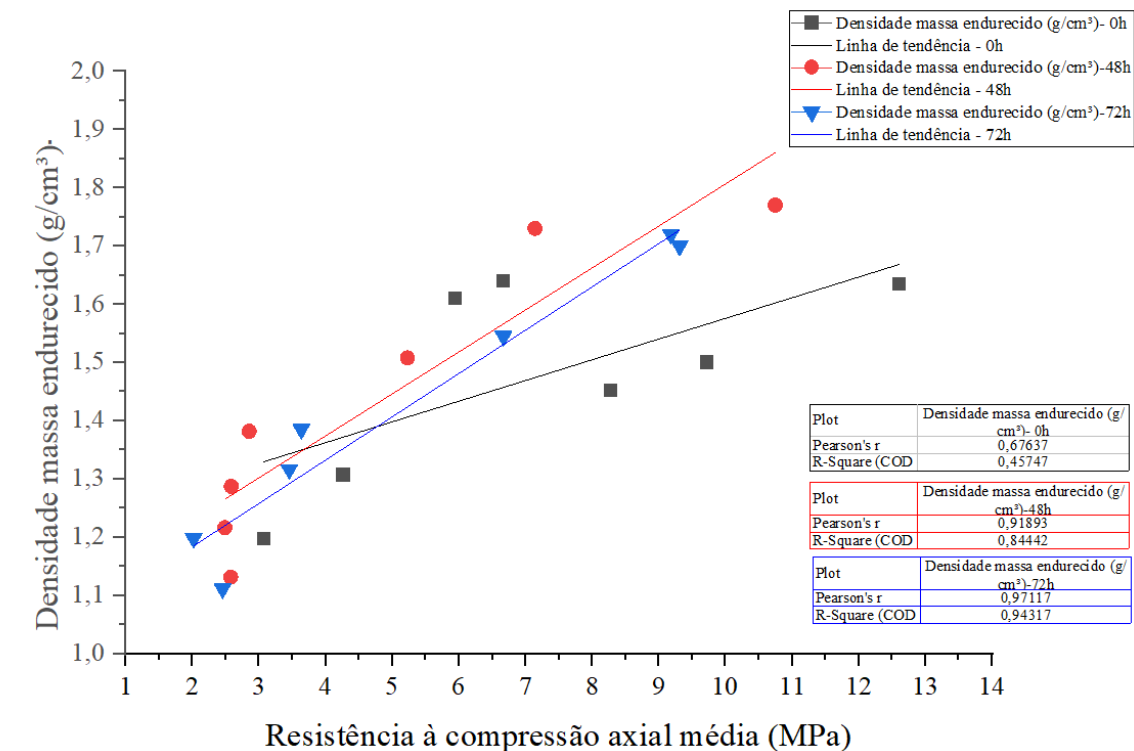


Figura 57: Correlação entre densidade de massa endurecida e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado.



Pela Figura 56 é possível observar a correlação entre os resultados dos ensaios de densidade de massa endurecida e a resistência à compressão para cada tempo de estabilização. Portanto, podemos notar que as argamassas nos três tempos de estabilização apresentaram uma alta correlação das propriedades avaliadas. Isso foi indicado pelos valores

do coeficiente de Pearson de $r=0,90830$, $r=0,9415$ e $r=0,97438$, respectivamente, para 0h, 48h e 72h de estabilização. Isso nos permite afirmar que quanto maior os valores de densidade endurecida, maior a resistência à compressão.

Pela Figura 57 é possível observar a correlação entre os resultados dos ensaios de densidade de massa endurecida e a resistência à compressão para cada tempo de estabilização das argamassas com o EVA incorporado saturado. Portanto, pode-se notar que as argamassas em 0h de estabilização apresentam uma correlação positiva e considerada moderada ($r=0,67637$) entre a densidade de massa endurecida e a resistência à compressão. No entanto, para os tempos de estabilização de 48 e 72h elas apresentaram uma alta correlação das propriedades avaliadas. Isso foi indicado pelos valores do coeficiente de Pearson $r=0,91893$ e $r=0,97117$, respectivamente, para 48h e 72h de estabilização. Isso nos permite afirmar que quanto maior os valores de densidade endurecida, maior a resistência à compressão.

Figura 58: Correlação entre resistência à tração na flexão e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado seco.

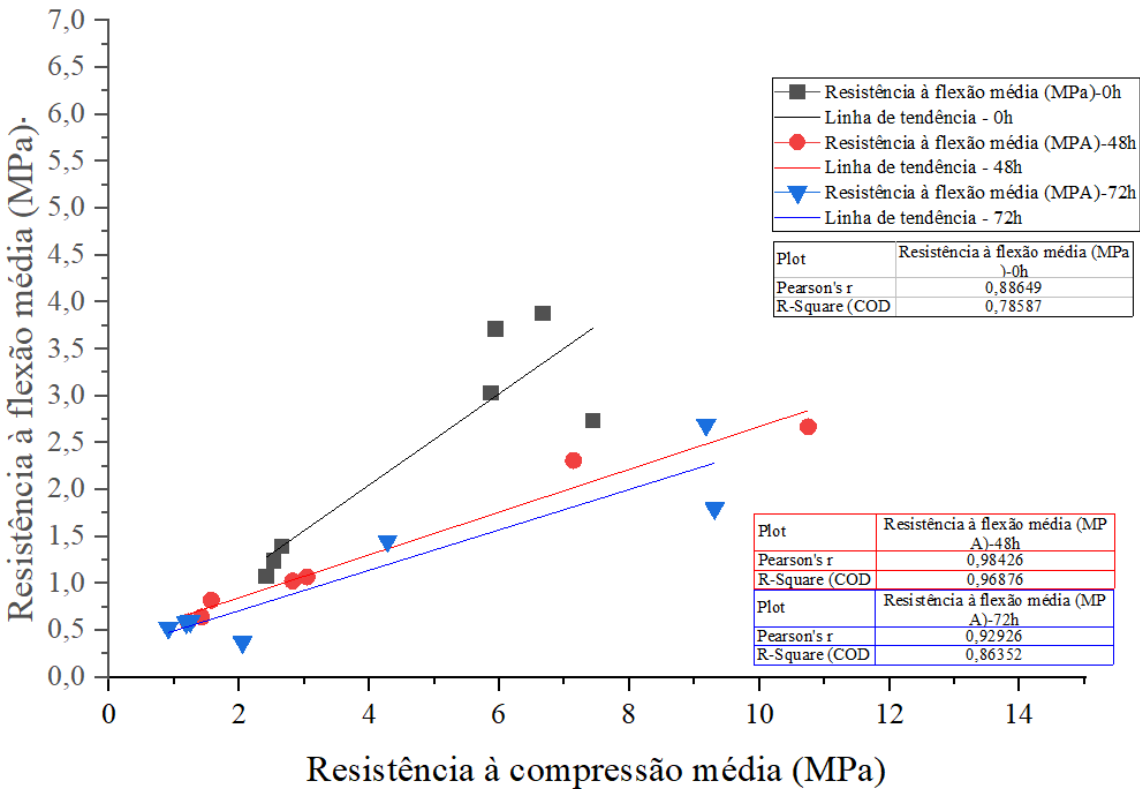
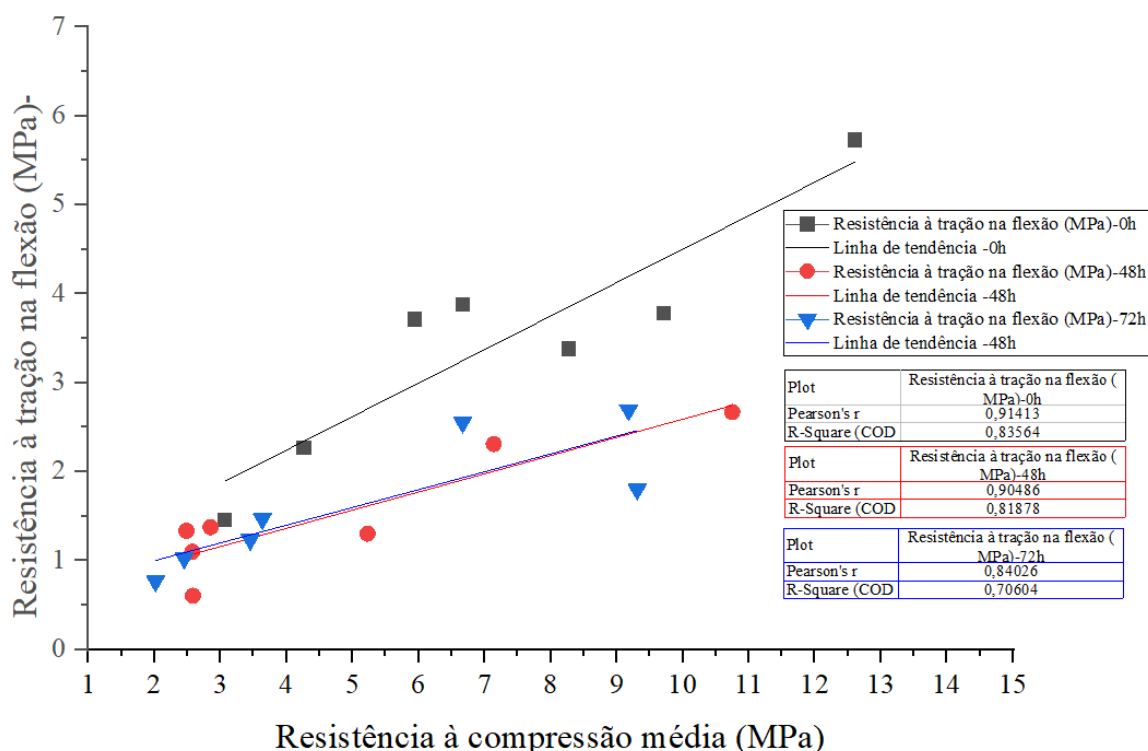


Figura 59: Correlação entre resistência à tração na flexão e a resistência à compressão das argamassas com EVA incorporado saturado.

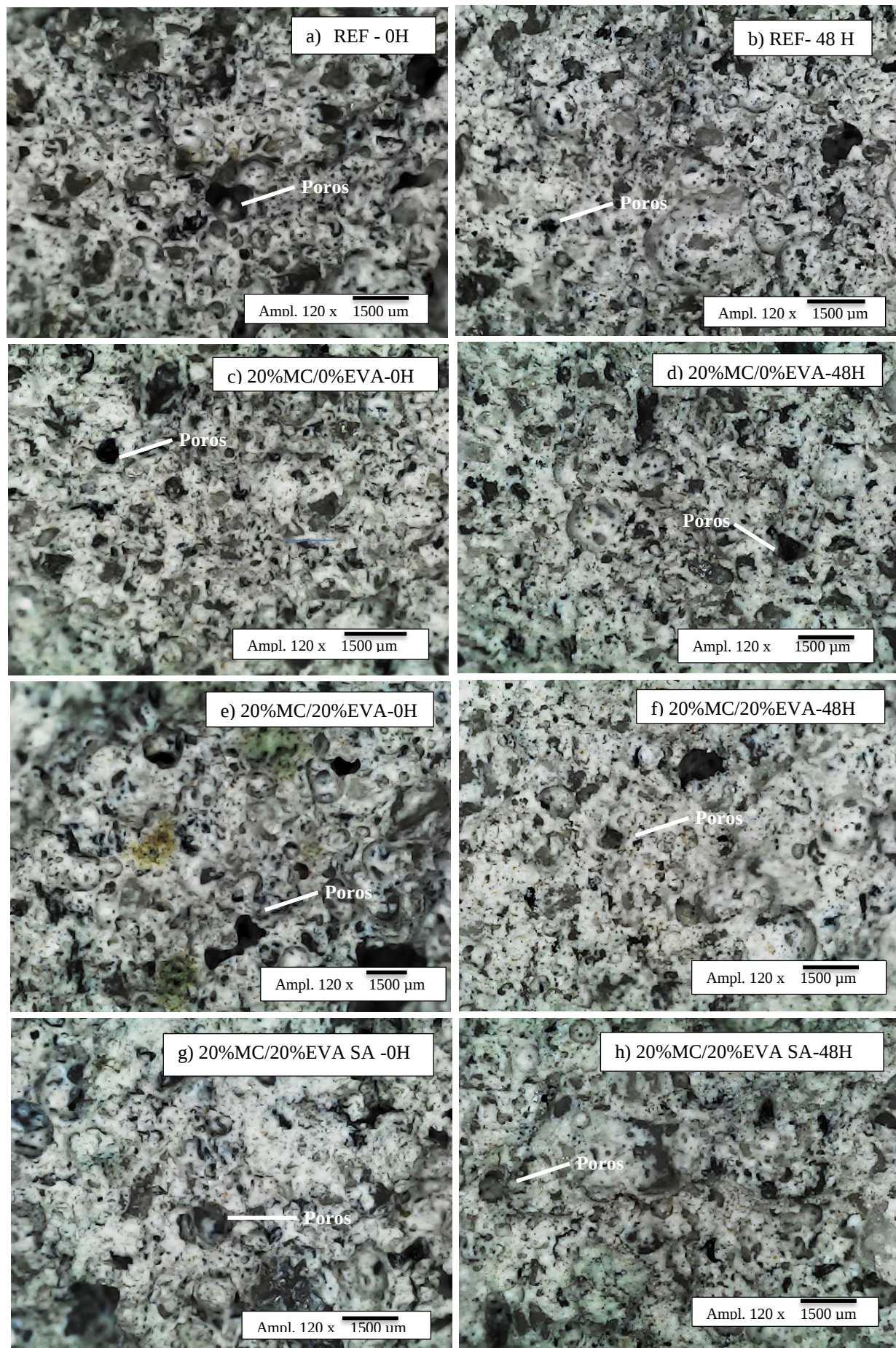


Pelas Figuras 58 e 59 é possível observar a correlação entre os resultados dos ensaios de resistência à tração na compressão e a resistência à compressão para ambas as argamassas (EVA incorporado seco e saturado) nos três tempos de estabilização. Elas apresentaram uma alta correlação das propriedades avaliadas, isso foi indicado pelos valores do coeficiente de Pearson. No caso das argamassas com EVA incorporado seco, os valores foram de $r=0,88649$, $r=0,98426$ e $r=0,92926$, respectivamente, para 0h, 48h e 72h de estabilização. Para as argamassas com EVA incorporado saturado, foram de $r=0,91413$, $r=0,90486$, $r=0,84026$. Isso nos permite afirmar que quanto maior os valores resistência à flexão, maior a resistência à compressão.

5.2.7 Análises microestruturais

As imagens microscópicas das argamassas REF, 20%MC/ 0% EVA, 20%MC/ 20% EVA, 20%MC/ 20% EVA –SA, em 0h e 48 h estão apresentadas na Figura 60. A partir das imagens é possível observar a alta porosidade que as argamassas possuem. Essa porosidade foi constatada também no ensaio de absorção de água por capilaridade visto no item 5.2.2.

Figura 60: Microscopia óptica das argamassas fraturadas.

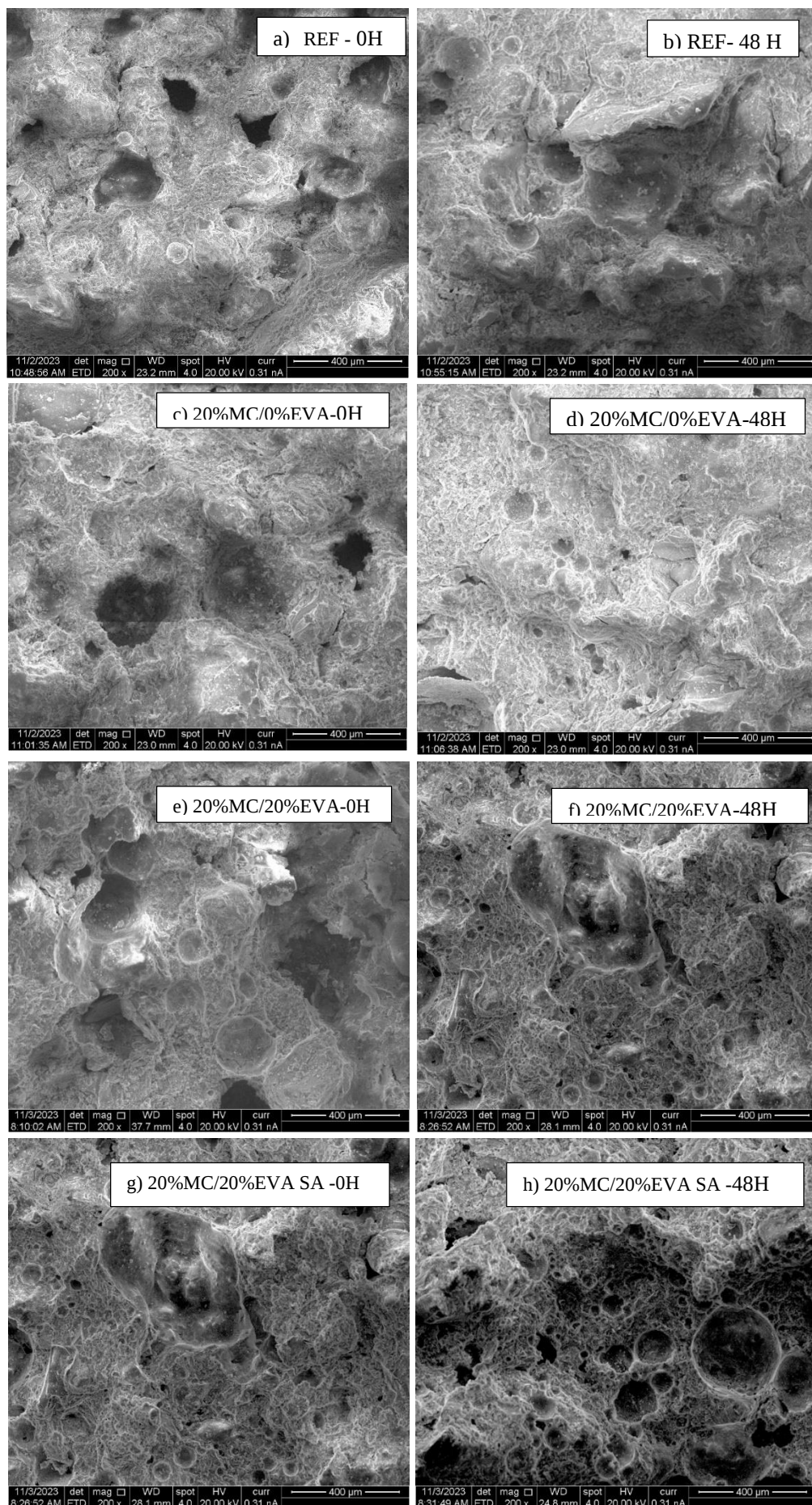


É possível visualizar (Figura 60) poros grandes e pequenos nas amostras. Através da análise visual pelo microscópio óptico verifica-se que as argamassas em 0h de estabilização parecem possuir maior quantidade de poros de maiores diâmetros, comparado a 48 h. Isso pode ajudar a explicar por que essas amostras apresentaram menor absorção por capilaridade. De acordo com Gallegos (1995) apud Sinharelli (2019), poros maiores que 5 μm não possuem força capilar suficiente para vencer os poros existentes na matriz cimentícia.”.

Apesar de aparentar possuir poros maiores, como pode-se ver na Figura 60 (e,g), as argamassas com EVA em 0h de estabilização se mostram mais resistentes à tração e à compressão. A matriz cimentícia é mais densa pois provavelmente os poros têm menor ligação entre si, isso explica também o módulo de elasticidade mais elevado para esse tempo de estabilização. Além disso, o processo de estabilização, por possibilitar uma maior disponibilidade de água livre na mistura, acaba proporcionando a redução da resistência para as argamassas com EVA.

As imagens a seguir (Figura 61) são da microscopia eletrônica de varredura realizada aos 51 dias de idade na superfície fraturada das argamassas REF, 20%MC/ 0% EVA, 20%MC/ 20% EVA, 20%MC/ 20% EVA –AS, em 0h e 48 h. Através da microscopia eletrônica de varredura com uma magnificação de 200x é possível visualizar que as argamassas REF, 20%MC/0%EVA possui uma estrutura mais densa, principalmente em 48h, justamente quando as argamassas apresentaram as maiores resistências.

Figura 61: Imagens em MEV das argamassas nos tempos de estabilização de 0h e 48h, obtidas por elétrons retroespalhados (BSE).



Em 0h de estabilização (Figuras 61 e,g), a argamassa com EVA saturado demonstra possivelmente maior quantidade de poros superficiais em comparação à versão seca, correlacionando-se com resultados de módulo de elasticidade, que mostra valores mais baixos para a argamassa 20%MC/20%EVA SA. Após 48 h de estabilização, ambas as formas de incorporação de EVA parecem apresentar elevada porosidade, explicando a maior absorção de água nesse período. Apesar da porosidade, a argamassa 20%MC/20%EVA SA exibe valores mais altos de resistência em 0h, indicando que a presença do agregado leve não compromete a resistência do concreto, possivelmente devido à falta de interligações entre poros, conforme observado por Bezerra (2014).

O possível aumento no número de poros na amostra com 20% de EVA saturado pode ser explicado pela pré-saturação. Conforme Bezerra (2014), que destaca em seu estudo sobre concretos leves que quando se utiliza agregados de EVA sem imersão prévia, ocorre um achatamento de seus grãos provocado pelo peso dos demais componentes da mistura durante a moldagem. No caso, para o autor quando se utiliza EVA previamente imersos em água, a presença da água em seus poros diminui o efeito do achatamento do volume do grão, sendo os agregados pré-imersos em água mais volumosos (Bezerra, 2014).

No caso desta pesquisa, a água utilizada para pré-saturação fazia parte da água da mistura, sendo assim, quando os agregados pré-saturados liberaram água aos poucos para a matriz cimentícia para proporcionar a chamada “cura interna” e realizar seu processo de hidratação, possivelmente poros (maiores) vão se formando nos espaços antes ocupados pela água, mas ao mesmo tempo melhorando a hidratação na pasta.

A pré-saturação do EVA possivelmente resulta em um aumento de volume, explicando a manutenção dos valores de teor de ar incorporado nas argamassas com EVA saturado ao longo da estabilização, enquanto nas argamassas com EVA incorporado seco, esses valores diminuem. A água presente no EVA pré-saturado pode dificultar o achatamento do volume, tornando os agregados um obstáculo volumoso para a liberação de ar nas misturas (Bezerra, 2014). Além dos aditivos incorporadores de ar não serem absorvidos pelo EVA quando colocado pré-saturado, como já abordado anteriormente. Isso fica mais evidente quando tem maiores teores de EVA na mistura.

Bezerra (2014) destaca que a pré-saturação dos agregados leves pode causar uma maior formação de poros na zona de transição pasta-agregado, enfraquecendo essa região, devido ao acúmulo de água ao redor do agregado, que já está preenchido com água. No entanto, no caso dessa pesquisa, em 0h de estabilização, todas as argamassas apresentaram baixos espalhamentos na mesa de consistência, principalmente as argamassas com EVA

incorporado saturado, além disso como os EVAs dessa pesquisa não foram imersos, mas sim saturados com uma porcentagem de água da mistura, provavelmente seus poros não estavam totalmente preenchidos por água (a água pode ocupar alguns poros do EVA, mas a extensão exata da saturação dependerá da porosidade inicial do material e de outros fatores), reduzindo ou até mesmo eliminando esse efeito de enfraquecimento da zona de transição aprontado por Bezerra.

Sendo assim, os resultados desta pesquisa contradizem esse efeito, sugerindo que a saturação dos EVAs com uma porcentagem de água da mistura não compromete a zona de transição. Resultados similares são defendidos por Rossignolo (2019) e Garlet (1998), que argumentam que a pré-saturação melhora a zona de transição, reduzindo a formação de bolhas de ar na massa fresca e contribuindo para uma melhor ligação agregado-pasta, melhorando a resistência mecânica. Os resultados da pesquisa corroboram com essas afirmações.

6 CONCLUSÕES

Após a obtenção dos dados, pode-se concluir:

- Influência do Resíduo de EVA

De maneira geral, as misturas com EVA apresentaram aumento no teor de ar incorporado, redução na densidade da massa fresca, alta absorção de água por capilaridade, sendo assim, pela absorção não são recomendadas para uso em ambientes externos, principalmente ao longo da estabilização, além disso a alta absorção capilar pode reduzir a vida útil das argamassas pela possibilidade de entrada de agentes deletérios. Pode-se concluir que a alta porosidade do EVA tem uma alta influência nas propriedades no estado fresco e endurecido, principalmente na absorção por capilaridade e resistência.

As altas incorporações de ar das argamassas com EVA podem proporcionar através de um estudo de dosagens a redução ou até a eliminação do aditivo incorporador de ar, diminuindo assim custo dessas argamassas e o impacto ambiental provocado pela produção dos aditivos.

- Influência da saturação do EVA

A incorporação de Etileno Acetato de Vinila (EVA), seja seco ou saturado, nas argamassas demonstrou impactos significativos nas propriedades tanto no estado fresco quanto no endurecido. As argamassas com EVA incorporado seco inicialmente apresentaram boa consistência, porém, ao longo do tempo de estabilização e com o aumento do teor de EVA, surgiram desafios como exsudação e perda de trabalhabilidade. Por outro lado, a pré-saturação do EVA mostrou-se eficaz na preservação da consistência ao longo do processo de estabilização, protegendo a mistura contra segregação e perda de trabalhabilidade.

No estado endurecido, as argamassas com EVA incorporado seco até 20% de EVA atenderam ou se aproximaram dos requisitos da norma NBR 13281 partes 1 e 2 (2023). Enquanto as argamassas com EVA saturado apresentaram melhores resultados no estado fresco e endurecido, incluindo ao longo da estabilização, proporcionando maiores vantagens em sua utilização nas argamassas.

Sendo assim, para o estudo realizado as argamassas com EVA incorporado Seco até 20% e as argamassas com EVA incorporado saturado em todas as porcentagens mostraram potencial para serem usadas em argamassas de assentamento e revestimento desde que sejam feitos ajustes na dosagem e, caso necessário, adoção ou redução de aditivos que proporcionem melhorias nas propriedades requeridas. Isso pode possibilitar a reutilização de porcentagens significativas desse resíduo, minimizando os impactos ambientais da disposição inadequada.

Deve ser feito também um estudo prévio da composição do EVA a ser introduzido, pois pode ser necessário realizar um pré-tratamento. No caso do EVA utilizado nessa pesquisa, que possui uma alta taxa de absorção de água, a verificação da influência da pré-saturação deles nas argamassas estabilizadas comprovou ser um método eficaz para melhoria das propriedades.

- Influência do Metacaulim

A introdução do metacaulim como substituto do cimento Portland resultou em uma redução na consistência da mistura. A densidade da massa fresca e endurecida e o teor de ar incorporado se aproximaram dos valores de referência. Houve também aumento da absorção capilar de água com relação a argamassa referência. Com relação a resistência, o metacaulim contribuiu para o aumento das resistências à tração e à compressão.

Sendo assim, a utilização do metacaulim em 20% como substituto parcial do cimento trouxe melhorias nas argamassas até os 28 dias de idade em um contexto geral, mas são necessários estudos com porcentagens menores ou testes adicionando o material, além de análise em maiores idades do corpo de prova. Além disso, o metacaulim desempenhou um papel crucial na redução do consumo de cimento, contribuindo para a sustentabilidade ambiental ao minimizar as emissões de CO₂.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- É importante o estudo da carbonatação das argamassas porque a carbonatação altera a microestrutura do material cimentício, alterando também as propriedades físico-químicas.
- Realizar ensaio de retenção de água ou umidade nas argamassas.
- Realização do ensaio de aderência (principalmente para os maiores teores de incorporação).
- Realização de ensaios para análise das propriedades térmicas e acústicas da argamassa estabilizada com incorporação de EVA.
- Confeccionar argamassas com EVA sem o uso do aditivo incorporador de ar ou utilizar aditivo antiespumante para reduzir a incorporação de ar e consequentemente a formação de poros que promovem a maior absorção por capilaridade.
- Buscar reduzir a absorção de água por capilaridade das argamassas com EVA através da utilização de aditivos cristalizantes, impermeabilizantes ou um pré-tratamento.
- Análise dos Corpos de Prova no estado endurecido em maiores idades dos CP devido ao uso do metacaulim.
- Realizar microscopia eletrônica de varredura com maiores magnificações para avaliar profundamente a microestrutura das argamassas, analisando zona de transição pasta/agregado e formação dos produtos de hidratação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGELAKOPOULOU, E.; BAKOLAS, A.; MOROPOULOU, A. Lime putty versus hydrated lime powder: Physicochemical and mechanical characteristics of lime based mortars. **Construction and Building Materials**, v. 225, p. 633–641, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.218>. Acesso em: Nov, 2023.

ALENCAR, A. E. V. de. **Avaliação do uso de polímero EVA, resíduo da indústria de calçados (EVAR) e aditivos no desempenho reológico de ligante asfáltico de petróleo**. 2009. 158p. Tese (Doutorado em química orgânica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento. Dissertação de Mestrado**. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2002.

AMARAL, M. B. **Avaliação do efeito da incorporação de agregados porosos secos e pré-moldados em argamassas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Perfil 2020**. **Abiplast**, p. 51, 2021. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpglclefndmkaj/https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2021/08/Perfil2020_abiplast.pdf.pdf. Acesso em 28 de Set. de 2023.

ARAÚJO JÚNIOR, J. M. DE. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. p. 199, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS PRODUTORAS DE CALÇADOS. **Relatório setorial Indústria de Calçados 2023**. Disponível em: <<https://www.abicalcados.com.br/publicacoes>>. Acesso em: Nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos**. Rio de Janeiro, 2023a.

_____. **NBR 13281-2: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria**. Rio de Janeiro, 2023b.

_____. **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.

_____. **NBR 13479: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)**. Rio de Janeiro, 2005b.

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

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

_____. **NBR 13280. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005f.

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

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

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

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

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

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NM 18**: Cimento Portland: análise química: determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

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

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

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

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

_____. **NBR 15630**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **C270. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry**. West Conshohocken, Pensilvania: ASTM International., p. 1–14, 2010.

AZERÊDO, Aline Figueirêdo Nóbrega de. **Estudo do resíduo de caulim em argamassas a base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais**. 2012. 230 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M., CALDAS, L. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. **XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Porto Alegre, 2015. Disponível em: file:///E:/Downloads/MATERIA_0025.pdf. Acesso em: 17 out. 2022.

BAUER, E. **Revestimento de argamassa – Características e peculiaridades**. 1ªed. Brasília: LEM- UnB – SINDUSCOND/DF. 2005. 92 p.

BELLEI, P.; JANTSCH, A. C.; TEMP, A. L.; NUNES, G. R.; DE OLIVEIRA, M. D.; MOHAMAD, G. Estudo comparativo do desempenho no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas de 36h e 72h. In: **XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**. Porto Alegre, 2015.

BESSAIES-BEY, H.; BAUMANN, R.; SCHMITZ, M.; RADLER, M.; ROUSSEL, N. Organic admixtures and cement particles: Competitive adsorption and its macroscopic rheological consequences. **Cement and Concrete Research**, 80, 1-9. 2016.

BETIOLI, A. M. et al. Effect of EVA on the fresh properties of cement paste. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 2, p. 255–260, 1 fev. 2012.

BEZERRA, A. J. V. **Concretos Com Substituição Parcial Do Agregado Natural Por Resíduos De Eva – Influência Em Propriedades Físicas , Mecânicas , microestruturais e de durabilidade**. 2014. 209p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

BISHOP, M; BARRON, A.R. Cement hydration inhibition with sucrose, tartaric acid, and lignosulfonate: analytical and spectroscopic study. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 45, n. 21, p. 7042-7049, 2006.

BOMEDIANO, K. S.; GOMES, C. E. M.; FONTANINI, P. S. P. Propriedades da argamassa modificada com polímeros redispersíveis de etileno-acetato de vinila (EVA). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 419-429, jul./set. 2020.

BORTOLON, E. N. **Argamassa estabilizada contendo resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais**. Espírito Santo, 2021. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2021. Disponível em: https://engenhariacivil.ufes.br/sites/engenhariacivil.ufes.br/files/field/anexo/projeto_de_graduacao_-_aluna_julia_lacerda_bortolon.pdf. Acesso em: 17 Abril. 2023.

BRAGA, M; de BRITO, J; VEIGA, R. Incorporação de agregados miúdos de concreto em morteiros. **Construction and Building Materials**. 2012; 36:960–8.

BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Economia Mineral do Brasil**. AUTOR DO CAPÍTULO: Geól. Raimundo Augusto Corrêa Mártires Coordenação. Antonio Fernando da Silva Rodrigues. – Brasília-DF: DNPM, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente 2022. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em 28 de Set. de 2023.

CARASEK, H.. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. São Paulo: USP, 1996. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. Disponível em: < <https://repositorio.usp.br/item/000746845>>. Acesso em: 17 out. 2022.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIAS, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 892-944.

CARDOSO, F. A.. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo – USP, 2009.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G.; BANFILL, P. F. G. Characterisation of rendering mortars by squeeze-flow and rotational rheometry. **Cement and Concrete Research**, 57, 79-87. 2014.

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.

CARVALHO, B. G. de. **Reologia das argamassas: uma revisão sistemática da literatura utilizando metanálise**. 2022. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

CASALI, J.; MANN NETO, A.; ANDRADE, D.; ARRIAGADA, N. **Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para assentamento e revestimento**. IX Simpósio Brasileiro de Argamassas. Belo Horizonte, 2011.

CASALI, J. M.; MELO, F. D.; SERPA, V. C.; OLIVEIRA, A. L. de; BETIOLI, A. M.; CALÇADA, L. M. L. Influence of cement type and water content on the fresh state properties of ready mix mortar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 33-52, abr./jun. 2018.

CASALI, J. M.; MEES, S; OLIVEIRA, A. L.; BETIOLI, A. M.; CALÇADA, L. M. Propriedades mecânicas das argamassas estabilizadas: evolução com a idade e o grau de hidratação. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 263–283, 2020.

CASSAGNABÈRE, F.; DIEDERICH, P.; MOURET, M. ; ESCADEILLAS, G. ;LACHEMI, M. Impact of metakaolin characteristics on the rheological properties of mortar in the fresh state. **Cement and Concrete Composites**. (2013). 37. 95–107. 10.1016/j.cemconcomp.2012.12.001

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation – Cahier MERUC**. Livraison 341, cahier 2669- 3, juillet-août 1993. Paris, 1993.

CENTRE TECHNIQUE CUIR CHAUSSURE MAROQUINERIE (CTC). Wastes Generated in the Leather Products Industry. In: 14th Session of the Leather and Leather Products Industry Panel, Czech Republic. **Unido**, n. December, 2000. Disponível em: https://leatherpanel.org/sites/default/files/publicationsattachments/leather_waste_recycling1.pdf. Acesso em 28 de Set. de 2023.

CERQUEIRA, B. B. S.. **Utilização de etileno-acetato de vinila (eva) na argamassa industrial colante**. Cruz das almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2016. 45 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas.) – Centro de ciências exatas e tecnológicas, Cruz das almas, 2016.

CHEUNG, J.; JEKNAVORIAN, A.; ROBERTS, L.; SILVA, D. Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement. **Cement and Concrete Research**, 41(12), 1289-1309. 2011.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68.

COSTA, M. R. M. M.; PEREIRA, E.; PILEGGI, R. G.; CINCOTTO, M. A.. (2013). Study of the influential factors on the rheological behavior of adhesive mortar available in the market. **Revista IBRACON De Estruturas E Materiais**, 6(3), 399–413. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952013000300005>

CYR, M; TRINH, M; HUSSON, B; CASAUX-GINESTET, G. Effect of cement type on metakaolin efficiency. **Cement and Concrete Research**., 64 (10) (2014), pp. 63-72.

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>.

DALL’OGLIO, V. **Análise comparativa entre argamassa estabilizada e argamassa preparada em obra**. Palhoça-SC, Unisul. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia civil) -

Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça-SC, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4757/1/tcc%20ok.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2023.

DANCEY, C; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed. 2006.

DA SILVA, M. W. M.; AZEVEDO, C. M.; FARIAS, L. S.; GOMES, E. M. da R.; CORDEIRO, L. de N. P. Absorção de água em argamassa leve com a incorporação de poliestireno expandido. **Scientia Plena**, 16(2). 18 mar. 2020 Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.023301>. Acesso em: 22 Abr. 2023.

DE ASSIS, L. A. N. et al. Estudo comparativo de argamassa de revestimento utilizando incorporador de ar e superplastificante. **Revista Valore**, [S.l.], v. 4, p. 121-132, nov. 2019. ISSN 2526-043X. Disponível em: AD>. Acesso em: 17 out. 2022. doi:<https://doi.org/10.22408/rev402019320121-132>.

DUARTE, G L. B.; KARKOTLI, L. B.; AMORIM, M. E.; CALÇADA, L M; CASALI, J. M. Estudo da trabalhabilidade da argamassa estabilizada ao longo do tempo de armazenamento para assentamento de bloco de concreto. **XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Porto Alegre, 2019.

EL-GAMAL, S.M.A; AMIN, M.S; RAMADAN, M. Hydration characteristics and compressive strength of hardened cement pastes containing nano-metakaolin. **HBRC Journal**, 13 (11) (2017), pp. 114-12

ERDOĞAN, S. T.; MARTYS, N. S.; FERRARIS, C. F.; FOWLER, D. W. Influence of the shape and roughness of inclusions on the rheological properties of a cementitious suspension. **Cement and Concrete Composites**, 30(5), 393-402. 2008.

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.

FABRO, J. R. et al. Avaliação Do Desempenho De Argamassas Estabilizadas. **Open Science Research III**, p. 2516–2529, 2022.

FERREIRA, L.; BRITO, J. de; BARRA, M. Influence of the Pre-Saturation of Recycled Coarse Concrete Aggregates on Concrete Properties. **Magazine of Concrete Research**, v. 63, n. 8, p. 617-627, 2011.

FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. D. S. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115–146, 2009.

GARLET, G. **Aproveitamento de Resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como Agregado para Concreto Leve na Construção Civil**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

GCP APPLIED TECHNOLOGIES. **Linha de produtos**. 2023. Disponível em: <https://gcpat.com.br/pt-br/solutions/products>. Acesso em: 21 Dez. 2023.

GUERZOU, T.; MEBROUKI, A.; CASTRO-GOMES, J. Study of concretes properties based on pre-saturated recycled aggregates. **Journal of Materials and Engineering Structures**, v. 5, p. 279–288, 2018.

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.

GUIMARÃES, C. C.; ANDRADE, É. S. Propriedades de argamassas com EVA (ethylene vinyl acetate) em substituição parcial ao agregado. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 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.

HERMANN, A; ROCHA, JPA. **Estudo de viabilidade do uso de argamassa estabilizada modificada para revestimento sem reboco**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. Pato Branco, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - **Panorama Brasil**. (2020). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 3 Nov 2023.

JACKIEWICZ-REK, W.; ZAŁĘGOWSKI, K.; GARBACZ, A.; BISSONNETTE, B. Properties of cement mortars modified with ceramic waste fillers. **Procedia Engineering**, 108, 681-687. 2015.

JAMIL M, M.N.N. Khan, M.R. Karim, A.B.M.A. Kaish, M.F.M. Zain. Physical and chemical contributions of Rice Husk Ash on the properties of mortar – **Construction and Building Material** – 2016.

JANTSCH, A. C. A. **Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. 2015. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

JIANG, Z.; HU, C.; EASA, X.; ZHENG, Y. Evaluation of physical, rheological, and structural properties of vulcanized EVA/SBS modified bitumen, **Journal of Applied Polymer Science**, v. 134, 10.1002/app.44850, 2017.

JUENGER, M. C. G.; JENNINGS, H. M. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes. **Cement and Concrete Research**, v. 32, n. 3, p. 393-399, 2002.

LEY, M. Tyler; FOLLIARD, Kevin J.; HOVER, Kenneth C. Observations of air-bubbles escaped from fresh cement paste. **Cement and Concrete Research**, v. 39, n. 5, p. 409-416, 2009.

KEBHARD, J. M.; KAZMIERCZAK, C. S. **Avaliação do comportamento de uma argamassa estabilizada ao longo de seu tempo de estabilização**. In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2017, São Paulo. XII Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2017.

KOKSAL, F., GENCEL, O. KAYA, M. Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, 2015.

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos Com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LOZOVEY, A. C. R. **Método de dosagem de argamassa estabilizada para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis, 2018. 179 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/192790>>. Acesso em: 17 out. 2022.

MACIOSKI, G; COSTA, M.M.C; CASALI, J.M. Caracterização de argamassas estabilizadas submetidas à sucção de substrato poroso. **XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. Porto Alegre, 2015.

MACEDO, W. DE; CARNEIRO, L.; PERLINGEIRO, M. **Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica em Concretos com Fibras**. XVII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções (CINPAR). p. 1176–1185, 2021.

MAYER, Daiane. **Previsibilidade do módulo de elasticidade de argamassa de revestimento usando micromecânica**. 2022. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

MA, S., LI, W.; ZHANG, S.; GE, D.; YU, J.; SHEN, X. Influence of sodium gluconate on the performance and hydration of Portland cement. **Construction and Building Materials**, 91, 138-144. 2015.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismos Físicos- químicos de Aderência na Interface Argamasico-Químicos 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.

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.

MARTINS NETO, A. A. A. **Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central/** A.A.A. Martins Neto, J. G. Janikian. São Paulo: EPUSP, 1999. 23 p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/ PCC/ 235). Disponível em: <https://silos.tips/download/aspectos-de-desempenho-da-argamassa-dosada-em-central-antonio-a-a-martins-neto-j>. Acesso em: 17 out. 2022.

MEHDIPOUR, I.; VAHDANI, M., AMINI, K.; SHEKARCHI, M. Linking stability characteristics to material performance of self-consolidating concrete-equivalent-mortar incorporating fly ash and metakaolin. **Construction and Building Materials**, 105, 206-217. 2016.

MEHTA, P. K. (Povindar K.). **Concreto : estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573p. ISBN 8572660402 .

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Microestrutura,. Propriedades e Materiais**. IBRACON 2008. Propriedades e Materiais, IBRACON, 2008.

MELO, F. D. de. **Estudo da influência da cura em argamassa estabilizada para revestimento**. (Trabalho de conclusão de curso- Bacharelado em Engenharia civil). Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2018. 80 p. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/379/FERNANDA%20DOMINGUES%20DE%20MELO%20-%20TCC%20-%20corrigido_Luca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 08.08.2023

MENEZES, F. Y. M.; SOUZA, S. J. M., SOUZA, S. J. M., MOURA, D. M. D; SILVA, C. J. V; SANTOS, R. A. Adição de EVA e vermiculita em argamassas de revestimento: análise do desempenho térmico. in: encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 17., 2018. **Anais XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 203–213.

MENEZES, F. Y. M.; SOUZA, S. J. M. de; SILVA, C. J. V.. Avaliação do isolamento acústico de protótipo revestido com argamassa adicionada de EVA e vermiculita conforme critérios da NBR 15575-4. **Principa**, João Pessoa PB , Edição arly View. 2 jul. 2022.

METACAULIN DO BRASIL. **Sustentabilidade: Metacaulim HP e HP ultra (contribuindo para a sustentabilidade)**. Disponível em: <<http://www.metacaulim.com.br/sustentabilidade-metacaulim-do-brasil.html>>. Acesso em: 08 out 2022.

MONTENEGRO, B. M. S. **Influência do tipo de areia nas propriedades de argamassas estabilizadas**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Campina Grande, 2023.

MORAIS, S. C; JÚNIOR, A. C. L; AQUINO ROCHA, J. H; SILVA, J. L; PÓVOAS, Y. Stabilized mortar: property evaluation according to stabilization time. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**. 7. 10.1007/s41024-022-00186-x. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/360451952_Stabilized_mortar_property_evaluation_according_to_stabilization_time>. Acesso: 17 de Out de 2022.

MOTA, J. M. F. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de alvenaria resistente de blocos cerâmicos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5769/1/arquivo6536_1.pdf>. Acesso: 17 de Out de 2022.

MOTA, J.M.F.; OLIVEIRA, R.A.; CARNEIRO, A.M.P. “Durabilidade de argamassas com adição de metacaulim para reforço de alvenaria”. **Revista Matéria** v.21 n.4, pp. 1105-1116. 2016.

NASCIMENTO, Raquel Ferreira do. **Efeito da hidroxipropilmetilcelulose em argamassas leves térmicas à base de vermiculita expandida**. 2021. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

NAKAKURA, E. H. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a Meruc**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), USP, São Paulo, 2003.

NAKAKURA, E.; VIEIRA, G. **Ferramenta de Viabilidade (App)**. Pocket book. 1.ed. São Paulo, 2015. 28p.

NUNES, D. G. **Estudo de caso para comparativo entre uso de argamassa produzida em obra e argamassa ensacada**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: . Acesso em: 05 set. 2023.

OHAMA, Y. Polymer-based Admixtures. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, p. 189-212, 1998.

PAGNUSSAT, D. T.; VIDOR, D.; MASUERO, A. B. Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do seu tempo de utilização. In: **4º Congresso Português de Argamassas e ETICS**. Coimbra, 2012.

OLIVEIRA, Cecilia Prado De. O uso da argila calcinada no concreto: Durabilidade e sustentabilidade. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 10, Vol. 01, pp. 63-72. 2020. ISSN: 2448-0959, Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/argila-calcinada>. Acesso em: 21 Dez. 2023.

OLIVEIRA, R; de BRITO, J; VEIGA R. Incorporação de agregados finos de vidro em rebocos. **Construction and Build Materials**. 2013; 44:329–41.

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.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS –ONU. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2023. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: Set. 2023.

PAULA, L. S. **Utilização de resíduos de eva como agregado graúdo em concretos**. Fortaleza, 2011. Trabalho de conclusão de curso (Baharelado em Engenharia Civil). Centro de tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2011/Leonardo_Souza_Utilizacao%20de%20Residuos%20de%20EVA%20como%20Agregado%20Graudo%20em%20Concretos.pdf. Acesso em: 17 Out. 2023.

PAULA, R. R. DE. **Avaliação do ciclo de vida (acv) de argamassas e concretos produzidos com resíduos de construção e demolição (rcd)**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

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: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/23638>>. Acesso em: 10 Out. 2022.

POLLI, F. H; FIOVARANTE, E.V; SILVA, S. H. L; COSTA, M. R. M. M.; PEREIRA, E.. Influence of the combined action of admixtures, air entraining and hydration stabilizing, on the properties of the stabilized mortar for up to 48 hours. **Revista Materia**, v. 28, n. 1, 2023.

QUARCIONI, V. A.; CINCOTTO, M. A. **Influência da Cal em Propriedades Mecânicas da Argamassa**. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Florianópolis, 2005. Anais [...].Florianópolis, 2005.

RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, A.; AGUILAR-FLORES, C; APARICIO-SAGUILÁN, A., Fingerprint analysis of FTIR spectra of polymers containing vinyl acetate. **DYNA**, v. 86, n. 209, p. 198-205, 2019.

RASHAD, A. Cementitious materials and agricultural wastes as natural fine aggregate replacement in conventional mortar and concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 5, p. 119-141, 2016.

RIBEIRO, B.; COSTA, A. R. D.; SILVA, V. S., **Caracterização reológica das argamassas estabilizadas produzidas na região metropolitana de salvador pelo método do squeeze-flow**. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre:ANTAC, 2018.

RIBEIRO, F. R. C. et al. Incorporação de resíduos de etileno acetato de vinila na produção de blocos intertravados de concreto para pavimentação. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 4, 2020.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**, 3th Ed. E & FN Spon, Londres, 1999.

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.

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.

RIBEIRO, F. R. C. et al. Incorporation of vinyl ethylene acetate residue into the production of interlocking concrete blocks for paving. **Revista Materia**, v. 25, n. 4, p. 1–11, 2020.

RIBEIRO, F. F.; CARASEK, H. Controle técnico na produção de argamassa estabilizada. In: simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, 14., 2023. **Anais [...]. [S. l.]**, 2023. DOI: 10.46421/sbta.v14.4771. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4771>. Acesso em: 26 dez. 2023.

ROMANO, Roberto Cesar de Oliveira. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - USP. 2013.

ROSALES, J.; CABRERA, M.; BELTRÁN, M. G.; LÓPEZ, M.; AGRELA, F. Effects of treatments on biomass bottom ash applied to the manufacture of cement mortars. **Journal of Cleaner Production**. 2017.

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

SAID-MANSOUR, M. et al. Influence of calcined kaolin on mortar properties. **Construction and building Materials**, v. 25, n. 5, p. 2275-2282, 2011.

SANTANA, M. R. O. D; DOMINGUEZ, D. S.; IGLESIAS, S. M.; PESSÔA, J. R. D. C.; DIAS, L. A. "Modelos de regressão aplicados na caracterização de argamassas leves contendo agregados não convencionais de eva e fibras de piaçava." **Matéria** 23.3 (2018): Matéria, 2018, Vol.23 (3).

SANTIAGO, E.Q.R. **Utilização de agregados de EVA e RCD para a obtenção de concretos leves**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) – Departamento de Tecnologia. Universidade Estadual de Feira de Santana. Bahia, 2008.

SANTOS, F. A. **Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

SANTOS, M. D. ; ARAÚJO, B. H.B; CAVALCANTE, L. A. S; MEDEIROS, F. K. Estudo da utilização de argila expandida na produção do concreto leve. Anais do V CONAPESC... Campina Grande: **Realize Editora**, 2020. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/73150>>. Acesso em: 27/08/2023.

SCHACKOW, A.; FERRARI, A.; EFFTING, C.; ALVES, V. ; GOMES, I. R. (2019). Stabilized mortar with air incorporator agent and plasticizer set retarder: performance measurement. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. 12. 1248-1259. 10.1590/S1983-41952019000600002.

SHI, C.; LI, M.; MA, C.; HE, T. Interfacial bonding properties of styrene-butadiene rubber and ethylene vinyl acetate emulsion-modified OPC-CAC-G repair mortar. **Construction and Building Materials**, v. 370, p. 130747, 2023.

SHI, Z.; LOTHENBACH, B.; GEIKER, M.R.; KAUFMANN, J.; LEEMANN, A.; FERREIRO, S.; SKIBSTED, J., Experimental studies and thermodynamic modeling of the carbonation of Portland cement, metakaolin and limestone mortars, **Cement and Concrete Research** **88**. 60-72. 2016.

SIDDIQUE, R.; KLAUS, J. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. **Applied Clay Science**. 43. 392-400. 10.1016/j.clay.2008.11.007. 2009.

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.

SILVA, J.; DE BRITO, J.; VEIGA R. Incorporação de cerâmica fina em argamassas. **Construction and Building Materials**. 2009; 23:556-64.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes. **Construction and Building Materials**, v. 105, p. 400-415, 2016.

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.

SILVA, I. C.; Azerêdo, A. F. N. . **Argamassa estabilizada contendo metacaulim**. Anais do VII CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2022. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/86817>>. Acesso em: 27/05/2023.

SILVERSTEIN, R. M.; FRANCIS, X. W.; KIEMLE, D. J., **Spectrometric identification of organic compounds**. Seventh Edition. John Wiley and Sons, New York, 2005.

SINGH, N. B. Effect of gluconates on the hydration of cement. **Cement and Concrete Research**, v. 6, n. 4, p. 455-460, 1976.

SINHORELLI, Kássia dos Santos. **Estudo das propriedades reológicas e térmicas das argamassas de revestimento contendo adições minerais e vermiculita**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba-UFPB- Paraíba - Brasil, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/19802?locale=pt_BR>. Acesso em: 10 Jul. 2023.

SOUSA, J. G. G.; LARA, P. L. O.. Reologia e Trabalhabilidade das Argamassas. In: ELTON BAUER. (Org.). **Revestimentos de Argamassa - Características E Peculiaridades**. 2005, p. 23-29. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2013/06/revestimento-de-argamassa.pdf>. Acesso em: 17 out. 2022.

SOUSA, J. G. G; BAUER, E. **Estudo da reologia das argamassas de revestimento no estado fresco**. CBECIMAT, Natal, p. 571-577, 2002.

SPÖREL, F.; UEBACHS, S.; BRAMESHUBER, W. Investigations on the influence of fly ash on the formation and stability of artificially entrained air voids in concrete. **Materials and Structures**, v. 42, n. 2, p. 227-240, 2009.

SUPERMX. Supermassa. 2023. Disponível em: <https://www.supermix.com.br/supermassa/>. Acessado em: 20 dez. 2023.

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%20Has%20More%20Life.pdf>. Acesso em: 17 Abril. 2023.

TREVISOL, L. A.; OTTO, E.; FERNANDES, F.; BATAIOTE, S. (2023). Estudo do impacto da quantidade de cal hidratada na estabilidade de argamassas estabilizadas de revestimento. **simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas**, 14(00). <https://doi.org/10.46421/sbta.v14.2827>.

TURRA, Daniel Giovani. **Contribuições para o estudo de algumas propriedades nos estados fresco e endurecido da argamassa estabilizada por 72 horas**. 2016.

TUTIKIAN, B. F.; ZUCHETTO, L. K.; SOUZA, R. P. ; OLIVEIRA, M. F. N. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. **Ambiente construído**. v. 17 n. 3, p. 295–306, 30 jun. 2017.

VIEIRA, A, A.P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassa e concreto**. 2005.127f. Dissertação (mestrado em engenharia urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João pessoa, 2005.

VIEIRA, M. G. **Betões de elevado desempenho com agregados leves: durabilidade e microestrutura**. 2000. 199p. Dissertação (Mestrado em construção) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2000.

VIER, M. B; SCHREIBER, D.; JAHNO, V. D; FROEHLICH, C. (2021). Análise compreensiva da aplicação dos conceitos de economia circular na indústria calçadista. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, V. 10 n. 4, 159–181. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v10e42021159-181>. Acesso em: 03 Nov. 2023.

WEI ,J., GENCTURK. B., Hydration of ternary Portland cement blends containing metakaolin and sodium bentonite, **Cement and Concrete Research**. 123. 2019.

WEISSEHEIMER, L. F.. **A influência do uso da argamassa estabilizada na diminuição de impactos ambientais**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017. Disponível em:http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/6342/Lu%c3%ads%20Fernando%20Weissheimer_.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 06 dez. 2022.

WESTERHOLM, M.; LAGERBLAD, B.; SILFWERBRAND, J.; FORSSBERG, E. Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars. **Cement and Concrete Composites**, 30(4), 274-282. 2008.

ZATTERA, A. J; BIANCHI, O; ZENI, M; FERREIRA, C. A. Caracterização de resíduos de copolímeros de etileno-acetato de vinila - EVA. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 73-78, 2005.

APÊNDICES

Os apêndices estão apresentados abaixo e vão de “A” a “F”.

APÊNDICE A - Valores da média dos espalhamentos das misturas no estado fresco para o EVA incorporado seco e saturado. Estão presentes o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV).

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SECO				
Mistura	Tempo de estabilização (h)	Espalhamento médio (cm)	DP	CV (%)
REF	0	27,80	0,00	0,00
	48	26,333	0,289	0.895
	72	25,93	0,251	0.792
20% sub. MC	0	25,2	0,10	0.324
	48	22,10	0,17	0.640
	72	21,40	0,15	0.582
20% MC/ 10% EVA	0	22,97	0,15	0.543
	48	25,03	0,06	0.188
	72	25,6	0,23	0.735
20% MC/ 20% EVA	0	21,6	0,17	0.655
	48	25,10	0,30	0.995
	72	27,13	0,15	0.460
20% MC/ 30% EVA	0	20,5	0,06	0.230
	48	29,10	0,10	0.281
	72	29,66	0,29	0.795
20% MC/ 40% EVA	0	20,03	0,06	0.235
	48	29,27	0,06	0.161
	72	29,90	0,36	0.985
20% MC/ 50% EVA	0	19,07	0,06	0.247
	48	31,5	0,10	0.259
	72	31,76	0,25	0.647

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SATURADO				
Mistura	Tempo de estabilização (h)	Espalhamento médio (cm)	DP	CV (%)
REF	0	27.80	0	0,00
	48	26.33	0.2887	0.895
	72	25.93	0.2517	0.792
20%MC/ 0%EVA	0	25.20	0.1000	0.324
	48	22.10	0.1732	0.640
	72	21.43	0.1528	0.582
20% MC/ 10% EVA-SA	0	24.50	0.2646	0.882
	48	26.10	0.4000	1.251
	72	23.97	0.1528	0.520
20% MC/ 20% EVA-SA	0	23.10	0.1732	0.612
	48	24.93	0.1155	0.378
	72	23.97	0.0577	0.197
20% MC/ 30% EVA-SA	0	20.93	0.2082	0.812
	48	25.40	0.3000	0.964
	72	25.30	0.1000	0.323
20% MC/ 40% EVA-SA	0	19.30	0.1732	0.733
	48	23.33	0.3055	1.069
	72	23.47	0.1528	0.531
20% MC/ 50% EVA-SA	0	16.53	0.0577	0.285
	48	23.50	0.1000	0.347
	72	23.67	0.3786	1.306

APÊNDICE B- Valores da média das densidades de massa aparente para as argamassas com o EVA incorporado seco e saturado, aos 28 dias de idade.

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SECO				
Mistura	Tempo de estabilização (h)	Densidade de massa média (g/cm³)	DP	CV (%)
REF	0	1.61	0.0158	0.799
	48	1.73	0.0079	0.323
	72	1.72	0.0058	0.240
20%MC/ 0%EVA	0	1.64	0.0135	0.671
	48	1.77	0.0018	0.077
	72	1.70	0.0003	0.014
20% MC/ 10% EVA	0	1.53	0.0046	0.246
	48	1.43	0.0212	1.209
	72	1.51	0.0129	0.695
20% MC/ 20% EVA	0	1.44	0.0076	0.400
	48	1.38	0.0010	0.100
	72	1.35	0.0126	0.657
20% MC/ 30% EVA	0	1.30	0.0051	0.322
	48	1.25	0.0049	0.323
	72	1.26	0.0095	0.616
20% MC/ 40% EVA	0	1.27	0.0045	0.288
	48	1.18	0.0025	0.176
	72	1.21	0.0197	1.326
20% MC/ 50% EVA	0	1.21	0.0090	0.574
	48	1.12	0.0316	2.299
	72	1.16	0.0314	2.201

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SATURADO				
Mistura	Tempo de estabilização (h)	Densidade massa média (g/cm³)	DP	CV (%)
REF	0	1.61	0.0158	0.799
	48	1.73	0.0079	0.323
	72	1.72	0.0058	0.240
20%MC/ 0%EVA	0	1.64	0.0135	0.671
	48	1.77	0.0018	0.077
	72	1.70	0.0003	0.014
20% MC/ 10% EVA--SA	0	1.63	0.0290	1.255
	48	1.51	0.0038	0.1774
	72	1.55	0.0061	0.2795
20% MC/ 20% EVA--SA	0	1.50	0.0266	1.252
	48	1.38	0.0086	0.439
	72	1.39	0.0008	0.043
20% MC/ 30% EVA-SA	0	1.45	0.0232	1.306
	48	1.29	0.0168	0.925
	72	1.32	0.0084	0.453
20% MC/ 40% EVA-SA	0	1.31	0.0073	0.393
	48	1.22	0.0172	0.819
	72	1.20	0.0046	0.274
20% MC/ 50% EVA-SA	0	1.20	0.0147	0.869
	48	1.13	0.0009	0.058
	72	1.11	0.0078	0.496

APÊNDICE C -Valores da média dos resultados de absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade das argamassas com o EVA incorporado seco e saturado, aos 28 dias de idade. Estão presentes o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV).

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SECO										
Mistura	Tempo de estabilização (h)	Absorção por capilaridade (10 min)(g/cm ²)	DP	CV (%)	Absorção por capilaridade (90 min) (g/cm ²)	DP	CV (%)	Coeficiente de absorção por capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	DP	CV (%)
REF	0	0.066	0.016	19.4458	0.173	0.015	6.3063	1.86	0.318	12.1294
	48	0.079	0.010	8.7302	0.274	0.051	13.2420	3.12	0.665	15.0641
	72	0.062	0.012	14.1414	0.204	0.018	6.1162	2.28	0.085	2.6316
20%MC/ 0%EVA	0	0.059	0.008	11.6860	0.183	0.020	9.0691	1.98	0.193	7.9650
	48	0.119	0.002	1.0526	0.383	0.025	4.5752	4.22	0.368	6.1611
	72	0.203	0.023	7.8582	0.565	0.046	5.6938	5.80	0.368	4.4828
20% MC/ 10% EVA	0	0.036	0.003	5.8275	0.116	0.003	2.4573	1.27	0.093	5.9894
	48	0.341	0.055	13.1812	0.784	0.073	7.5601	7.10	0.359	4.1320
	72	0.144	0.010	5.5099	0.333	0.024	5.8053	3.02	0.231	6.2565
20% MC/ 20% EVA	0	0.083	0.010	4.1000	0.214	0.020	3.5000	2.10	0.020	0.4000
	48	0.199	0.010	4.1000	0.460	0.020	3.5000	4.17	0.020	0.4000
	72	0.196	0.007	2.3923	0.482	0.034	4.9287	4.58	0.431	6.6667
20% MC/ 30% EVA	0	0.054	0.003	4.7471	0.171	0.004	2.0936	1.87	0.114	4.9592
	48	0.303	0.025	6.6527	0.834	0.057	5.5739	8.50	0.544	5.2297
	72	0.365	0.052	11.6541	0.860	0.100	9.4813	7.93	0.777	7.9990
20% MC/ 40% EVA	0	0.050	0.006	9.1843	0.143	0.009	5.0518	1.47	0.123	6.8399
	48	0.334	0.027	6.5083	0.965	0.065	5.5248	10.09	0.785	6.3545
	72	0.228	0.025	9.0959	0.783	0.079	8.1995	8.87	0.942	8.6683
20% MC/ 50% EVA	0	0.056	0.008	11.4585	0.119	0.021	14.2462	1.01	0.234	18.9072
	48	0.330	0.027	6.6062	0.911	0.018	1.5845	9.31	0.197	1.7244
	72	0.355	0.017	3.9614	0.960	0.144	12.2003	10.72	1.315	8.6754

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SATURADO

Mistura	Tempo de estabilização (h)	Absorção por capilaridade (10 min)	DP	CV (%)	Absorção por capilaridade (90 min)	DP	CV (%)	Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	DP	CV (%)
REF	0	0.066	0.0158	19.4458	0.173	0.015	6.3063	1.86	0.318	12.1294
	48	0.079	0.0097	8.7302	0.274	0.051	13.2420	3.12	0.665	15.0641
	72	0.062	0.0124	14.1414	0.204	0.018	6.1162	2.28	0.085	2.6316
20%MC/ 0%EVA	0	0.059	0.0084	11.6860	0.183	0.020	9.0691	1.98	0.193	7.9650
	48	0.119	0.0018	1.0526	0.383	0.025	4.5752	4.22	0.368	6.1611
	72	0.203	0.0225	7.8582	0.565	0.046	5.6938	5.80	0.368	4.4828
20% MC/ 10% EVA-SA	0	0.052	0.0083	12.8852	0.168	0.020	9.5180	1.84	0.221	9.7683
	48	0.175	0.0181	7.3084	0.409	0.040	6.9519	3.74	0.354	6.6845
	72	0.107	0.0013	0.8746	0.279	0.005	1.2318	2.75	0.057	1.4545
20% MC/ 20% EVA-SA	0	0.073	0.0078	8.7505	0.201	0.003	1.3995	2.05	0.120	4.7928
	48	0.173	0.0013	0.5405	0.407	0.023	3.9939	3.74	0.346	6.5596
	72	0.149	0.0102	4.8218	0.369	0.021	4.0678	3.52	0.177	3.5562
20% MC/ 30% EVA-SA	0	0.065	0.0190	20.5742	0.185	0.033	12.6476	1.92	0.226	8.3333
	48	0.193	0.0110	4.0388	0.499	0.025	3.5044	4.90	0.219	3.1665
	72	0.177	0.0119	4.7788	0.439	0.007	1.0676	4.20	0.085	1.4286
20% MC/ 40% EVA-SA	0	0.190	0.0800	29.7209	0.448	0.110	17.3519	4.13	0.481	8.2324
	48	0.179	0.0084	3.3159	0.398	0.031	5.5031	3.50	0.361	7.2961
	72	0.265	0.0110	2.9446	0.636	0.023	2.5540	5.94	0.191	2.2746
20% MC/ 50% EVA-SA	0	0.296	0.0074	3.4159	0.574	0.007	1.0476	4.37	0.099	1.6018
	48	0.142	0.0004	0.2198	0.336	0.004	0.7435	3.11	0.049	1.1272
	72	0.151	0.0420	19.6687	0.491	0.063	9.0446	5.44	0.332	4.3238

APÊNDICE D- Valores da média das resistências à compressão para as argamassas com o EVA incorporado seco e saturado na idade de 28 dias. Estão presentes o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV).

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SECO				
Mistura	Tempo de estabilização (h)	Resistência à compressão média (MPa)	DP	CV (%)
REF	0	5.95	0.379	5.5127
	48	7.14	0.105	1.2736
	72	9.18	0.356	3.4662
20% MC/ 0%EVA	0	6.67	0.044	3.0091
	48	10.75	0.8872	7.1457
	72	9.31	0.373	3.5838
20% MC/ 10% EVA	0	7.44	0.326	3.7938
	48	2.82	0.221	6.7947
	72	4.28	0.287	6.0089
20% MC/ 20% EVA	0	5.88	0.624	8.7000
	48	3.04	0.173	4.0000
	72	2.05	0.232	10.3193
20% MC/ 30% EVA	0	2.66	0.342	11.1154
	48	1.57	0.184	10.6710
	72	1.19	0.112	8.1750
20% MC/ 40% EVA	0	2.54	0.144	4.5194
	48	1.21	0.137	10.3180
	72	1.25	0.151	11.0217
20% MC/ 50% EVA	0	2.42	0.159	5.9882
	48	1.42	0.163	10.4720
	72	0.91	0.106	10.6403

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SATURADO

Mistura	Tempo de estabilização (h)	Resistência à compressão média (MPa)	DP	CV (%)
REF	0	5.95	0.379	5.5127
	48	7.14	0.105	1.2736
	72	9.18	0.356	3.4662
20% MC/ 0%EVA	0	6.67	0.044	3.0091
	48	10.75	0.8872	7.1457
	72	9.31	0.373	3.5838
20% MC/ 10% EVA-SA	0	12.61	0.440	3.0179
	48	5.23	0.432	7.1557
	72	6.67	0.107	1.3865
20% MC/ 20% EVA-SA	0	9.72	0.542	4.8277
	48	2.58	0.543	4.5196
	72	3.63	0.197	4.7005
20% MC/ 30% EVA-SA	0	8.28	0.287	2.8341
	48	2.58	0.345	11.5676
	72	3.45	0.214	5.3775
20% MC/ 40% EVA-SA	0	4.27	0.427	8.6770
	48	2.49	0.369	12.8581
	72	2.02	0.099	4.2542
20% MC/ 50% EVA-SA	0	3.07	0.314	8.8584
	48	2.57	0.171	5.7536
	72	2.45	0.146	5.1606

APÊNDICE E - Valores da média das resistências à tração na flexão das argamassas com o EVA incorporado seco e saturado, para a idade de 28 dias. Estão presentes o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV).

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SECO				
Mistura	Tempo de estabilização (h)	Resistência à tração na flexão média (MPa)	DP	CV (%)
REF	0	3,71	0,2645	5.818
	48	2,31	0.1346	4.120
	72	2.69	0.3498	10.602
20% MC/ 0%EVA	0	3,88	0.2123	4.464
	48	2.67	0.3	7.893
	72	1.8	0.0735	3.329
20% MC/ 10% EVA	0	2.73	0.3913	11.685
	48	1.03	0.0952	7.575
	72	1.45	0.0168	0.942
20% MC/ 20% EVA	0	3.03	0.1929	4.500
	48	1.07	0.1	7.600
	72	0.37	0.0052	0.981
20% MC/ 30% EVA	0	1.39	0.2344	13.766
	48	0.82	0.1085	10.799
	72	0.58	0.0596	7.210
20% MC/ 40% EVA	0	1.24	0.1298	8.545
	48	0.59	0.1145	15.789
	72	0.60	0.0214	2.923
20% MC/ 50% EVA	0	1.07	0.0931	8.6677
	48	0.64	0.1227	15.627
	72	0.52	0.0845	13.143

ARGAMASSA COM EVA INCORPORADO SATURADO				
Mistura	Tempo de estabilização (h)	Resistência à tração na flexão média (MPa)	DP	CV (%)
REF	0	3.71	0.265	5.8181
	48	2.31	0.135	4.1204
	72	2.69	0.350	10.6017
20% MC/ 0%EVA	0	3.88	0.212	4.4637
	48	2.67	0.300	7.8929
	72	1.80	0.074	3.3289
20% MC/ 10% EVA-SA	0	5.73	0.189	2.3346
	48	1.30	0.101	5.4851
	72	2.55	0.093	2.5734
20% MC/ 20% EVA-SA	0	3.78	0.132	2.4698
	48	1.38	0.241	12.3836
	72	1.47	0.039	1.8917
20% MC/ 30% EVA-SA	0	3.38	0.340	8.2114
	48	0.60	0.173	25.4750
	72	1.23	0.084	4.7938
20% MC/ 40% EVA-SA	0	2.27	0.093	2.8868
	48	1.33	0.150	7.9669
	72	0.77	0.039	3.6150
20% MC/ 50% EVA-SA	0	1.46	0.390	18.9219
	48	1.10	0.006	0.3628
	72	1.03	0.005	0.3432

APÊNDICE F - Valores da média dos módulos de elasticidade dinâmico para as argamassas com o EVA incorporado seco e saturado, na idade de 28 dias. Estão presentes o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV).

Mistura	Tempo de estabilização (h)	Módulo 1 (Gpa)	Módulo 2 (Gpa)	Módulo 3 (Gpa)	Módulo médio (Gpa)	DP	CV
REF	0	10.26	11	10.19	10.48	0.4488	3.496%
	48	9.98	9.77	9.74	9.83	0.1308	1.086%
	72	9.63	9.51	9.35	9.50	0.1405	1.208%
20%MC/ 0%EVA	0	8.09	8.06	8.13	8.09	0.0351	0.354%
	48	7.82	8.06	7.85	7.91	0.1308	1.350%
	72	7.59	7.3	8.24	7.71	0.4814	5.098%
20% MC/ 20% EVA EVA SECO	0	6.27	6.22	6.85	6.45	0.3502	4.400%
	48	2.87	2.83	2.8	2.83	0.0351	1.000%
	72	1.89	2.25	2.21	2.12	0.1973	7.600%
20% MC/ 20% EVA EVA SATURADO	0	5.51	5.47	5.45	5.48	0.0306	0.500%
	48	3.31	3.12	3.39	3.27	0.1387	3.500%
	72	3.64	3.53	3.46	3.54	0.0907	2.100%