

Influência da ação combinada de aditivos, incorporador de ar e estabilizador de hidratação, nas propriedades da argamassa estabilizada por até 48 horas

Influence of the combined action of admixtures, air entraining and hydration stabilizing, on the properties of the stabilized mortar for up to 48 hours

Felipe Hartman Polli¹, Erick Vinicius Fioravante², Sarah Honorato Lopes da Silva^{3,4},
Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa⁴, Eduardo Pereira^{1,2},

¹Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais (PPGECM), Av. Carlos Cavalcanti, 4748, Uvaranas, Ponta Grossa, PR, Brasil.

²Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Departamento de Engenharia Civil, Uvaranas, Ponta Grossa, PR, Brasil.

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Coordenação de Engenharia Civil, Apucarana, PR, Brasil.

⁴Universidade Federal do Paraná (UFPR), Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Curitiba, PR, Brasil.
e-mail: felipehartman95@gmail.com, mariennemaron@gmail.com, sarahh@utfpr.edu.br, eduardopereira@uepg.br

RESUMO

A argamassa estabilizada tem como característica o tempo de pega estendido. O emprego de aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação são fundamentais para manter o estado fresco da argamassa em obra e com trabalhabilidade adequada. Esse trabalho analisou a influência combinada desses aditivos, com o objetivo de contribuir com a dosagem de argamassas. Foram ensaiadas nove formulações, as quais variaram o teor de aditivos, entre o máximo e o mínimo recomendado pelo fabricante. Os ensaios no estado fresco foram: índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado e *Squeeze-flow*; e no estado endurecido para: resistência à tração na flexão e à compressão e resistência de aderência à tração. Verificou-se a eficiência dos aditivos em manter as propriedades reológicas das argamassas, mantendo-as trabalháveis, porém também se identificou perda das propriedades mecânicas no estado sólido, devido a problemas de hidratação decorrente do excesso de aditivo estabilizador de hidratação e pela formação de vazios pelo uso de incorporador de ar. Dessa forma, conclui-se sobre a importância da compatibilização entre os aditivos em conjunto e o controle tecnológico na dosagem das argamassas, para que elas se mantenham trabalháveis sem perder as propriedades mecânicas necessárias para um bom desempenho e durabilidade.

Palavras-chave: argamassa estabilizada, aditivo incorporador de ar, aditivo estabilizador de hidratação.

ABSTRACT

The stabilized mortar feature is an extended setting time. The use of air-entraining admixture and hydration control admixtures are essential to maintain the fresh stage of the mortar on site and with adequate workability. This paper analysed the combined influence of these additives, aiming to contribute to the mortar dosage. Nine formulations were tested, which varied the content of additives, between the maximum and the minimum recommended by the manufacturer. The tests in the fresh stage were: consistence index, specific gravity and air entrained content and *Squeeze-flow*; and in the hardened stage were: flexural and the compressive strength and tensile bond strength. The efficiency of the additives in maintaining the rheological properties of the mortars, keeping them workable, was verified, but a loss of mechanical properties in the solid stage was also identified, due to hydration problems due to excess hydration control admixtures and the formation of voids by use of air-entraining admixture. Thus, it is concluded about the importance of compatibility between admixtures together and technological control in the dosage of mortars, so that they remain workable without losing the mechanical properties necessary for good performance and durability.

Keywords: stabilized mortar, air entrainer admixtures, hydration stabilizer admixtures.

1. INTRODUÇÃO

Argamassas industrializadas têm sido cada vez mais frequente em canteiros de obra, resultados da constante racionalização do setor [1]. Estudos sobre a influência de seus componentes e o desempenho das argamassas tem sido explorado na literatura, principalmente quanto aos aglomerantes e agregados utilizados nas dosagens [2, 3] e eventualmente melhoramento com aditivos [4, 5]. Dentro do campo de argamassas industrializadas, as argamassas estabilizadas têm se destacado para execução de revestimento argamassado [6, 7]. Estas argamassas dosadas em centrais são constituídas de aglomerantes minerais (comumente cimento Portland), agregado miúdo, água e aditivos estabilizadores de hidratação, plastificantes ou incorporadores de ar. Os aditivos incorporadores de ar são responsáveis por manter a plasticidade da argamassa, essencial para a execução do revestimento. Os aditivos estabilizadores de pega atuam inibindo a hidratação do cimento [8, 9]. Como vantagem da utilização das argamassas estabilizadas, pode-se citar: canteiro não precisa controlar e estocar insumos básicos (cimento, cal e areia), diminui desperdícios, dosagem controlada em massa na central, aumento de produtividade. Entre as desvantagens, pode-se citar: o maior cuidado que as usinas devem ter ao dosar as argamassas; a sensibilidade do comportamento da argamassa aos materiais e a formulação e ausência de referências específicas (formulação, produção, aplicação, controle e recebimento na obra) [6-8].

Os incorporadores de ar têm a função de produzir pequenas bolhas de ar, estáveis, separadas entre si e distribuídas uniformemente na argamassa. Segundo [10], o aditivo melhora o comportamento reológico de misturas com baixo consumo de cimento ou com baixo teor de finos, resultando numa argamassa mais trabalhável, coesa e reduzindo a exsudação. Estes aditivos são substâncias tensoativas, as quais possuem moléculas orgânicas de cadeia longa, sendo uma extremidade hidrofóbica e outra hidrofílica. Os surfactantes incorporadores de ar são geralmente: sais de resina de madeira, materiais proteicos, ácidos de petróleo e alguns detergentes sintéticos. A estrutura típica é cadeia hidrocarbônica apolar com grupo polar aniônico na extremidade [11]. O aditivo adsorve na superfície do grão de cimento e a extremidade hidrofóbica fica voltado para fora, fazendo com que a argamassa consiga estabilizar bolhas de ar (Figura 1).

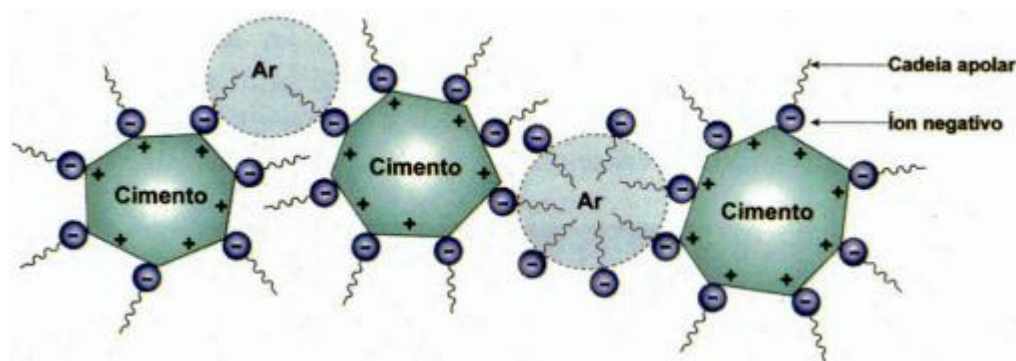


Figura 1: Mecanismo de incorporação de ar por surfactante [11].

O aditivo incorporador de ar reduz a resistência mecânica e a aderência da argamassa ao substrato devido ao aumento do teor de vazios e redução da superfície de contato [12]. De acordo com [11], os aditivos estabilizadores agem atrasando a formação de ligação entre os produtos de hidratação ou reduzindo a solubilidade dos constituintes anidros do cimento pela formação de produtos insolúveis e impermeáveis em torno das partículas. Apesar dos efeitos positivos do seu uso, [9] reforçam a necessidade de dosagem adequada destes aditivos uma vez que existe um ponto de saturação das moléculas a partir do qual seus efeitos não são significativos.

O aditivo estabilizador de hidratação consegue retardar a pega do cimento por até 72h, e atua impedindo a nucleação na superfície de hidratos ricos em íons de cálcio, portanto impede a nucleação do C-S-H e do hidróxido de cálcio e altera a morfologia dos hidratos formados posteriormente, este aditivo pode ser adicionado com a água de amassamento ou posteriormente [13, 14].

As argamassas estabilizadas são um produto relativamente recentes no mercado e suas especificações e dosagem estão associadas a metodologias desenvolvidas localmente e por conhecimentos empíricos de seus fabricantes. O entendimento científico sobre estes materiais é pouco explorado na literatura e os trabalhos tendem a fazer caracterizações de produtos prontos [6, 8], comparações com argamassas convencionais [6, 15, 16]. Ainda há lacunas de conhecimento sobre como manipular as propriedades das argamassas pela dosagem dos aditivos estabilizadores e incorporadores de ar. Para isto, este trabalho se propõe a contribuir com o en-

tendimento destas variáveis. Adicionalmente, busca-se uma correlação entre as propriedades no estado fresco, destacando-se o uso do Squeeze Flow, e o desempenho no estado endurecido das argamassas. Nesta pesquisa propõe-se que as análises sejam procedidas até 48 horas, prática de canteiro de obras no uso deste material.

Na última década houveram avanços significativos, sobretudo sobre o entendimento dos efeitos dos aditivos incorporadores de ar [7, 9, 16], porém os efeitos do aditivo estabilizador ainda carecem de atenção [17, 18]. Ao propor o estudo combinado dos aditivos, pretende-se contribuir com a comunidade técnica e científica no entendimento da interação e limitações do uso destes aditivos conjuntamente.

Sabendo-se da importância da durabilidade das argamassas de revestimento no âmbito das construções e da interferência dos aditivos, tanto no teor de vazios da argamassa quanto na hidratação do cimento, torna-se essencial o entendimento da interação entre os diferentes aditivos e seus efeitos sobre as argamassas buscando dosagens que irão atender os requisitos mínimos e proporcionar qualidade às construções. Nesse contexto, esse estudo busca analisar a influência combinada de aditivos incorporadores de ar e estabilizadores nas propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do programa experimental foi utilizado um traço fixo de argamassa na proporção de 1:5,6:1,08 (cimento: areia: fator água/cimento), variando-se o teor dos aditivos incorporador de ar (AI) e estabilizador de hidratação (AE). Esse traço foi obtido de uma argamassa comercial junto a uma empresa produtora de argamassas estabilizadas. Para os aditivos foi utilizado o teor mínimo e máximo recomendado pelo fabricante e um valor intermediário, sendo os teores de aditivo incorporador de ar de 0,2%, 0,6% e 1% sobre a massa de cimento, e os teores do aditivo estabilizador de hidratação foram de 0,4%, 0,95% e 1,5%. As nove formulações utilizadas estão descritas na Tabela 1:

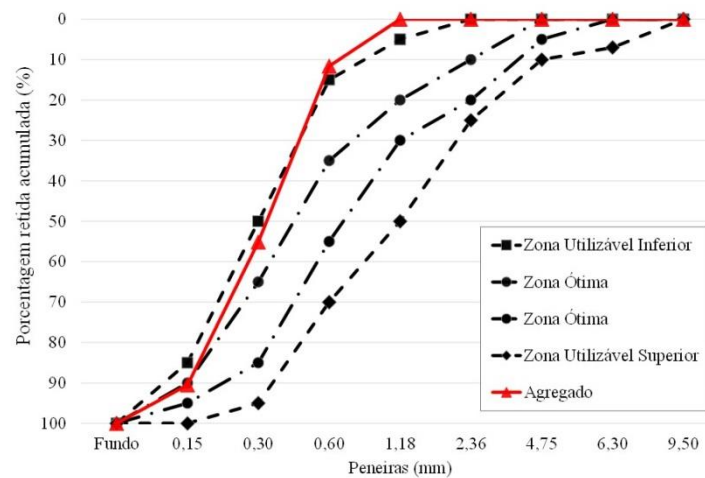
Tabela 1: Formulações, em massa, das argamassas com indicação dos teores de aditivo recomendados pelo fabricante.

	INCORPORADOR DE AR	ESTABILIZADOR	PROPORÇÕES EM MASSA cimento: areia: fator água/cimento: AI : AE
Formulação A	Mínimo	Mínimo	1 : 5,6 : 1,08 : 0,2% : 0,4%
Formulação B	Médio	Médio	1 : 5,6 : 1,08 : 0,6% : 0,95%
Formulação C	Máximo	Máximo	1 : 5,6 : 1,08 : 1,0% : 1,5%
Formulação D	Mínimo	Médio	1 : 5,6 : 1,08 : 0,2% : 0,95%
Formulação E	Mínimo	Máximo	1 : 5,6 : 1,08 : 0,2% : 1,5%
Formulação F	Médio	Mínimo	1 : 5,6 : 1,08 : 0,6% : 0,4%
Formulação G	Médio	Máximo	1 : 5,6 : 1,08 : 0,6% : 1,5%
Formulação H	Máximo	Mínimo	1 : 5,6 : 1,08 : 1,0% : 0,4%
Formulação I	Máximo	Médio	1 : 5,6 : 1,08 : 1,0% : 0,95%

Para a produção das argamassas, utilizou-se cimento do tipo CP II-F-32 e suas características estão descritas na Tabela 2. O agregado miúdo utilizado é uma areia natural de leito de rio de origem quartzosa. Sua dimensão máxima característica é 1,18 mm, módulo de finura de 1,57 e porcentual de material pulverulento de 1,62%, sendo a distribuição granulométrica apresentada na Figura 2. O material está compreendido na zona utilizável inferior [19]. O aditivo incorporador de ar e o aditivo estabilizador de hidratação utilizados foram da fabricante MATCHEM.

Tabela 2: Características do cimento CP II-F-32.

PROPRIEDADES QUÍMICAS											
Média 10/10	Al ₂ SO ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P. Fogo	CaO L.	R. Ins.	Eq. Alc.	
	4,38	18,65	2,8	60,68	4,77	2,74	4,79	1,08	1,15	0,68	
PROPRIEDADES FÍSICAS											
Média 10/10	Exp. Quente (mm)	Tempo de pega (h:min)		Cons. Normal (%)	Blaine (cm ² /g)	#200 (%)	#325 (%)	Resistência à compressão			
		Início	Final					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
	0,55	03:18	04:03	27	3223	2,23	12,29	15,2	30,1	34,9	42,3


Figura 2: Curva granulométrica do agregado miúdo.

As argamassas foram caracterizadas nas idades de 0, 24 e 48 horas, sendo estas referente ao período em horas após a mistura dos componentes secos com a água, utilizando-se argamassadeira. Após a mistura inicial, as argamassas foram acondicionadas em recipientes plásticos e cobertas com filme plástico fino em temperatura de 22 ± 2 °C. Nesta pesquisa não foi utilizado a prática de canteiro de obras da adição de película de água sobre a argamassa para que o efeito exclusivo dos aditivos fosse avaliado. Esta decisão também deve-se aos volumes de argamassa produzidas, onde a presença desta quantidade de água adicional poderia alterar as relações água/ cimento durante os processos de remistura. Em cada idade de caracterização, as amostras foram misturadas novamente em argamassadeira conforme [20].

Para caracterização das propriedades físicas da argamassa, foram realizados ensaios no estado fresco: índice de consistência [21], densidade de massa e teor de ar incorporado [22] e squeeze-flow [23]; no estado endurecido: resistência à tração na flexão e à compressão [24] e resistência de aderência à tração [25].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 estão apresentados os resultados de espalhamento obtidos pelo ensaio de *Flow Table*, nos tempos de 0, 24 e 48 horas. Definiu-se como 200 mm o valor mínimo de consistência para a argamassa ser considerada trabalhável com possibilidades de utilização como argamassa para executar um emboço em revestimentos.

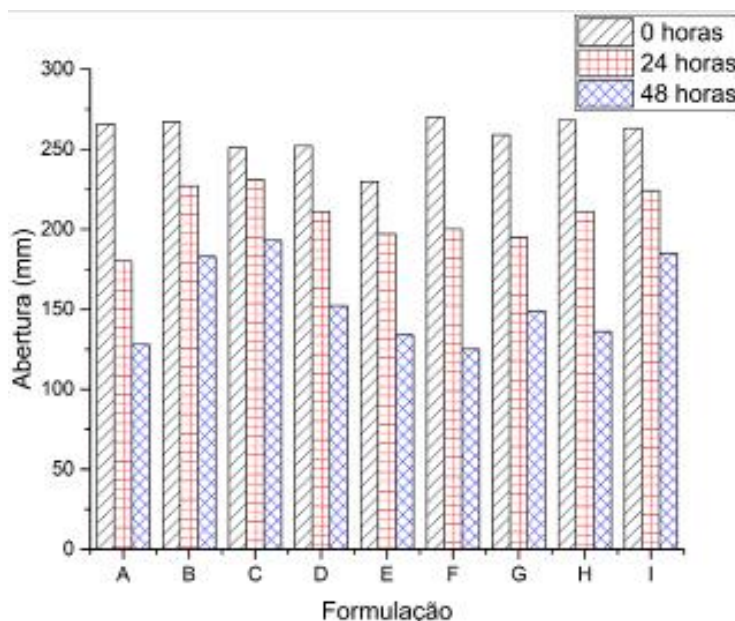


Figura 3: Leituras das aberturas obtidas no ensaio de *Flow Table*.

Pode-se observar que ocorreu uma redução considerável nos índices de consistência das argamassas com o passar do tempo, sendo que nenhuma se manteve acima do limite de 200 mm de abertura após 48h. Pela Tabela 3 é possível observar os valores obtidos de índice de consistência e a comparação de redução para cada idade em porcentagem, sendo que as menores reduções foram marcadas em verde e as maiores em vermelho.

Tabela 3: Valores de índice de consistência para cada idade e as respectivas comparações em porcentagem.

	INCORPORADOR	ESTABILIZADOR	0 H	24 H	48 H	0-24 H	0-48 H	24-48 H
Formulação A	Mínimo	Mínimo	266	180	128	-32,3%	-51,9%	-28,9%
Formulação B	Médio	Médio	267	227	183	-15,0%	-31,5%	-19,4%
Formulação C	Máximo	Máximo	251	231	193	-8,0%	-23,1%	-16,5%
Formulação D	Mínimo	Médio	252	211	152	-16,3%	-39,7%	-28,0%
Formulação E	Mínimo	Máximo	230	197	134	-14,3%	-41,7%	-32,0%
Formulação F	Médio	Mínimo	270	200	125	-25,9%	-53,7%	-37,5%
Formulação G	Médio	Máximo	259	195	149	-24,7%	-42,5%	-23,6%
Formulação H	Máximo	Mínimo	268	211	136	-21,3%	-49,3%	-35,5%
Formulação I	Máximo	Médio	263	224	185	-14,8%	-29,7%	-17,4%

A Formulação A apresentou reduções significativas de abertura, provavelmente devido ao fato de ter os teores mínimos de aditivos, sendo possível observar seu aspecto seco após 48 horas pela Figura 4. A Formulação C, com maior teor de ambos os aditivos, foi o qual manteve o espalhamento nas três idades. Percebe-se pelas formulações A, B e C que a melhor forma de aumentar o abatimento nas últimas idades é aumentando simultaneamente a quantidade de ambos os aditivos, demonstrando a sinergia destes na formulação de argamassas estabilizadas.



Figura 4: Perda de consistência apresentada pelo Formulação A.

Observando os demais traços, percebe-se que os quais têm teores mínimos de aditivo estabilizante foram os que tiveram maiores abatimentos na primeira idade e menores abatimentos na última idade para um mesmo teor de aditivo incorporador de ar, porém nem sempre os valores máximos de aditivo estabilizante apresentaram abatimentos maiores, demonstrando que, provavelmente, o teor mínimo de aditivo estabilizante não consegue retardar a pega por 48 horas. [16] perceberam um comportamento divergente, onde o aumento de aditivo estabilizador de hidratação aumentou o índice de consistência da argamassa estudada e a tornou mais trabalhável, onde a argamassa estabilizada com maior percentual de aditivo estabilizante apresentou maior índice de consistência. Essa diferença pode ter ocorrido por diferença de composição dos aditivos utilizados, ou pela dosagem do traço. Outra contribuição possível é o efeito secundário de incorporação de ar que o aditivo estabilizador de pega pode apresentar, conforme discutido por [9]. Traços com mesmo teor de aditivo estabilizante apresentaram maior abatimento na última idade quanto maior era o teor de aditivo incorporador de ar, indicando que a argamassa consegue manter o ar incorporado por mais tempo com o aumento do teor desse aditivo. Na Figura 5 estão apresentados os resultados do ensaio de densidade de massa para os tempos de 0 e 48 horas.

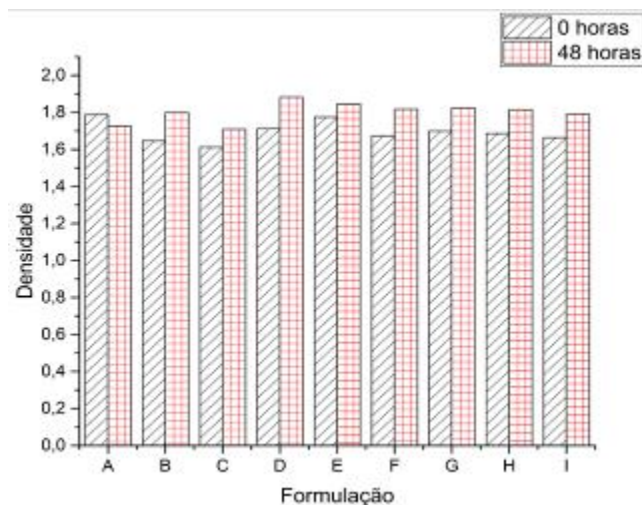


Figura 5: Resultados obtidos no ensaio de densidade de massa.

A formulação A apresentou densidade de massa menor no tempo de 48 horas, demonstrando um comportamento atípico. Isso ocorreu devido à dificuldade de adensar a argamassa no momento do ensaio, pois a argamassa estava com consistência seca, provavelmente devido ao menor teor de aditivos. O Formulação C, com teor máximo de ambos os aditivos, foi o qual apresentou menor densidade de massa nas duas idades. Segundo [12], argamassas comumente apresentam densidade de massa no estado fresco entre 1,4 e 2,3 g/cm³, portanto todas as argamassas, considerando apenas este quesito, apresentaram-se em conformidade para o uso em aplicações convencionais.

As três formulações com o mínimo teor de aditivo incorporador de ar (A, D e E) foram os quais apresentaram maior densidade de massa em ambas as idades, desconsiderando a Formulação A em 48 horas, porém os traços com máximo teor de aditivo incorporador de ar nem sempre apresentam as menores densidades na idade de 0 horas, pois a quantidade de aditivo está mais ligada com o tempo de estabilização das bolhas do

que com a quantidade de bolhas de ar. Na idade de 48 horas, desconsiderando o Formulação A, o aumento de incorporador de ar resulta em diminuição da densidade de massa, indicando que aumenta o tempo de estabilização das bolhas de ar no interior da argamassa. Na Figura 6 é possível observar os valores de teor de ar incorporado nas argamassas no tempo de 0, 24 e 48 horas.

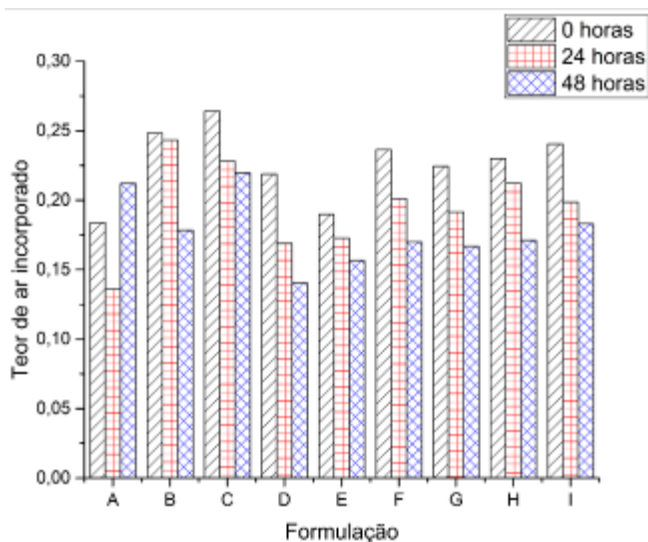


Figura 6: Resultados obtidos no ensaio de teor de ar incorporado.

Como pode-se observar, a maioria das argamassas apresentou diminuição de teor de ar incorporado com o tempo. A Formulação A, com os menores teores de aditivos, apresentou variações nos resultados para o ensaio de teor de ar incorporado provavelmente pela sua trabalhabilidade comprometida, conforme verificado pelo baixo abatimento apresentado no ensaio de *Flow table* e pela Figura 7. Por outro lado, a Formulação C, com os maiores teores de aditivo, foi o qual apresentou maior quantidade de ar incorporado para todas as idades. É possível perceber que para um mesmo teor de aditivo estabilizante, o aumento de aditivo incorporador de ar resulta em um aumento no teor de ar incorporado na última idade, porém isso nem sempre acontece para as idades de 0 e 24 horas, ou seja, quanto mais aditivo, por mais tempo as bolhas de ar se mantêm estáveis dentro da argamassa, como também foi observado no ensaio de densidade de massa. Pelo gráfico da Figura 8 é possível observar a correlação entre o teor de ar incorporado e a densidade de massa, o ajuste da curva é perfeito para 0 horas e 48 horas.



Figura 7: Perda de trabalhabilidade do Formulação A com teores reduzidos de ar incorporado ao final das 48 horas.

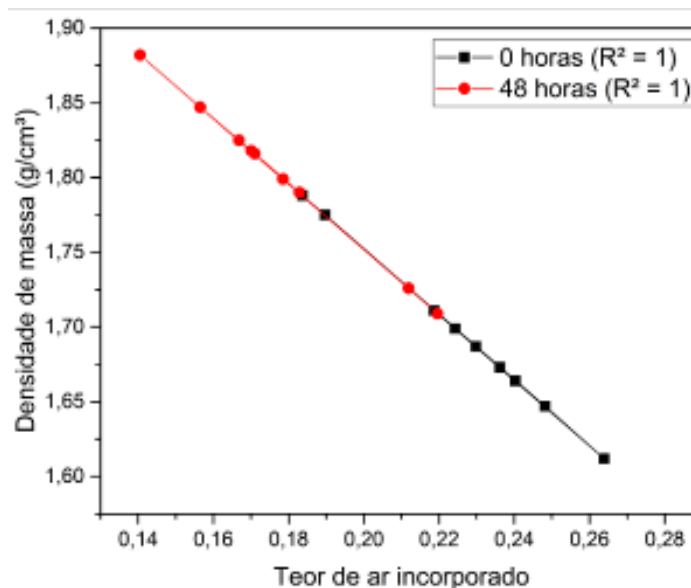


Figura 8: Correlação entre teor de ar incorporado e densidade de massa.

Os teores de ar incorporados em argamassas convencionais são menores do que aqueles identificados em argamassa que contenham aditivos incorporados de ar. Neste artigo, todas as argamassas contêm ao menos 0,2% de aditivo incorporador de ar, justificando-se assim os teores elevados encontrados na pesquisa. [16] observaram que argamassas estabilizadas, com aditivo estabilizador e aditivo incorporador de ar, apresentam maiores teores de ar incorporado e menor densidade de massa que as argamassas convencionais. Naquele estudo [16], os autores dosaram uma argamassa de referência com 12% de ar incorporado, enquanto as argamassas estabilizadas variaram de 22 a 29%. Em relação a densidade de massa, a da convencional é 1728 Kg/m³ e das estabilizadas variaram de 1647 até 1520 Kg/m³, mostrando a eficiência desse aditivo na incorporação de ar e diminuição da densidade da argamassa mesmo em combinação com o aditivo estabilizador. A magnitude dos resultados encontrados nesta pesquisa está similar a outros trabalhos encontrados na literatura [7, 9, 17]. Segundo [9, 15], o aditivo estabilizador de pega não influencia no teor de ar incorporado e reduz as propriedades mecânicas quando utilizado isoladamente, porém quando utilizado em conjunto com o aditivo incorporador de ar, ele potencializa a incorporação de ar, reduzindo o teor de água e melhorando as propriedades mecânicas.

A caracterização reológica das argamassas foi procedida ainda pelo método do *Squeeze flow*, pelo qual obteve-se gráficos que permitem analisar a força necessária para realizar deformações na argamassa fresca. Nas Figura 9 e Figura 10, estão apresentados os gráficos de *Squeeze-flow* para as idades de 0 e 48 horas.

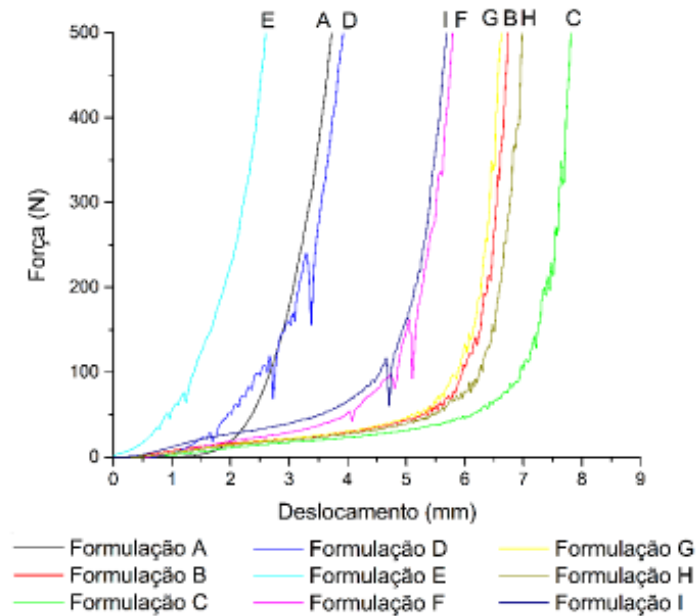


Figura 9: *Squeeze-flow* para idade de 0 horas (carga lenta).

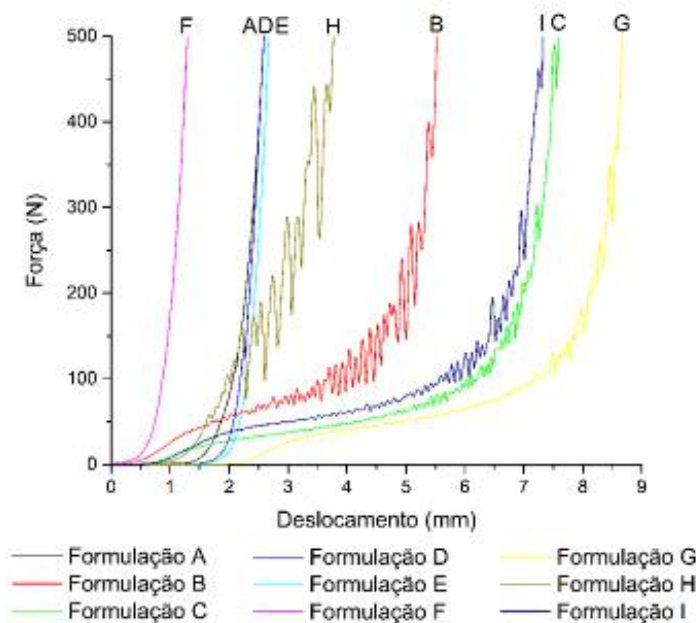


Figura 10: *Squeeze-flow* para idade de 48 horas (carga lenta).

Pela Figura 9 é possível perceber a influência dos aditivos na idade de 0 horas no carregamento lento. A Formulação C, com teor máximo de ambos os aditivos, apresentou as maiores deformação para os menores carregamentos, indicando a facilidade de moldar e trabalhar essa argamassa. Os efeitos de alterações nas tensões de escoamento pelo efeito do incorporador de ar foram relatadas por [9]. As duas formulações com maiores deformações possuíam o máximo de aditivo incorporador de ar (C e H), e as três formulações com menores deformações apresentavam o mínimo desse aditivo (formulações A, D e E), mostrando a eficiência do aditivo em tornar a argamassa mais trabalhável pela introdução de pequenas bolhas de ar. Comparando os gráficos das Figura 9 e Figura 10 é possível perceber que a argamassa de Formulação C conseguiu se manter trabalhável após 48 horas. No entanto, a Formulação H apresentou deformações muito menores para carregamentos muito maiores, provavelmente, devido ao baixo teor de aditivo estabilizante, a argamassa já estivesse em processo de hidratação no momento do ensaio. Esse fato também pode ser percebido pelas formulações A e F, os quais tiveram reduções significativas de deformação.

Percebe-se que as formulações com menor teor de aditivo estabilizante apresentaram perda de defor-

mação na idade de 48 horas, confirmando a influência desse aditivo na trabalhabilidade em idades mais avançadas. As formulações A, D e E também apresentaram perda de trabalhabilidade, provavelmente o teor mínimo de aditivo incorporador de ar não é suficiente para manter as bolhas de ar estáveis por 48 horas. As formulações G e I conseguiram manter suas trabalhabilidades pelo período de 48 horas, período de tempo estudado, e a Formulação C teve um aumento de deformação. [17, 18] analisaram o tempo de início de pega de argamassas por diferentes metodologias e verificam que o aumento da quantidade de aditivo estabilizador de hidratação aumentou o tempo para o início da pega. Como comentado, algumas argamassas podem ter tido sua trabalhabilidade prejudicada nas últimas idades pelo baixo teor de aditivo estabilizante, fazendo com que a pega já tivesse se iniciado no momento do ensaio.

Os aditivos estabilizadores de pega e incorporadores de ar tendem a alterar propriedades no estado fresco permitindo a manipulação do material durante muitas horas. No entanto, influenciam também nos resultados de estado endurecido das argamassas. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão estão apresentados na Figura 11. Comparando-se os traços com idade de 0 horas, percebe-se que quanto maior o teor de aditivo incorporador de ar, menor é a resistência à compressão, para um mesmo teor de aditivo estabilizante, devido ao fato de o aditivo aumentar os vazios da argamassa. Na idade de 48 horas foi possível perceber a mesma relação, com exceção dos traços com máximo teor de estabilizante, os quais apresentaram resistência maior com teor médio de aditivo incorporador de ar.

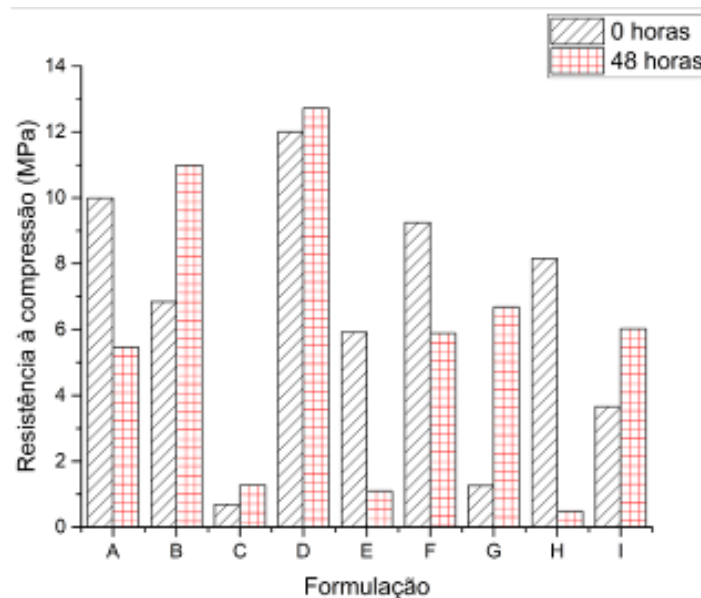


Figura 11: Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Para a idade de 48 horas, comparando-se os traços com mesmo teor de incorporador de ar, com exceção do Formulação A, os traços com mínimo teor de aditivo estabilizante apresentaram as menores resistências à compressão, possivelmente pela pega ter começado antes da moldagem dos corpos de prova. Observou-se, também, que os teores médios de aditivo estabilizante apresentaram as maiores resistências à compressão, pois o teor máximo de aditivo estabilizante prejudica os processos de hidratação do cimento, efeito também observado por [9, 16], que demonstraram que argamassas estabilizadas apresentam diminuição da resistência à compressão com o aumento de aditivo estabilizador de hidratação. Quando se compara a evolução da resistência à compressão da argamassa com o tempo de estabilização, percebe-se que as argamassas com teor mínimo de aditivo estabilizador apresentam redução de resistência. Os traços com teor médio de aditivo estabilizante apresentaram aumento da resistência à compressão com o tempo de estabilização. Já os traços com teor máximo desse aditivo apresentaram resultados dispersos e baixos, comprovando o efeito negativo desse aditivo quando em excesso para essa propriedade.

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão estão apresentados na Figura 12. A Formulação C no tempo de 0 horas não apresentou resultado, pois devido à grande quantidade de ar incorporado e de aditivo estabilizante, a argamassa não apresentou resistência e se rompeu no momento da desmoldagem e transporte, indicando a fragilidade do material. A Formulação H na idade de 48 horas estava muito seca, provavelmente o teor mínimo de aditivo estabilizante não conseguiu retardar a pega por 48 horas, e não foi possível moldá-lo. Comparando-se as formulações com o mesmo teor de aditivo incorporador de ar, percebe-se

que as argamassas com o máximo teor de aditivo estabilizante apresentaram as menores resistência à tração na flexão para a idade de 0 horas, o mesmo acontece para a idade de 48 horas. Observando-se os traços com mesmo teor de aditivo estabilizante, nota-se que as argamassas com o máximo teor de aditivo incorporador de ar, possuem a menor resistência à tração na flexão para ambas as idades, resultado da maior presença de vazios.

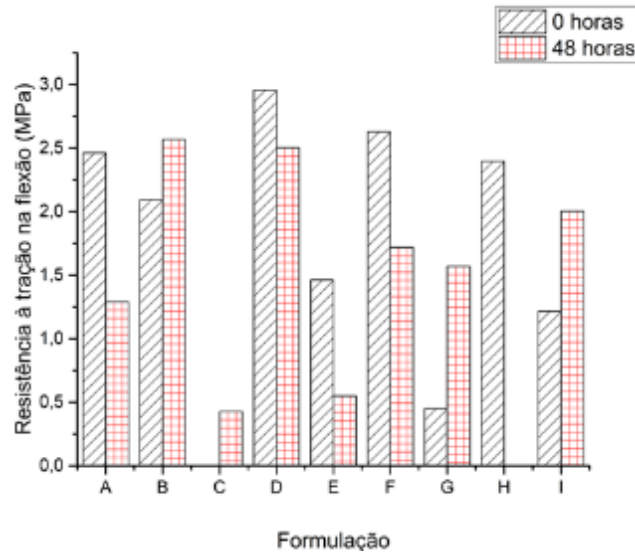


Figura 12: Resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão.

Pela Figura 13 é possível observar a correlação entre os resultados dos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão, portanto argamassa com alta resistência à compressão tendem a ter alta resistência a tração na flexão, e o inverso também é válido. [18] perceberam um aumento da resistência à compressão e à tração de argamassas com o aumento de aditivo estabilizante, principalmente quando comparado com uma argamassa convencional, porém as argamassas do presente trabalho apresentaram menor resistência para o teor máximo de estabilizante, efeito também percebido por [16, 9]. Essa diferença pode ter ocorrido devido ao teor máximo utilizado por [18] não ser caracterizado como excesso ou por ser uma argamassa sem a presença de aditivo incorporador de ar, ou ainda por diferença da composição do aditivo estabilizador de hidratação. [6] em comparativo entre argamassas estabilizadas dosadas em central e convencionais rodadas em canteiro também indicam reduções nas propriedades mecânicas em argamassas estabilizadas, porém, sem prejudicar o enquadramento normativos destas como utilizável. Isto indica que a dosagem adequada e a compatibilização entre os teores dos aditivos permitem sua aplicabilidade.

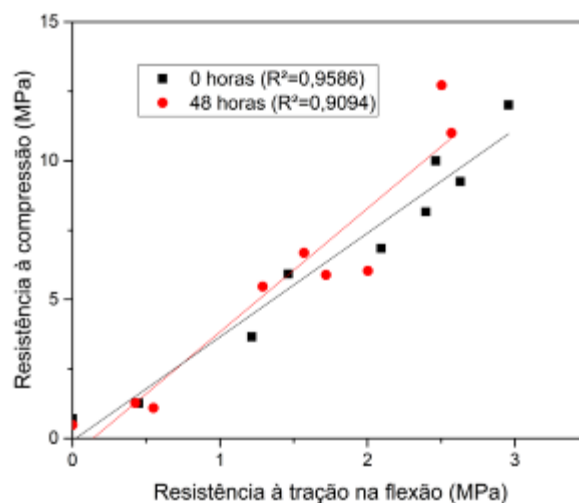


Figura 13: Correlação entre os resultados de resistência à compressão e à tração na flexão.

Os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração estão representados na Figura 14.

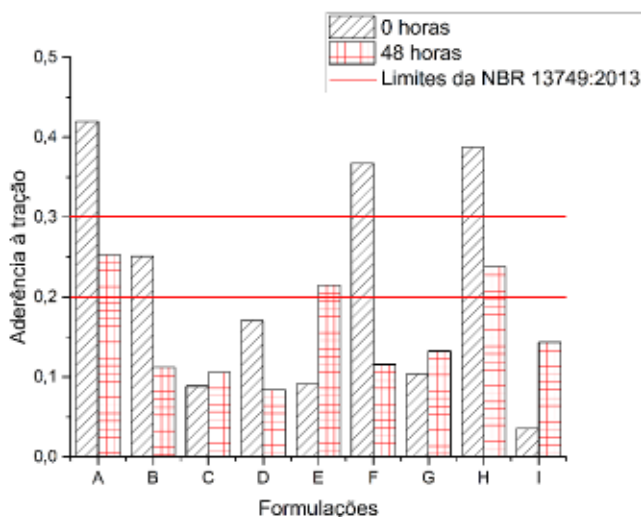


Figura 14: Resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração.

A normativa [26] estipula os valores de resistência de aderência à tração para emboço em 0,2 MPa para revestimento de teto e parede interna com acabamento em pintura ou base e 0,3 MPa para revestimento de paredes externas e internas com acabamento em cerâmica. As argamassas que superaram a resistência de 0,3 MPa têm em comum o teor mínimo de aditivo estabilizante. Porém após as 48 horas, as argamassas apresentaram redução significativa de resistência de aderência à tração, provavelmente devido à baixa trabalhabilidade em que elas se encontravam. Percebe-se que a Formulação A apresentou a maior resistência de aderência à tração para ambas as idades, indicando que o uso de aditivos é prejudicial para essa propriedade.

Analisando os tipos de rupturas que ocorreram no ensaio de aderência à tração, percebeu-se que no tempo 0, as formulações B e D apresentaram 90% das rupturas na argamassa, o que indica que a ponte de aderência entre a argamassa e o substrato estava boa, ou seja, provavelmente o problema estava na resistência da argamassa. Todas as argamassas no fim de 48 horas de estabilização apresentaram ruptura na interface argamassa/substrato, provavelmente devido a essas argamassas apresentarem consistência mais seca na moldagem, diminuindo a área de contato com o substrato e dificultando que a água garanta uma boa ponte de aderência entre a argamassa e o substrato.

Para [12], o aditivo incorporador de ar reduz a resistência de aderência à tração devido a diminuição da área de contato entre o substrato e a argamassa, porém pelos resultados obtidos pelas formulações C, H e I, as quais possuem teor máximo desse aditivo, não foi possível perceber essa influência, nem pela resistência, nem pelo tipo de ruptura. [27] analisaram o efeito de inibidores de hidratação na resistência de aderência à tração em argamassas de revestimento. Em seus experimentos, a única argamassa que obteve resultado superior ao mínimo (0,3 MPa) aos 14 dias foi a de menor tempo de estabilização (2h 30min). Na idade de 42 dias todas apresentaram valores superiores ao mínimo. Percebeu-se, em ambas as idades, uma diminuição significativa de resistência para argamassas com mais de 8h de estabilização. A redução da aderência foi atribuída ao aditivo estabilizador, pois o tempo estendido de pega compromete a cristalização e o endurecimento do C-S-H, principalmente após 8h de estabilização. [16] comparou a resistência de aderência à tração de uma argamassa estabilizada adquirida comercialmente com uma argamassa convencional de cimento e cal, percebeu-se que a argamassa estabilizada apresentava melhor qualidade, pois apresentou maior resistência e as rupturas nunca ocorriam na argamassa, diferente do que aconteceu com a tradicional. Devido a confidencialidade da dosagem das argamassas estabilizadas comerciais, dificulta comparar com os resultados obtidos por este trabalho, porém fica evidente que os traços utilizados neste trabalho foram para fins de estudos de interferência dos aditivos.

Considerando apenas as propriedades das argamassas no estado fresco, a formulação com teor máximo de ambos os aditivos, apresentou os melhores resultados de trabalhabilidade, porém no estado endurecido apresentou resultados insatisfatórios. A Formulação D apresentou a maior resistência à compressão e à tração, porém é possível perceber pelo ensaio de *Squeeze-flow* que ela não consegue manter uma boa trabalhabilidade por 48 horas. O traço com teor médio de ambos os aditivos, apresentou boa trabalhabilidade pelo *Squeeze-flow* e resistência elevada à compressão e à tração, porém não conseguiu atingir a resistência mínima de aderência na idade de 48 horas e na idade de 0 horas conseguiu atingir o limite de 0,2 MPa, podendo ser utilizada para revestimento interno de paredes e tetos com acabamento em pintura.

4. CONCLUSÕES

O programa experimental desenvolvido nesta pesquisa buscou analisar a influência combinada de aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de pega nas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas. Pelos resultados é possível perceber que ambos os aditivos interferem nessas propriedades.

No estado fresco, o aditivo estabilizador de hidratação consegue manter a argamassa trabalhável por mais tempo, como pode-se perceber pelos ensaios de Squeeze-flow. No estado endurecido, quando utilizado no teor máximo, percebeu-se perda das propriedades mecânicas, resistência à compressão, à tração, e de aderência a tração, consequência do retardo excessivo da hidratação do cimento, comprometendo a formação dos produtos de hidratação e quando usado no teor mínimo também apresentou resultados insatisfatórios, provavelmente por não ter conseguido retardar a pega pelo período de 48 horas.

O aditivo incorporador de ar teve influências positivas na trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, como pode-se perceber pelos ensaios de Flow-table e Squeeze-flow, porém apresentou resultados negativos nas propriedades mecânicas da argamassa. Portanto deve-se utilizá-lo com cuidado, para que a argamassa mantenha as propriedades exigidas para um bom desempenho.

Portanto conclui-se que para dosagem de argamassas estabilizadas deve-se buscar um teor de aditivo estabilizante que consiga retardar a pega da argamassa, mas que não prejudique a qualidade dos processos de hidratação do cimento. O aditivo incorporador de ar deve ser utilizado buscando trazer maior trabalhabilidade, porém evitando formar excessos de vazios que possam prejudicar a resistência da argamassa. Por fim, para obter argamassas estabilizadas com características adequadas tanto no estado fresco quanto endurecido, estudos de compatibilidade entre ambos os aditivos de forma a definir seus percentuais de utilização conjunta devem ser procedidos, com os materiais a serem utilizados.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais e ao Laboratório de Engenharia de Materiais da Construção Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa por fornecerem condições para a elaboração deste trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] SCHANKOSKI, R. A.; PRUDÊNCIO JR. L. R.; PILAR, R. Influência do tipo de argamassa e suas propriedades do estado fresco nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto para edifícios altos. *Revista Matéria*, v.20, n.4, pp. 1008 – 1023, 2015. Disponível em:< <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150004.0104>>. Acessado em 01 de novembro de 2021.
- [2] FUKUI, E. *et al.* Efeito do procedimento de mistura no comportamento no estado fresco de argamassas de revestimento produzida em obra e industrializada. *Revista Matéria*, v. 23, 2018. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/S1517-707620170001.0292>>. Acesso em 01 de novembro de 2021.
- [3] AMANCIO, F. A. *et al.* Estudo do comportamento no estado fresco e endurecido de argamassa com escória de aciaria BSSF. *Revista Matéria*, v.26, n.3, 2021. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13031>. Acesso em 01 de novembro de 2021.
- [4] HERRMANN, T. D. *et al.* Estudo de caso do desempenho de estanqueidade à água de argamassas e hidro-repelentes - Parte I. *Revista Matéria*, v.24, n.4, 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620190004.0841>>. Acesso em 01 de novembro de 2021.
- [5] COSTA, F. L. *et al.* Influência do uso de aditivo acelerador de resistência baseado em nitrato de cálcio no desempenho de argamassas de cimento Portland com adição de cinza volante. *Revista Matéria*, v.23, n.3, 2018. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0538>>. Acesso em 01 de novembro de 2021.
- [6] NETO, J.A.B., MELO, J. M. R., “Estudo comparativo entre argamassa estabilizada e argamassa convencional para revestimento”, *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 6, pp. 4948-4967, jun. 2019. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/1688/1614>>. Acessado em 18 de junho de 2021.
- [7] ANTONIAZZI, J. P., MOHAMAD, G., CASALI, J. M., SCHMIDT, R. P. B., “Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura.” *Ambiente construído*, v. 20, n. 3, pp. 285-304, Jul 2020a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000300285&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 08 de novembro de 2020.

- [8] BAUER, E., REGUFFE, M., NASCIMENTO, M. L. M., CALDAS, L. R., “Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento.” *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Porto Alegre, maio 2015. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/485-requisitos-das-argamassas-estabilizadas-para-revestimento>>. Acessado em 18 de junho de 2021.
- [9] ANTONIAZZI, J. P., MOHAMAD, G., CASALI, J. M., *et al.*, “Ação dos aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar em pastas de cimento Portland”, *Ambiente Construído*, v. 20, n. 3, pp. 249-262, jul./set. 2020b. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/Shk4WMzdWBKdYLnJxBR5ds/?lang=pt&format=pdf>>. Acessado em 18 de junho de 2021.
- [10] HARTMANN, C. *Aditivos químicos para concretos e cimentos*. In ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: ciência e tecnologia*. São Paulo: IBRACON. v. 1, pp. 347-380, Cap. 10, 2011.
- [11] MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3. Ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [12] CARASEK, H., “Argamassas” In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*, 3 ed, Cap. 26, São Paulo, IBRACON, 2007.
- [13] PAOLINI, M., KHURANA R., “Admixtures for Recycling of Waste Concrete.” In: *Cement and Concrete Composites*, v. 20, Elsevier Science Ltd, pp. 221-229, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946597000668>>. Acessado em 18 de junho de 2021.
- [14] GARCIA, J. R., OLIVEIRA, I. R., PANDOLFELLI, V. C., “Processo de hidratação e os mecanismos de atuação dos aditivos aceleradores e retardadores de pega do cimento de aluminato de cálcio.” *Cerâmica*, v. 53, n. 325, pp. 42-56, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/YcDgBr9rPgQNJkbj5QJ77pr/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em 18 de junho de 2021.
- [15] BAUER, E., OLIVEIRA, V. C., “Comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas de revestimentos.” In: *XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, set. 2017. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/638-argamassas-estabilizadas-comportamentos-formulacoes-issn-2446-6824>>. Acessado em 18 de junho de 2021.
- [16] SCHACKOW, A., FERRARI, A. K., EFFTING, C., *et al.*, “Stabilized mortar with air incorporator agent and plasticizer set retarder: performance measurement.”, *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 12, n. 6, pp. 1248-1259, Dec. 2019. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-41952019000601248&lng=en&nrm=iso>. access on 03 July 2020.
- [17] ANTONIAZZI, J. P., MOHAMAD, G., CASALI, J. M., “Influence of cement type, air-entrained admixture and hydration stabilizing admixture on mortars’ setting time”, *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 14, n. 1, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/riem/a/jBzN5zvwwTVkvRxgTSrSjGB/?format=pdf&lang=en>>. Acessado em 18 de junho de 2021.
- [18] CAMPOS, G. M., CASALI, J. M., MACIOSKI, G., “Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação.”, In: *Anais do 55º Congresso Brasileiro de Concreto CBC2013*, Gramado, RS, out/2013.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*, Rio de Janeiro, 2019.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios*, Rio de Janeiro, 2016.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência*, Rio de Janeiro, 2016.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado*, Rio de Janeiro, 2005.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15839: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Caracterização reológica pelo método Squeeze Flow*, Rio de Janeiro, 2010.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*, Rio de Janeiro, 2005.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração*, Rio de Janeiro, 2010.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação*, Rio de Janeiro, 2013.

[27] BARCELOS, A. S., PELISSER, F., “Efeito de inibidores de hidratação na resistência de aderência à tração em argamassas de revestimento”, *Tecnologia e Ambiente*, v. 15, 2013. Disponível em: <<http://periodicos.unesc.net/tecnoambiente/article/view/1164>>. Acesso em: 31 maio 2020.

ORCID

Felipe Hartman Polli <https://orcid.org/0000-0002-3687-2172>
Erick Vinicius Fioravante <https://orcid.org/0009-0004-6177-5480>
Eduardo Pereira 0000-0001-6944-795X <https://orcid.org/0000-0001-6944-795X>
Sarah Honorato Lopes da Silva <https://orcid.org/0000-0002-8718-5970>
Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa <https://orcid.org/0000-0002-9421-7985>