



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADITIVOS HIDROFUGANTES E IMPERMEABILIZANTES EMPREGADOS EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Juliana M. Casali (1); Giovanna Patrícia Gava (2); Luiz Roberto Prudêncio Jr. (3)

(1) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

e-mail: jucasali@ig.com.br

(2) Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

e-mail: gpgava@yahoo.com.br

(3) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

e-mail: prudenciouk@hotmail.com

RESUMO

Com o advento dos blocos de concreto decorativos (blocos split) e com a busca por racionalização das construções de interesse social, tem crescido o interesse pelo uso de alvenarias aparentes (sem revestimento). Um exemplo disso são as casas GEO no México, construídas em alvenaria aparente de blocos de concreto. Nesse caso, as argamassas de assentamento empregadas devem prover estanqueidade às paredes o que é conseguido geralmente por meio do uso de aditivos. Contudo, existem poucos trabalhos, tanto nacionais quanto internacionais, que abordam o uso de aditivos hidrofugantes/impermeabilizantes para o uso em argamassas de assentamento. Diante disto, este trabalho teve como objetivo estudar o desempenho de cinco diferentes tipos de aditivos hidrofugantes/impermeabilizantes para argamassas de assentamento a fim de obter argamassas de baixa permeabilidade com resistência e trabalhabilidade ideais para serem aplicadas em alvenarias estanques. Foram analisados os comportamentos dos aditivos hidrofugantes/impermeabilizantes tanto em argamassas de cimento (cimento e areia) quanto em argamassas mistas (cimento, cal e areia). Foram avaliadas as propriedades do estado fresco como trabalhabilidade, consistência, retenção de água, massa específica e teor de ar incorporado. No estado endurecido, foram verificados os desempenhos na resistência à compressão, resistência à tração por flexão, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade. Os resultados demonstraram diminuição da absorção de água por capilaridade nas argamassas contendo aditivos hidrofugantes/impermeabilizantes indicando um grande potencial de uso desses aditivos em argamassas de assentamento com baixa permeabilidade e resistência e trabalhabilidade adequadas.

Palavras-chave: argamassa de assentamento, aditivos hidrofugantes, aditivos impermeabilizantes, alvenaria estrutural, absorção de água por capilaridade.

ABSTRACT

With the advent of split blocks and with efforts to reduce the costs of social housing, interest for the use of watertight masonry walls (without rendering mortar) has grown. *GEO* houses, found in Mexico, and constructed with watertight concrete masonry walls, serve as an example. In this case, bedding mortar must provide watertightness to the walls and it is generally obtained using admixtures. However, only a small number of technical publications provide information on the use of dampproofing and waterproofing admixtures in bedding mortars for structural masonry. The objective of this research was to study the performance of five different types of admixtures for bedding mortars to obtain low permeability, as well as ideal strength and workability for watertight masonry walls. The admixtures were tested in both cement, and cement-lime based mortars, even though certain manufacturers indicate that a specific type of admixture should be used for each type of mortar. The

properties evaluated in the plastic state were: workability, consistency, water retention, specific gravity and entrained-air content. In hardened state, the compressive and tensile strength, the modulus of elasticity and capillary water absorption were evaluated. Results have shown a reduction in capillary water absorption in mortars with admixtures, indicating strong potential for the use of these admixtures in bedding mortars with low permeability and suitable strength and workability.

Keywords: bedding mortar, damp-proofing and water-proofing admixtures, structural masonry, capillarity water absorption.

1 INTRODUÇÃO

A sociedade brasileira tem buscado incessantemente soluções para amenizar o grave problema da carência de habitações para grande parte de sua população com menos privilégios. Dentre as várias alternativas tecnológicas, uma das técnicas construtivas que parece promissora é a alvenaria estrutural aparente de blocos de concreto, onde os blocos e a argamassa de assentamento apresentam baixa permeabilidade, conferindo-lhe estanqueidade. Para isso, é necessário adicionar, tanto aos blocos quanto à argamassa de assentamento, aditivos hidrofugantes ou impermeabilizantes.

Os aditivos hidrofugantes têm a função de reduzir a taxa de penetração de água por absorção capilar, porém não previnem a penetração de água. Com o uso desses aditivos não se deve ter a expectativa de obter-se um efetivo sistema de barreira de umidade no concreto ou na argamassa. Esses aditivos são usados para tornar o concreto ou a argamassa hidrófoba e, consequentemente, capaz de repelir água que não está sob pressão hidrostática (ACI 212.3R-91). Assim, esses concretos e argamassas permitem a entrada e saída de vapor de água.

Já os aditivos impermeabilizantes reduzem a penetração de umidade sob pressão (permeabilidade) e de elementos agressivos presentes em solução aquosa (REPETTE, 2003). Esses aditivos são comumente usados em caixas d'água e reservatórios.

Os aditivos hidrofugantes podem ser compostos por sabões de cálcio ou amônio estearato ou oleato, butil estearato ou derivados do petróleo. Os aditivos impermeabilizantes são à base de polímeros de metil-celulose e ácidos graxos (REPETTE, 2003).

Os aditivos descritos como hidrofugantes podem ter um efeito secundário nas propriedades do estado fresco do concreto que pode não estar ligado diretamente com a sua classificação. Por exemplo, estes aditivos podem promover a incorporação de ar, e se este efeito for mais pronunciado, podem ser considerados aditivos incorporadores de ar (ACI 212.3R-91).

O mecanismo de atuação dos aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes pode ser explicado em duas etapas. Primeiramente, o aditivo hidrofugante reage com o cimento e modifica a superfície dos produtos hidratados. Em seguida existem duas formas de atuação: a formação de um filme (película) na superfície do capilar ou a dispersão na superfície como finas partículas repelentes no cimento hidratado na composição geral (REPETTE, 2003).

Um aditivo repelente de água à base de poli-acril-amida foi estudado em conjunto com um aditivo plastificante à base de naftaleno formaldeído sulfonato obtendo bons resultados: argamassas com resistência à penetração de água e boa trabalhabilidade (LU, ZHOU e ZHANG, 2004). Os autores verificaram que a maioria dos poros na argamassa são fechados e totalmente selados por um filme. Esse filme foi também verificado na argamassa com polímero à base de carboximetil celulose de sódio, porém não foi constatada evidência de interação química do polímero com o cimento (LU e ZHOU, 2000). Segundo os autores, os poros maiores tornam-se pequenos ou muito pequenos, e poros contínuos tornam-se pequenos e isolados. Assim, o volume total de poros das argamassas com os aditivos foi reduzido e apresentava-se menor do que o volume de poros da argamassa convencional (LU, ZHOU e ZHANG, 2004).

Apesar dos diversos estudos referentes à utilização de aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes, a maioria dos trabalhos experimentais utilizaram relações água/cimento inferiores a 0,67 (LU, ZHOU e ZHANG, 2004; LU e ZHOU, 2000; SAIJA, 1995). No caso de argamassas de assentamento, objeto de estudo deste trabalho, para que apresentem uma boa trabalhabilidade, a relação água/cimento deve variar em torno de 1,2 a 1,6 (CASALI, 2003), sendo então necessários estudos do emprego destes aditivos em argamassas com estas características. Além disso, os traços utilizados pelos diversos autores são variados e não há exemplos de utilização destes aditivos em argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a influência do emprego de diferentes tipos de aditivos hidrofugantes ou impermeabilizantes nas propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas de assentamento.

2 MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para atender o objetivo proposto neste trabalho, foram empregados cinco diferentes tipos de aditivos hidrofugantes ou impermeabilizante em dois tipos de argamassas: argamassas de cimento e argamassas mistas de cal e cimento. Foram avaliadas as propriedades: consistência, trabalhabilidade, plasticidade, retenção de água, massa específica e teor de ar incorporado, absorção de água por capilaridade, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade.

2.1 Materiais Empregados

Em todas as argamassas confeccionadas, foi empregado o Cimento Portland Composto com Filler (CP II - F - 32). Nas argamassas mistas, foi utilizada cal hidratada do tipo CH III. As características químicas e físicas do cimento e da cal empregados são apresentadas nas Tabelas 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Características químicas e físicas do CP II - F – 32.

Análise física		Análise química		Análise mecânica	
Ensaio	Teor	Ensaio	Teor (%)	Idade (dias)	Resistência (MPa)
# 0,075mm (%)	3,40	Perda fogo	5,58	1	12,9
# 0,045mm (%)	12,30	Resíduo insolúvel	1,25	3	23,7
Água da pasta de consistência normal (%)	26,10	SiO ₂	17,78	7	29,8
Massa específica (g/cm ³)	3,09	Al ₂ O ₃	4,20	28	39,1
Blaine (cm ² /g)	3280	Fe ₂ O ₃	2,74		
Início pega (h:min)	3:05	CaO	60,58		
Fim pega (h:min)	3:45	MgO	4,69		
Expansibilidade à quente (mm)	0,50	SO ₃	3,15		

Tabela 2 - Características químicas e físicas da cal CH III

Componente	Teor (%)
CaO	37,87
MgO	25,49
Perda ao fogo (incluindo H ₂ O e CO ₂)	26,55
Resíduo insolúvel	8,97
Massa unitária (g/cm ³)	0,68
Massa específica (g/cm ³)	2,46

O agregado miúdo empregado na confecção das argamassas foi uma mistura de 90% de uma areia média e 10% de uma areia fina. Esta mistura foi utilizada, pois era a que apresentava melhor enquadramento nos limites recomendados pela BS 1200: 1976. As características dos agregados utilizados estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características da areia.

Abertura das peneiras (mm)	% Retida Acumulada	
	Areia Média	Areia Fina
6,3	0,02	0
4,8	0,38	0
2,4	7,38	0
1,2	28,10	0
0,6	58,96	0,015
0,3	80,98	7,77
0,15	92,87	96,04
Fundo	100,00	100,00
Diâmetro máximo característico (mm)	4,8	0,6
Diâmetro mínimo característico (mm)	< 0,15	0,15
Módulo de Finura	2,69	1,04
Massa Específica (kg/dm ³)	2,65	2,65
Massa unitária (kg/dm ³)	1,57	1,65
Material Pulverulento (%)	2,35	0,14

Os aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes empregados possuíam composições químicas e fabricantes distintos e foram fornecidos pelos fabricantes. Na Tabela 4 são apresentadas as características dos cinco aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes empregados.

Tabela 4 - Características dos aditivos empregados.

Nome do Aditivo	S	M	R	V	K
Composição Química	Sais do sódio e cargas minerais	Sal de Sódio e Hidróxido de sódio	Sal de ácido esteárico e cargas	Sais metálicos e silicato	Solução aquosa de silicatos coloidais
Densidade (g/cm ³)	1,67	1,010 a 1,050	*	1,01 ± 0,01 g/m	1,00-1,10
Estado Físico	Pó	Líquido	Pó	Líquido a pastoso	Líquido
Cor	Bege	Amarela	Branca	Branca	Amarelo
Teor de Sólidos (%)	-	8 a 9	-	10±1	*
Viscosidade	-	70 a 90 cps	-	*	*
pH	-	9 a 10	-	11 ± 1	8,5-11,5
Dosagem recomendada pelo fabricante (%**)	2%	2%	2% o	4%	4%

*não informada pelo fabricante. **em relação à massa de cimento.

2.2 Procedimento Experimental

O traço da argamassa mista e da argamassa de cimento empregadas foram de 1:1:5 (cimento: cal: areia) e 1:5 (cimento: areia), em volume, respectivamente. A escolha do traço da argamassa mista está baseada no seu uso corriqueiro em obras de alvenaria no país e por também estar preconizado pela norma britânica BS 5628 – Parte 1: 1992. Já para as argamassas de cimento, este traço foi optado para avaliar o efeito dos aditivos sem a presença da cal hidratada.

O critério para a definição da quantidade de água de cada tipo de argamassa foi o de manter a sua trabalhabilidade constante. Conseqüentemente, a quantidade de água foi variável para cada mistura.

Para as argamassas mistas, no dia anterior à produção, foi feita a maturação da cal através da mistura desta com areia úmida com teor de umidade de 10%. Esta pré-mistura de cal e areia ficava em repouso em recipiente fechado até a produção da argamassa.

Para o preparo, utilizou-se um misturador mecânico de eixo vertical, com velocidade correspondente à velocidade 2 da argamassadeira preconizada pela norma NBR 7215: 1996.

Os materiais para as argamassas mistas foram colocados no misturador mecânico na seguinte ordem: primeiramente colocava-se um pouco de água, em seguida metade da pré-mistura areia e a cal, depois se colocava todo cimento e o restante da mistura de areia e cal e, por último, adicionava-se a água até atingir a trabalhabilidade ideal para o assentamento. Misturava-se cerca de 7 minutos com repouso de aproximadamente 1 minuto para raspagem do material retido nas paredes da cuba do misturador. Para argamassa de cimento o procedimento foi o mesmo, porém adicionava-se apenas areia seca ao invés da pré-mistura de areia úmida e cal.

Os aditivos em pó foram adicionados juntamente com o cimento e os aditivos líquidos foram adicionados juntamente com a água de amassamento, como recomendado pelos fabricantes. Os teores de aditivo hidrofugantes e impermeabilizantes utilizados foram os valores médios recomendados pelos fabricantes. A identificação e a quantidade de material de cada uma das misturas confeccionadas estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Identificação e quantidade de material de cada mistura.

Argamassa	Aditivo	Traço (volume)	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	H (%)	Teor de Aditivo (%)*)
C Ref	-	1:5	800	-	5488	16,43	-
C S	S		800	-	5488	15,98	2
C M	M		800	-	5488	15,40	2
C R	R		800	-	5488	16,30	2
C V	V		800	-	5488	14,71	4
C K	K		800	-	5488	15,34	4
M Ref	-	1:1:5	800	472	5488	17,45	-
M S	S		800	472	5488	16,53	2
M M	M		800	472	5488	16,67	2
M R	R		800	472	5488	16,36	2
M V	V		800	472	5488	16,68	4
M K	K		800	472	5488	16,06	4

*em relação à massa do cimento

Após a confecção das argamassas, realizavam-se os ensaios do estado fresco e moldavam-se os corpos-de-prova para os ensaios do estado endurecido.

As características e as propriedades das argamassas estudadas no estado fresco foram: trabalhabilidade (Gtec Teste, CASALI, 2003), consistência (*flow table* NBR 7215:1996), retenção de água (NBR 9287: 1986), massa específica e teor de ar incorporado (NBR 13278: 1995).

As propriedades no estado endurecido foram: resistência à compressão (NBR 7215: 1996), módulo de elasticidade, resistência à tração por flexão (ISO/DIS 679 apud BASTOS, 2001) e absorção de água por capilaridade (NBR 9779/1995) nos tempos de 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360 e 1440 minutos. Estas propriedades foram avaliadas na idade de 28 dias. Assim, todos os corpos-de-prova foram desmoldados com 24 horas e em seguida curados ao ar com temperatura de $23\pm1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm10\%$ até a data de ensaio.

O módulo de elasticidade foi determinado em corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm que tinham suas deformações longitudinais (no sentido da aplicação da carga) monitoradas. Estes mesmos corpos-de-

prova foram utilizados para a determinação da resistência à compressão. Para estes ensaios, os corpos-de-prova foram capeados com uma pasta de cimento e enxofre.

Para o ensaio de resistência à tração na flexão, utilizaram-se corpos-de-prova de 40x40x160 mm³, com vão de 80 mm em três pontos.

Para estes três ensaios, foi utilizada uma prensa, com capacidade de 10 toneladas, e a carga foi aplicada com uma velocidade de deslocamento do pistão constante de 0,5 mm/min.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Propriedades do estado fresco

Os resultados dos ensaios no estado fresco estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Propriedades das argamassas no estado fresco.

Argamassa	a/c	A/aglo	Índice de Consistência <i>flow table</i> (mm)	Retenção (%)	AI (%)	GTec Teste		
						Consistência (cm)	Golpes (n)	IP (mm/J)
C Ref	1,29	-	226,5	31,53	7,78	2,00	29	-3,64
C S	1,26	-	238,0	24,78	8,63	1,80	10	-7,27
C M	1,21	-	223,0	42,86	10,22	1,75	14	-5,00
C R	1,28	-	206,5	20,25	10,01	1,80	16	-5,00
C V	1,16	-	214,5	25,70	11,49	1,80	14	-5,71
C K	1,21	-	221,5	25,91	11,34	1,80	16	-4,71
M Ref	1,47	0,93	225,0	41,50	3,81	1,85	14	-7,27
M S	1,40	0,88	227,8	40,88	5,62	1,90	10	-5,71
M M	1,41	0,89	220,5	50,26	4,96	1,90	10	-8,89
M R	1,38	0,87	202,0	39,61	4,06	1,85	17	-4,71
M V	1,41	0,89	223,5	60,41	5,95	1,80	9	-8,89
M K	1,36	0,85	210,0	66,47	6,39	1,85	13	-5,71

Analizando os dados da Tabela 6, observa-se que a relação água/cimento é diferente para cada argamassa, pois, como mencionado na metodologia, a trabalhabilidade das argamassas foi mantida constante através do controle da quantidade de água. A relação água/cimento para as argamassas mistas foi superior aos valores encontrados para argamassas de cimento, indicando o maior consumo de água promovido pela cal ou pelo menor teor de ar incorporado observados nestas misturas.

Os valores do índice de consistência, determinado pelo ensaio de *flow table*, variaram de 202,0 a 238,0 mm. Esta dispersão nos valores de consistência comprova que este parâmetro não deve ser utilizado para avaliar a trabalhabilidade de argamassas de assentamento, como recomenda a norma NBR 8798 (1985) que preconiza o índice de consistência padrão de 230±10 mm. Resultados semelhantes a este foram encontrados no estudo feito por Casali (2003).

Diante disso, a trabalhabilidade das argamassas foi controlada pelos parâmetros obtidos no ensaio do GTec Teste, onde os limites para obter uma argamassa de assentamento trabalhável são: consistência (1,90 a 1,70 cm), número de golpes (10 a 17 golpes) e plasticidade (IP entre -4,30 a -9,00 mm/J) [10]. Apenas para a argamassa de referência de cimento não foi possível obter uma argamassa dentro dos limites estabelecidos, pois mesmo adicionando a maior quantidade de água a argamassa não apresentou trabalhabilidade adequada para o uso em obras de alvenaria estrutural. Então, esta argamassa não teria um uso prático, servindo apenas como referência para a verificação do efeito do aditivo nas argamassas de cimento.

A Figura 01 apresenta os dados obtidos do ensaio do Gtec teste relacionando a espessura do filete com a energia.

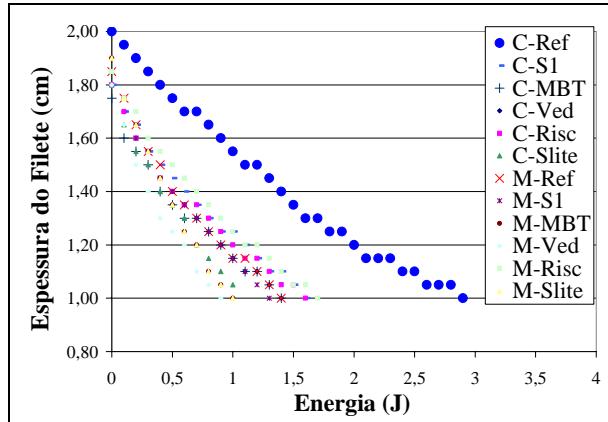


Figura 1: Espessura do filete por energia para as argamassas estudadas

Neste gráfico, observa-se a falta de trabalhabilidade da argamassa de referência de cimento. Isto se deve principalmente à necessidade de uma elevada energia, ou seja, um elevado número de golpes, para a obtenção de um filete de espessura de 1 cm, indicando a falta de plasticidade da mistura. Este resultado já era esperado, pois tal argamassa não continha nenhum componente com a característica de melhorar a trabalhabilidade, como por exemplo, cal ou aditivos incorporadores de ar.

Na Figura 1, observa-se, também, que as curvas de trabalhabilidade das demais argamassas estudadas são semelhantes e enquadram-se dentro dos limites considerados bons pelo Gtec teste para uma argamassa de assentamento. Nesta Figura, é possível verificar o efeito dos aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes na trabalhabilidade das argamassas de cimento. Enquanto que a argamassa de referência de cimento não apresentou uma boa trabalhabilidade, as demais argamassas de cimento com os aditivos apresentaram trabalhabilidade semelhante às das argamassas mistas.

Analizando os dados de retenção de água apresentados na Tabela 6, é possível verificar que todas as argamassas mistas apresentaram retenção de água superior às das argamassas de cimento. Em alguns casos, este aumento na retenção de água foi de até 2,5 vezes, como por exemplo, para a argamassa M K que apresentou o valor de 66,47% para esta propriedade e a argamassa C K o valor de apenas 25,91%. Isto pode ser observado também na Figura 02 onde são apresentados a retenção de água e o teor de ar incorporado para todas as argamassas estudadas.

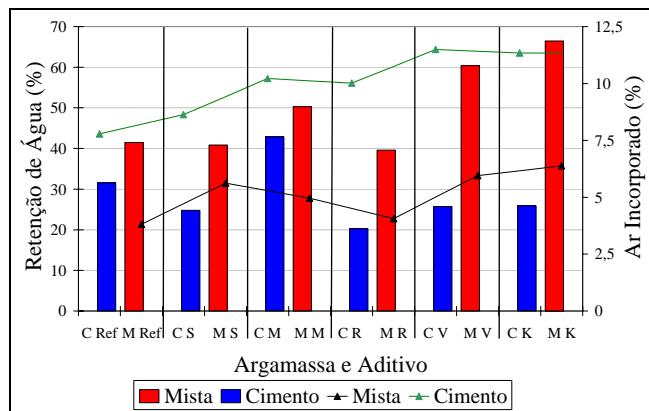


Figura 2 - Retenção de água (em colunas) e teor de ar incorporado (em linhas) para as argamassas estudadas.

Observa-se na Figura 2 e na Tabela 6 que o teor de ar incorporado para as argamassas de cimento com e sem aditivos foram superiores aos das argamassas mistas com e sem aditivos. Os maiores teores de ar incorporado apresentados pelas argamassas de cimento com aditivos indicam que estes aditivos promoveram este efeito, influenciando diretamente nas propriedades do estado fresco destas misturas, sendo este efeito o responsável pela trabalhabilidade adequada para o assentamento de blocos de concreto.

3.2 Propriedades do estado endurecido

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Propriedades das argamassas no estado endurecido.

Argamassa	Resistência à Compressão (MPa) – CV*	Resistência à Tração na Flexão (MPa) – CV**	Módulo de Elasticidade (MPa)**
C Ref	8,44 (7,87)	2,56 (2,34)	6127,89
C S	11,32 (3,69)	2,82 (7,30)	10071,00
C M	10,65 (7,10)	2,33 (1,82)	13703,80
C R	10,58 (3,04)	2,26 (6,73)	10840,12
C V	10,06 (5,72)	2,74 (6,88)	8889,31
C K	10,29 (6,66)	2,65 (8,53)	16274,80
M Ref	10,56 (6,07)	2,10 (1,42)	19584,03
M S	10,53 (3,03)	2,56 (3,02)	11049,09
M M	10,08 (2,50)	1,75 (10,13)	9581,81
M R	10,91 (3,53)	2,11 (12,96)	10887,70
M V	9,33 (1,55)	1,94 (2,35)	8610,44
M K	10,51 (6,51)	2,26 (4,43)	12637,65

*Média de 4 corpos-de-prova ** Média de 3 corpos-de-prova *** Média de 2 corpos-de-prova

Para a análise da influência dos aditivos na resistência à compressão e resistência à tração na flexão foi necessário um estudo estatístico ANOVA, para avaliar se existia diferença significativa entre as argamassas estudadas. Para as argamassas de cimento, a resistência à compressão aumentou com o uso de aditivos hidrofugantes e impermeabilizante em relação à argamassa de referência. Com os resultados da análise estatística pode se afirmar com 95% de confiabilidade que não existe diferença significativa entre os resultados de resistência à compressão das argamassas aditivadas. No caso das argamassas mistas, somente a argamassa M V apresentou resistência à compressão inferior à resistência da argamassa mista de referência. Na análise estatística, com 95% de confiabilidade, verificou-se que não existe diferença significativa entre as argamassas: M Ref, M S, M M, M R e MK, comprovando que não existe influência significativa da presença desses aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes na resistência à compressão das argamassas mistas. Porém, existe diferença entre a argamassa M Ref e M V.

Na resistência à tração por flexão, tanto para as argamassas de cimento quanto para as argamassas mistas não houve diferença significativa entre as argamassas de referência e as argamassas com os aditivos estudados. Para os casos das argamassas de cimento, a resistência à tração na flexão corresponde a valores entre 21 e 34% da resistência à compressão, e para as argamassas de cimento estes valores estão entre 17 e 26% da resistência à compressão.

Quanto aos resultados de módulo de elasticidade, não foi verificada uma relação entre estes e os valores da resistência à compressão das argamassas estudadas.

Nas argamassas de cimento houve um aumento no módulo de elasticidade com os uso dos aditivos. Diferentemente do comportamento das argamassas mistas, onde as argamassas com aditivos apresentaram valores de módulos de elasticidade inferiores ao módulo da argamassa de referência

mista. No entanto, o módulo de elasticidade das argamassas mista de referência foi muito superior ao encontrado para as argamassas de cimento e ao encontrado em um estudo semelhante a este que empregou uma argamassa mista com o mesmo traço (CASALI, 2003).

O comportamento das argamassas na absorção de água por capilaridade em função do tempo é apresentado na Figura 4.

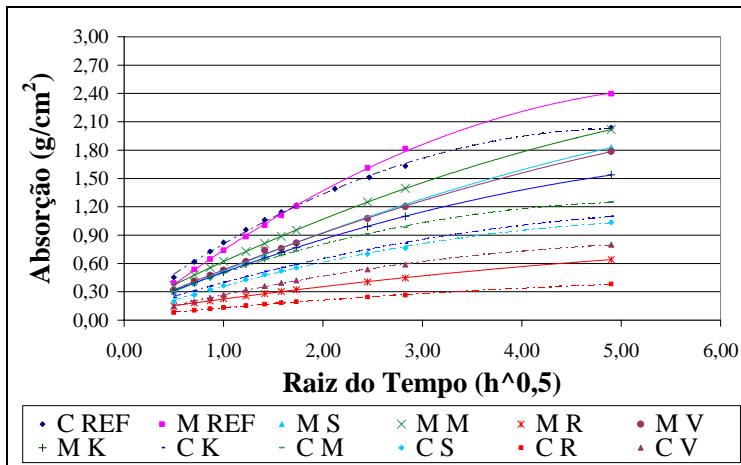


Figura 4 - Absorção de água por capilaridade em função do tempo.

Nesta figura, observa-se que, para todas as argamassas contendo aditivos, houve redução na absorção de água por capilaridade. É verificado também que o melhor desempenho, quanto à absorção de água por capilaridade, foi apresentado pelas argamassas de cimento com aditivos, ou seja, aquelas que não continham cal hidratada. Entre todos os aditivos estudados, o que apresentou o melhor desempenho foi o aditivo R, reduzindo os valores de absorção de água por capilaridade em 83% em relação à argamassa de referência de cimento e em 71% em relação à argamassa de referência mista.

A normalização brasileira para argamassas de assentamento não especifica valores para absorção de água por capilaridade admissível para alvenarias aparentes ou não. Há, apenas, a norma 14992/2003 [19] que especifica parâmetros para esta propriedade para argamassas de rejunte. Esta norma recomenda valores inferiores ou iguais a $0,6 \text{ g/cm}^2$ de absorção de água por capilaridade aos 300 minutos, em corpos-de-prova ensaiados aos 28 dias de idade, para argamassas de rejunte de placas cerâmicas de absorção acima de 3% aplicadas em locais com trânsito não intenso de pedestres. Recomenda, também, valores inferiores ou iguais a $0,30 \text{ g/cm}^2$ para argamassas de rejunte de placas cerâmicas com absorção abaixo de 3% aplicadas em locais com trânsito intenso de pedestres. Considerando o disposto nesta norma e avaliando as argamassas estudadas neste trabalho, verifica-se que apenas as argamassas M R, C R e C V atendem ao limite de $0,6 \text{ g/cm}^2$ de absorção de água por capilaridade aos 300 minutos e somente a argamassa C R atende o limite de $0,30 \text{ g/cm}^2$.

4 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nas propriedades do estado fresco pode se concluir que a presença dos aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes nas argamassas de cimento provocaram um aumento no teor de ar incorporado. Este feito pode ter sido o responsável pela boa trabalhabilidade apresentada pelas argamassas de cimento com os aditivos hidrofugantes. No entanto, estes aditivos não foram capazes de aumentar a retenção de água destas argamassas. As argamassas mistas demonstraram uma maior retenção de água com os menores teores de ar incorporado.

Em relação às propriedades no estado endurecido, observou-se que as argamassas de cimento contendo aditivos apresentaram resistências superiores a da argamassa de cimento de referência. Para as argamassas mistas não houve diferença significativa entre as argamassas com aditivos e a

argamassa de referência, com 95% de confiabilidade. Além disso, na resistência à tração por flexão não houve diferença significativa entre as argamassas com e sem aditivos.

Com os resultados de absorção de água por capilaridade, foi possível verificar uma redução nos valores desta propriedade nas argamassas contendo aditivos hidrofugantes ou impermeabilizantes. As argamassas C R, M R e C V foram as que apresentaram os melhores resultados de absorção de água por capilaridade. Em geral, as argamassas de cimento com aditivo apresentaram menores valores de absorção do que as argamassas mistas.

Considerando que a presença dos aditivos hidrofugantes e impermeabilizante nas argamassas de assentamento não prejudicaram consideravelmente o desempenho destas argamassas tanto no estado fresco como no estado endurecido, conclui-se que existe um grande potencial para o uso destes aditivos em argamassas de assentamento com características de baixa permeabilidade e resistência e trabalhabilidade adequadas.

Contudo, existe ainda a necessidade do estudo destas argamassas quando aplicadas no assentamento de blocos de concreto para avaliar o comportamento do conjunto bloco-argamassa.

5 REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Chemical Admixtures for concrete, **ACI 212.3R-91**.
- REPETTE, W.L. **Notas de Aula – Ciência e Tecnologia de Aditivos para Concreto e Argamassa**. 2003.
- LU, Z., ZHOU X., ZHANG J. Study on the performance of a new type of water-repellent admixture for cement mortar. **Cement and Concrete Research**, 34, 2004, pp 2015-2019.
- LU, Z. e ZHOU, X. The waterproofing characteristics of polymer sodium carboxymethyl-cellulose. **Cement and Concrete Research**, 30, 2000, pp 227-231.
- SAIJA, L. M. Waterproofing of Portland cement mortars with a specially designed polyacrylic latex. **Cement and Concrete Research**, 25, 1995, pp 503-509.
- CASALI, J. M. **Estudo comparativo de tipos de argamassa de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. Sands for mortar for plain an reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry: **BS 1200**. London, 1976.
- Structural use of unreinforced masonry: **BS 5628: Part 1**. London, 1992.
- BASTOS, P. K. X. **Retração e Desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: Argamassas e concretos endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade, Rio de Janeiro, 1995.
- **NBR 7215**: Determinação da resistência à compressão – cimento Portland. Rio de Janeiro, 1996.
- **NBR 9287**: Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1986
- **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.
- **NBR 8798**: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.
- **NBR 14992**: Argamassas à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2003.