EXTENSÃO DE ADERÊNCIA EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA CONTENDO RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

Tema: Tecnologia dos materiais.
Grupo: 2

PAULO CÉSAR MARTINS FILHO[1], ALINE CRISPIM GIRARDI[2], HELENA CARASEK[3]

[1]Estudante da Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás/UFG, paulocesar.martinsf@gmail.com
[2]Mestre em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, alinecrispim@gmail.com
[3]Profa Dra, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás/UFG, hcarasek@gmail.com

RESUMO

Este trabalho estuda a aderência de revestimentos de argamassas com Resíduo de Construção Civil - RCC aplicados sobre blocos cerâmicos, enfatizando a extensão de aderência - EA. As variáveis estudadas foram: tipo de agregado (areia natural, RCC misto e cimentício) e ampliação de imagens, obtidas através de fotografias digitais, para cálculo da EA (15x, 30x e variável até 40x). Obteve-se uma correlação entre resistência e EA de R=0,78 para argamassa com areia natural, R=0,22 (RCC misto) e R=0,16 (RCC cimentício). Concluiu-se que não existe diferença significativa entre as ampliações estudadas e somente o revestimento com areia natural apresentou correlação significativa.

Palavras-chave: Revestimento, Argamassa, Aderência, Resíduo de Construção Civil, RCC.

BOND EXTENSION IN RENDERING WITH CONSTRUCTION WASTE

ABSTRACT

This work study the bond of mortars with Construction and Demolition Waste - CDW applied on ceramic blocks, emphasizing the extension of adhesion - EA. The variables studied were: type of aggregate (natural sand, mixed and cementitious CDW) and image enlargement, obtained through digital photographs, to calculate the EA (15x, 30x and variable up to 40x). A correlation between strength and EA of R=0.78 for natural sand mortar, R=0.22 (mixed CDW) and R=0.16 (cementitious CDW) was obtained. It was concluded that there is no significant difference between the magnifications studied and only the natural sand coating showed a significant correlation.

Key-words: Render; Mortar; Bond; Construction and Demolition Waste; CDW.

1. INTRODUÇÃO

A aderência entre argamassas e substratos é a propriedade mais importante dos revestimentos, razão pela qual é investigada desde o século XIX [1]. Diversos estudos foram publicados visando associar as características da produção (componentes, dosagem e método de produção) e execução dos revestimentos (energia de aplicação, preparo dos substratos) com os valores de resistência de aderência. Mais recentemente, avalia-se, também, a extensão de aderência, que consiste na razão entre a área de contato efetiva e a área total possível de ser unida.[2]

Sabe-se que a construção civil é uma das atividades que mais gera resíduos sólidos urbanos, mas também é um setor capaz de absorver boa parte do resíduo gerado. Diversos estudos vem sendo realizados a fim de reduzir o impacto ambiental das atividades do setor, aliando a utilização de resíduos de construção civil (RCC), que seriam enviados para aterros sanitários, e a diminuição da extração mineral de agregados, incorporando esses resíduos em substituição aos agregados naturais para argamassas de assentamento e de revestimento.[3;4;5;6;7;8] Estes estudos obtiveram bons resultados na substituição total ou parcial dos agregados naturais por RCC de diferentes origens na composição de revestimentos de argamassa. Os autores atribuíram a equivalência de resultados com os revestimentos convencionais às condições especiais dos agregados de RCC.

Nesse sentido, o presente trabalho visa estudar a aderência entre argamassas de revestimento produzidas com RCC aplicadas em blocos cerâmicos, com ênfase na extensão de aderência. O principal objetivo é verificar se existe influência da ampliação utilizada para calcular a extensão de aderência da interface, bem como se existe correlação entre os resultados de resistência de aderência à tração e de extensão de aderência.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

No programa experimental foram analisadas a resistência e a extensão de aderência (em diferentes ampliações) de revestimentos de argamassa produzida com resíduos de construção aplicados sobre blocos cerâmicos. As variáveis da pesquisa foram:

a) Tipo de agregado para preparo das argamassas: A (RCC misto – cimentício/cerâmico); B (RCC cimentício) e C (agregado natural);

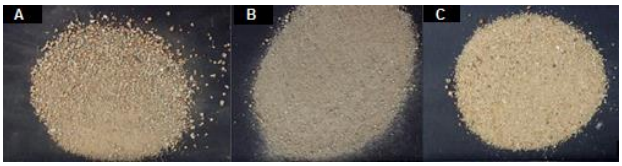
b) Ampliações das imagens para análise da extensão de aderência: ampliação variável chegando até 40 vezes (Medida 1); 15 vezes (Medida 2) e 30 vezes (Medida 3).

2.1. Materiais

Para produção da argamassa utilizou-se o cimento Portland tipo CP II Z-32 e cal hidratada do tipo CH-I. Foram utilizados 3 tipos de agregado, ilustrados na Figura 1: a areia natural (C) é

quartzosa proveniente de rio. Os agregados reciclados são oriundos de duas indústrias de reciclagem da região metropolitana de Goiânia-GO, produzidos com o mesmo tipo de equipamento.

Figura 1 – Agregados utilizados: A - RCC misto; B - RCC cimentício; C - areia natural



Fonte: Autores

A caracterização dos agregados é apresentada nas Tabela 1 e 2.

Tabela 1 – Caracterização dos agregados.

Característica	Metodologia	Resultados		
		A	B	C
Absorção de água (%)	NBR NM 30 (ABNT, 2001)	12	17	3
Massa unitária (g/cm³)	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	2,69	2,54	2,73
Massa específica (g/cm³)	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	1,46	1,28	1,44
Teor de material pulverulento - TMP (%)	NBR NM 46 (ABNT, 2003)	14	18	4

Tabela 2 – Granulometria dos agregados.

Abertura da Peneira (mm)	A		B		C	
	% Retido	% Ret. Acumulada	% Retido	% Ret. Acumulada	% Retido	% Ret. Acumulada
2,360	2,00%	2,00%	1,00%	1,00%	0,40%	0,40%
1,180	19,00%	21,00%	19,60%	20,60%	6,00%	6,40%
0,600	21,40%	42,40%	22,00%	42,60%	26,00%	32,40%
0,300	17,80%	60,20%	19,40%	62,00%	28,00%	60,40%
0,150	20,80%	81,00%	20,80%	82,80%	31,00%	91,40%
0,075	12,00%	93,00%	11,80%	94,60%	7,60%	99,00%
Fundo	7,00%	100,00%	5,40%	100,00%	1,00%	100,00%
Dim. Máx. Característica	2,36 mm		2,36 mm		2,36 mm	
Módulo de Finura	2,07		2,09		1,91	

Como substrato foram usados blocos cerâmicos de vedação com furos horizontais e dimensões nominais de (9x19x29) cm, selecionados de um mesmo lote com base nas propriedades geométricas e físicas, bem como pelo Índice de Absorção de Água Inicial (AAI), cujos resultados estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos blocos cerâmicos.

	Massa Seca (g)	Umidade Ambiente (%)	Índice de Absorção d'água - total (%)	Absorção de Água Inicial (AAI)
Média:	3081	0,4	22	12,5 g/193,55cm².min
Desvio Padrão:	108	0,1	0,43	1,5 g/193,55cm².min
C.V.	4%	19%	2%	6%

ISSN 1984-8757

2.2. Produção das argamassas e dos revestimentos

A fim manter o teor de finos das argamassas em 27±1%, o traço em massa foi fixado em 1:5,8 (cimento:agregado reciclado) e 1:1:5,8 (cimento:cal:areia), a cal contribuiu como fino plastificante no caso da areia natural. A mistura ocorreu em betoneira de eixo vertical. Os substratos (blocos cerâmicos) foram preparados com aspersão de solução de cal a um teor de 14%, 24 horas antes da aplicação dos revestimentos. No momento da aplicação da argamassa os blocos foram novamente umedecidos com água potável.

A aplicação da argamassa foi feita de forma manual, com utilização de colher de pedreiro, adotando-se espessura de 3 cm para o revestimento, que foi sarrafeado e desempenado alguns minutos após a aplicação. A cura úmida foi realizada por meio de aspersão de água a cada 5 minutos, durante 30 minutos. Os revestimentos foram mantidos em câmara climática, com temperatura (23 ± 2°C) e umidade (75 ± 10%) constantes até o momento do ensaio de resistência de aderência.

2.3. Caracterização das argamassas

Na Tabela 4 é possível encontrar as metodologias e resultados dos ensaios realizados com as argamassas no estado fresco e endurecido.

Tabela 4 – Caracterização das argamassas.

Estado	Norma	Característica	A	B	C
Fresco	NBR 13278 (ABNT, 2005)	Densidade de Massa (g/cm³)	1,95	1,79	1,97
	NBR 13276 (ABNT, 2002)	Índice de consistência (mm)	258	275	229
	-	Relação água/cimento	1,57	1,59	1,59
		Relação água/ materiais secos	23%	25%	20%
	NBR NM 46 (ABNT, 2003)	Teor de Finos	27,7%	29,4%	28,2%
Endurecido aos 28 dias	NBR 15261 (ABNT, 2005)	Retração (mm/m)	1,24	1,76	0,89
	NBR 13279 (ABNT, 2005)	Resistência à tração na flexão (MPa)	1,62	1,18	2,15
			(CV 2%)	(CV 15%)	(CV 2%)
		Resistência à compressão (MPa)	5,2	2,7	5,4
			(CV 0,2%)	(CV 3%)	(CV 3%)

2.4. Avaliação da aderência

Os revestimentos foram avaliados quanto à resistência de aderência à tração (RA) e a extensão de aderência. Para determinar a RA seguiu-se a NBR 13528. Os blocos revestidos utilizados no ensaio de RA (6 de cada traço) foram cortados, gerando um total de 36 corpos de prova que, por meio de fotografias digitais (com resolução de 13 Megapixels, obtidas por meio do *Smartphone* Motorola Moto G5), permitiram a visualização da interface de contato argamassa/bloco, possibilitando a observação da extensão de aderência, conforme pode ser visto na Figura 2.

ISSN 1984-8757

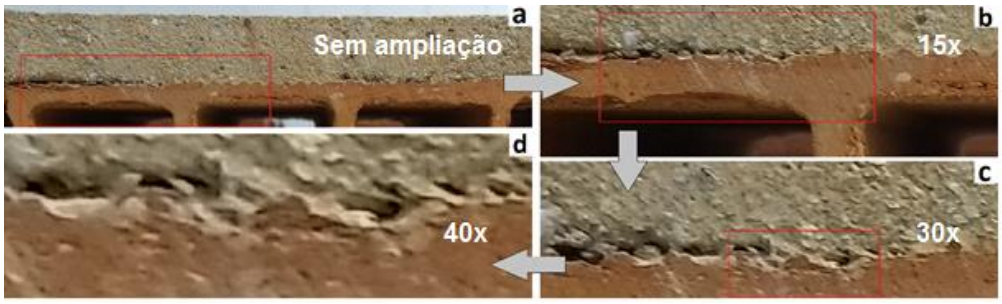
Figura 2 – Procedimento para análise de extensão de aderência



Fonte: Autores

Conhecidas as dimensões iniciais dos blocos, foram determinadas as escalas das imagens (com o auxílio do software Adobe Photoshop CS6). Assim, tornou-se possível atender as variações de análises pretendidas: ampliação de 15x, 30x e, esporadicamente, até 40x, que permitiram a observação da extensão de aderência - EA das argamassas ao substrato (Figura 3), usando a metodologia proposta por Carasek [1] para o cálculo da EA.

Figura 3 – Interface bloco/argamassa com as diferentes ampliações analisadas



Fonte: Autores

2.5. Análises estatísticas - ANOVA

Os resultados foram avaliados com o método de Análise de Variância (ANOVA), por meio do software Microsoft Office Excel, selecionando-se o intervalo de dados e definindo o erro padrão em 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados médios dos ensaios de RA. Todas as rupturas ocorreram na interface substrato/argamassa.

Tabela 5 – Resistência de aderência à tração.

Traço	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	C.V. (%)
A	0,15	0,04	28%
B	0,10	0,03	34%
C	0,14	0,03	23%

Para os resultados médios de extensão de aderência (Tabela 6) foram desconsiderados os revestimentos que descolaram antes ou durante o corte, bem como os valores espúrios.

Tabela 6 – Resultados de extensão de aderência.

Amostragem	Revestimento	Medida 1		Medida 2 (15x)		Medida 3 (30x)		Média das Medidas	
		Média (%)	Desvio Padrão (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)
Retirando os espúrios	A	69	20	72	21	71	20	70,7	1,5
	B	63	9	70	10	68	9	67,0	3,6
	C	76	20	80	17	79	17	78,3	2,1
				Média entre os revestimentos:				72,0	5,8

A maior extensão de aderência foi obtida com o revestimento de referência (C), entretanto, as duas argamassas produzidas com resíduo não ficaram muito aquém da que foi produzida com agregado natural, representando uma redução de, aproximadamente, 14% na extensão de aderência do revestimento B (RCC Cimentício) com relação ao C (Agregado Natural) e de 10% do revestimento C para o A (RCC Misto). É perceptível a semelhança entre os grupos (Tabela 7), principalmente na Variância, que foi equivalente nas três amostras.

Tabela 7 – Resumo dos dados utilizados para ANOVA.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Extensão Medida 1	18	11,086425	0,615913	0,066423
Extensão Medida 2 (15x)	18	11,982	0,665667	0,064612
Extensão Medida 3 (30x)	18	11,722	0,651222	0,065246

Na Análise de Variâncias (Tabela 8) observa-se que o valor de P foi superior ao erro estabelecido (0,05), portanto, pode-se considerar que existe igualdade entre os grupos, ou seja, os diferentes níveis de ampliação testados não influenciaram na medida.

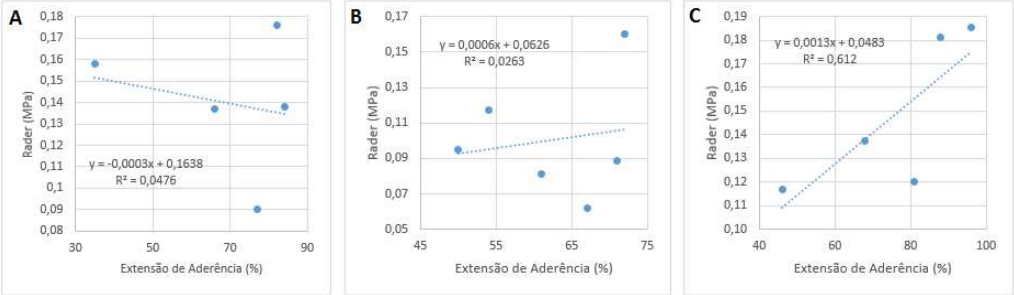
Tabela 8 – ANOVA.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,02358537	2	0,01179269	0,18024215	0,8355976	3,17879929
Dentro dos grupos	3,33677243	51	0,06542691			
Total	3,3603578	53				

Comparando os resultados de extensão de aderência com os resultados de resistência de aderência à tração, é possível notar que o revestimento B apresentou resultados inferiores nos dois ensaios, já os revestimentos A e C apresentaram resultados médios próximos.

Os gráficos obtidos com o descarte dos espúrios e utilizando a ampliação variável de extensão de aderência (Medida 1), para os três traços de argamassa estudados estão na Figura 4.

Figura 4 – Tentativa de correlação entre resistência e extensão de aderência (Traços A, B e C).



Fonte: Autores

A argamassa C apresentou a melhor correlação entre RA e extensão de aderência, obtendo-se R=0,78 (R^2=0,61). Pesquisas anteriores [1,2] com argamassas contendo areia natural encontraram resultados similares aos obtidos no presente trabalho. Já as argamassas contendo RCC não apresentaram correlação entre as propriedades de aderência, sendo R=0,22 para A e R=0,16 para B. Não foram encontrados trabalhos na literatura que tenham avaliado a extensão de aderência de revestimentos contendo RCC.

Os revestimentos A e B, provavelmente, não apresentaram correlação por serem constituídos de argamassas com um alto teor de finos inertes. As areias A e B apresentam teor de materiais pulverulentos (TMP) de 14% e 18%, respectivamente, enquanto a C apresenta somente 4%. Observa-se que existe uma coerência entre os TMP e os valores de coeficiente de correlação de Pearson (R) entre RA e Extensão de Aderência encontrados para cada um dos traços (C > A > B). Os finos inertes interferem na trabalhabilidade da argamassa, fazendo com que haja um aumento na sua extensão de aderência, entretanto, provavelmente, não há aumento na resistência de aderência à tração, pois estes finos não possuem propriedades aglomerantes, desta forma, os contidos nos traços A e B não contribuem com o desempenho do revestimento, enquanto que os finos da argamassa C (cal hidratada) são aglomerantes. As ampliações estudadas apresentaram resultados muito semelhantes e a análise de variância mostra que não há diferença significativa entre estes resultados, apesar de haver uma leve tendência de uma melhor correlação com a RA quando utilizada a medida da extensão de aderência com a variação das ampliações (Medida 1).

4. CONCLUSÃO

Não existe diferença significativa entre os níveis de ampliação estudados, podendo ser usado qualquer um deles para avaliação da extensão de aderência, com bons resultados. Apenas para a interface do revestimento de argamassa elaborado com a areia natural foi obtida correlação significativa entre resistência de aderência à tração e extensão de aderência, confirmando resultados de pesquisas anteriores. Quando se utilizou areia de RCC não foram

obtidas correlações significativas. Uma possível explicação para esse fato está na natureza dos finos dos diferentes agregados, visto que a cal hidratada passa por processamento, adquirindo propriedades aglomerantes, enquanto que os finos presentes nos agregados constituídos de RCC são inertes (oriundos de material cerâmico ou produtos de cimento já hidratados).

5. REFERÊNCIAS

1. CARASEK, H. **Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland a Substrato Porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

2. CARASEK, H.; JAPIASSÚ, P.; CASCUDO, O.; VELOSA, A. Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. **Construction & Building Materials**, v. 59, p. 85-98, 2014.

3. LEVY, S.M.; HELENE, P.R.L. **Reciclagem de entulhos na construção civil, a solução política e ecologicamente correta**. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Brasil.

4. MIRANDA, L.F.R. **Estudos de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. 2000. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia e Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

5. MIRANDA, L.F.R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil**. 2005. 473 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia e Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

6. JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, J.M.; DE BRITO, J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. **Construction & Building Materials**, v. 40, p. 679-690, 2013.

7. MARTÍNEZ, I.; ETXEBERRIA, M.; PAVON, E.; DÍAS, N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. **Construction and Building Materials** 49: Elsevier, 2013.

8. GIRARDI, A.C.C. **Avaliação da Substituição Total de Areia Natural por RCD em Revestimentos de Argamassa**. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2016.