

Desenvolvimento de Argamassas Injetáveis para Reparação de Edificações Históricas

Matheus Henrique Sabadin – Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Civil UFRGS - matheushs15@hotmail.com
Orientadora: Prof. Dra. Angela Borges Masuero, NORIE/UFRGS
Colaboradora: Daniele Fonseca, Doutoranda NORIE/UFRGS

Introdução

Atualmente, os materiais e métodos usados nos revestimentos das paredes das edificações são diferentes daqueles utilizados em edificações históricas. Nos trabalhos ligados à conservação dos revestimentos históricos tem sido constatado que, em geral, os danos estão vinculados a perda de aderência entre a argamassa e a alvenaria. Buscando-se uma solução para este problema está sendo estudado o desenvolvimento de argamassas injetáveis.

Figura 1: Injeção de argamassa em parede de edificação histórica.



Objetivos

O objetivo desta pesquisa é determinar traços de argamassas injetáveis à base de cal hidráulica para consolidar revestimentos de argamassa de cal e areia de edificações históricas.

Metodologia

Para não causar danos sobre os materiais antigos estabeleceu-se que a argamassa deve se comportar de maneira semelhante à original.

No estado fresco, as argamassas injetáveis devem apresentar fluidez necessária para penetrar e preencher os vazios gerados pelo descolamento, com a mínima perda de coesão. No estado endurecido, devem apresentar compatibilidade química e mecânica com os materiais da edificação histórica.

Tabela 1: Requerimentos básicos para a consolidação com argamassa de injeção a base de cal.

Coeficiente de absorção de água por capilaridade	O valor deve estar entre 50% e 100% do valor da argamassa original. (ZAJADACZ, 2006 apud TAVARES, 2009).
Resistência à compressão	Menor que a do substrato (< 60%) (ZAJADACZ, 2006 apud TAVARES, 2009) e (FERRAGNI, 1984 apud TAVARES, 2009).
Módulo de elasticidade	Menor que o do substrato (< 80%) (ZAJADACZ, 2006 apud TAVARES, 2009) e (FERRAGNI, 1984 apud TAVARES, 2009).
Resistência de aderência à tração	= 0,1MPa (ZAJADACZ, 2006 apud TAVARES, 2009).
Retração e dilatação da argamassa na secagem.	O menor possível. (< 4%) (ZAJADACZ, 2006 apud TAVARES, 2009).
Consistência	Fluída o suficiente para injetar (ZAJADACZ, 2006 apud TAVARES, 2009) e (MICHONOVÁ, 2000 apud TAVARES, 2009).

Na análise do diâmetro e característica da borda no espalhamento optou-se por usar o Mini Slump-Test, sem que ocorresse segregação dos componentes até 1 minuto após a execução do ensaio.

A avaliação considerou as observações de Martins (2009), a qual relata que possuem tendência à segregação as argamassas que formam bordas mais baixas e cuja circunferência de espalhamento apresenta-se desuniforme.

Figura 6: Curvas de PR=0,94, PR=0,96 e PR=0,98.

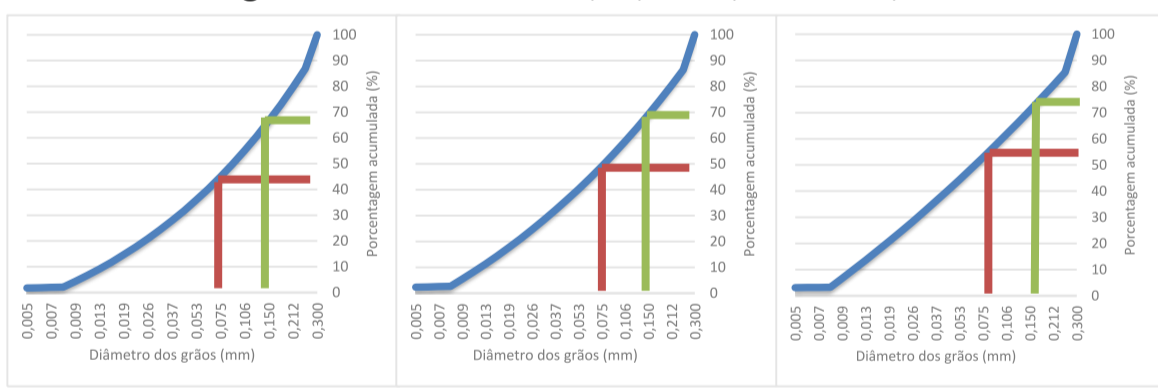


Tabela 2: Traços das argamassas à base de cal e areia.

Argamassas	Cal (%)	Areia #0,15 (%)	Areia fundo (%)	Água (%)
PR = 0,94	44,88	33,37	21,75	0,45; 0,50 e 0,55
PR = 0,96	49,10	30,90	20,00	0,45; 0,50 e 0,55
PR = 0,98	52,86	29,08	18,06	0,45; 0,50 e 0,55

Empiricamente, se optou por usar areias com maior número de finos, ou seja, com um valor de Pr mais alto, já que isto tende a tornar a argamassa mais injetável. A mistura dos materiais foi feita mecanicamente, de forma padronizada para todas as amostras.

Figura 8: Separação dos traços para a realização dos ensaios.



Figura 2: Espalhamento sem segregação.

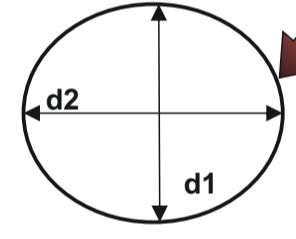


Figura 3: Espalhamento com segregação.

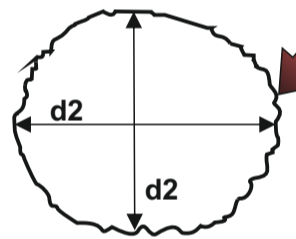


Figura 4: Espalhamento com baixa espessura.



Figura 5: Espalhamento com alta espessura.



Os traços das argamassas injetáveis foram gerados de acordo com o método de empacotamento a partir de curvas granulométricas de distribuição contínua. Foram testadas três quantidades de água, 45%, 50% e 55%, sendo elas calculadas a partir da proporção massa de água : massa seca.

Pr é a razão da quantidade de material que deve ficar retida em cada peneira. Para que a curva seja considerada de distribuição granulométrica contínua, este valor deve estar compreendido entre 0,7 e 1.

Figura 7: Mistura da argamassa em uma argamassadeira.



Resultados

Mini-Slump

A partir do ensaio de mini-slump foi possível verificar que o espalhamento aumenta concomitantemente com a relação água/material seco e que, se esta relação for constante, o espalhamento é menor para os traços com maior quantidade de finos.

Figura 9: Medição do espalhamento através de um paquímetro.



Tabela 3: Análise da borda e diâmetro de espalhamento no mini slump-test.

Formulação	Borda	Coesão	Diâmetro 1 (cm)	Diâmetro 2 (cm)	Média do diâmetro
PR=0,94 / 45% H ₂ O	Uniforme	Sim	36	36	36
PR=0,94 / 50% H ₂ O	Uniforme	Não	38,5	37,5	38
PR=0,94 / 55% H ₂ O	Uniforme	Não	39,7	41	40,35
PR=0,96 / 45% H ₂ O	Uniforme	Sim	32,3	32	32,15
PR=0,96 / 50% H ₂ O	Uniforme	Sim	37	36,5	36,75
PR=0,96 / 55% H ₂ O	Uniforme	Não	38,5	41	39,75
PR=0,98 / 45% H ₂ O	Uniforme	Sim	31	30	30,5
PR=0,98 / 50% H ₂ O	Uniforme	Sim	35	35,4	35,2
PR=0,98 / 55% H ₂ O	Uniforme	Não	38	37	37,5

Exsudação e Retração

Os resultados obtidos a partir da exsudação indicaram que quanto menor a relação água/material seco, menor será a perda de água da argamassa, o que também pôde ser observado no ensaio de retração, onde as argamassas com a menor relação água/materiais secos apresentaram menor variação de volume.

Tabela 4: Exsudação observada nos traços.

	Vo (ml)	Vt (ml)	Vg (ml)	V água (ml)	Exsudação (%)
PR=0,94 / 45% H ₂ O	80	80	73,5	6,5	8,13
PR=0,94 / 50% H ₂ O	80	80	71,5	8,5	10,63
PR=0,94 / 55% H ₂ O	80	80	68	12	15,00
PR=0,96 / 45% H ₂ O	80	80	74	6	7,50
PR=0,96 / 50% H ₂ O	80	80	72	8	10,00
PR=0,96 / 55% H ₂ O	80	80	67	13	16,25
PR=0,98 / 45% H ₂ O	80	80	75	5	6,25
PR=0,98 / 50% H ₂ O	80	80	71	9	11,25
PR=0,98 / 55% H ₂ O	80	80	68,5	11,5	14,38

Vo: volume inicial; Vt: volume total; Vg: volume do graute.

Tabela 5: Retração observada nos traços.

	CPs	RA (%)	CV (%)	RL (%)	CV (%)	RC (%)	CV (%)	RV (%)	CV (%)
PR=0,94 / 45% H ₂ O	2	6,06	0,55	1,48	0,83	0,58	0,44	7,98	0,72
PR=0,94 / 50% H ₂ O	3	8,93	2,22	1,96	0,68	1,02	0,19	11,62	2,53
PR=0,94 / 55% H ₂ O	3	17,39	2,93	3,19	1,97	1,38	0,55	21,13	4,34
PR=0,96 / 45% H ₂ O	3	4,33	0,85	1,50	0,79	0,73	0,20	6,45	1,05
PR=0,96 / 50% H ₂ O	3	7,60	1,36	1,48	0,99	0,28	0,15	9,22	2,41
PR=0,96 / 55% H ₂ O	3	14,52	0,79	1,41	1,66	0,50	0,12	16,14	1,86
PR=0,98 / 45% H ₂ O	3	7,90	0,36	2,08	0,81	0,47	0,13	10,24	1,19
PR=0,98 / 50% H ₂ O	3	10,09	1,01	0,97	0,55	0,30	0,29	11,23	1,65
PR=0,98 / 55% H ₂ O	3	12,04	2,51	0,37	0,55	0,84	0,16	13,10	2,23

CPs: quantidade de corpos de prova; RA: retração na altura; RL: retração na largura; RC: retração no comprimento; RV: retração no volume; CV: coeficiente de variação.

Figura 10: Ensaio de exsudação e retração.



Figura 11: Retração observada nos corpos de prova aos 7 dias.



Resistência à Compressão e Absorção

Devido à alta variabilidade dos resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração não foi possível obter nenhuma conclusão, já os dados de absorção apresentaram que quanto maior a quantidade de água da argamassa, menos densa e mais porosa ela tende a ser, como era esperado.

Tabela 6: Resultados dos ensaios de resistência aos 28 dias e absorção.

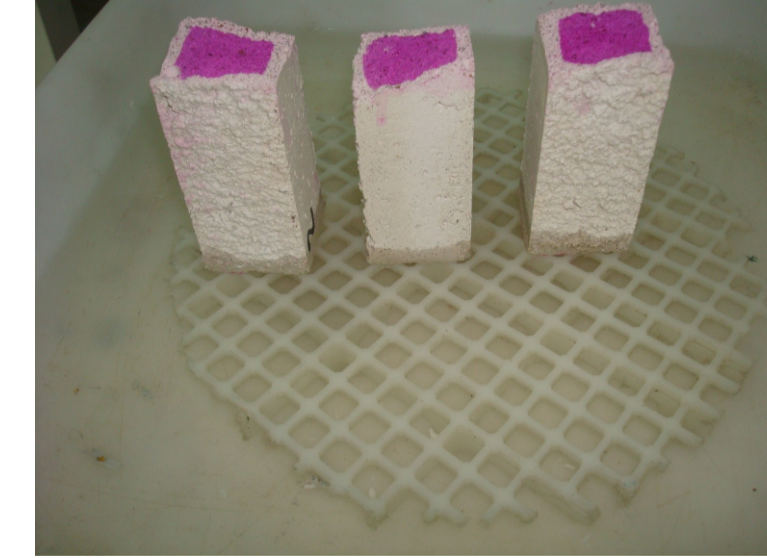
	Resistência Compressão (Mpa)		Resistência Tração (Mpa)		Módulo de elasticidade (Gpa)		Absorção média 10min		Absorção média 90min		Coeficiente de Capilaridade	
	Vir	CV (%)	Vir	CV (%)	Vir	CV (%)	Vir (g/cm ²)	CV (%)	Vir (g/cm ²)	CV (%)	Vir (g/dm ² .min ^{1/2})	CV (%)
PR=0,94 / 45% H ₂ O	0,67	8,30	-	-	3,59	9,90	-	-	2,88	-	27,84	-
PR=0,94 / 50% H ₂ O	0,49	36,90	0,26	-	3,32	3,02	1,20	8,40	2,71	3,50	24,08	4,12
PR=0,94 / 55% H ₂ O	0,59	33,85	0,34	13,48	2,65	2,06	0,91	4,89	2,14	33,92	19,62	61,55
PR=0,96 / 45% H ₂ O	1,23	11,74	1,00	0,62	3,32	3,02	1,04	4,53	2,62	0,23	25,16	2,77
PR=0,96 / 50% H ₂ O	0,65	86,62	0,74	53,01	2,65	2,06	1,46	7,28	2,71	3,76	19,93	9,23
PR=0,96 / 55% H ₂ O	0,83	17,32	0,38	37,75	2,19	10,92	1,38	7,13	2,76	8,19	22,11	11,48
PR=0,98 / 45% H ₂ O	1,00	27,24	0,52	21,06	3,45	7,30	0,90	6,73	2,56	2,53	26,67	4,90
PR=0,98 / 50% H ₂ O	1,04	3,46	0,50	12,39	3,15	3,12	0,90	3,68	2,61	2,37	27,34	3,64
PR=0,98 / 55% H ₂ O	0,67	39,03	0,41	12,00	2,13	4,61	1,34	5,46	2,86	2,73	24,31	9,37

CV: coeficiente de variação; Vir: Valor obtido;

Figura 12: Ensaio de tração na flexão



Figura 13: Ensaio de absorção.



Conclusão

Comparando estes resultados com os da argamassa original, percebeu-se que vários diferiram além do desejado, como os valores das resistências, módulos de elasticidade, densidades, entre outros. Portanto, pôde-se concluir que a utilização de um aditivo plastificante poderá ser benéfica para amenizar estas diferenças nas etapas seguintes da pesquisa.

Referências:

-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA _____. 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, 2005.
-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA _____. 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: ABNT, 2005
-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual de Revestimento de Argamassas. ABCP, 104 p., 2002.AZEITEIRO, Liliãna C. D.; Desenvolvimento de caldas de injeção para consolidação de revestimento. 2011. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Departamento de Engenharia da Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro.
-CARNEIRO, Arnaldo M. P.; CINCOOTTO, M. A. Dosagem de Argamassas Através de Curvas Granulométricas. In: Boletim Técnico, nº BT/PCC/237, ano 1999. São Paulo, Departamento de Engenharia da Construção Civil da EPUSP, 1999.