

DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO

FRANCO, Luiz s. (1) COLLANTES, Mario C. (2)

(1) Prof. Doutor da Escola Politécnica da USP (e-mail: lsfranco@pcc.usp.br)

(2) Pós Doutorando da Escola Politécnica da USP (e-mail: macandia@pcc.usp.br)

Av. Prof. Almeida Prado Trav. 2 S/N CEP 05508-900 Cidade Universitária USP
São Paulo-Brasil

RESUMO

O objetivo deste artigo, é apresentar um procedimento de ensaio desenvolvido para medir a resistência de aderência ao cisalhamento dos revestimentos, mostrando análises comparativas entre a resistência de aderência à tração e a resistência de aderência ao cisalhamento. As conclusões desta pesquisa estão baseadas em mais de 3000 ensaios de aderência. Os resultados mostraram que as médias das resistências de aderência ao cisalhamento foram bastante superiores em relação às médias de resistência de aderência à tração.

ABSTRACT

The objective of this paper is to introduce a test procedure developed to measure the shear bond strength of mortar rendering, showing comparative analyses between the shear bond strength and tensile bond strength tests. The conclusion of this research were obtained based on the analyses of more than three thousand bond tests. The results demonstrated that the average for shear bond strength were very much more higher than the average for tensile bond strength.

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos das fachadas quando em uso, são freqüentemente submetidos a mudanças de temperatura e umidade relativa do ar, conseqüentemente acontecem movimentos diferenciais entre a camada do revestimento e o substrato. Esses movimentos diferenciais causam tensões de cisalhamento e de tração na interface substrato/revestimento de argamassa.

Quando essas tensões superam a resistência de aderência podem causar sérios problemas de descolamento. Portanto, a camada de revestimento, além de ter uma boa aderência deve apresentar uma boa capacidade de absorver os movimentos diferenciais para minimizar os problemas nos revestimentos de fachadas. Para medir a resistência de aderência ao cisalhamento existem os métodos MR-21 e MR-14 recomendados pela RILEM (1982); porém, apesar da existência destes métodos, não se tem muitos estudos realizados usando esses métodos. Nesse sentido, neste trabalho, foi considerado como um dos objetivos, desenvolver um método de ensaio que permita medir a resistência de aderência ao cisalhamento.

2. TRABALHO EXPERIMENTAL

Nesta pesquisa foi realizado um grande número de ensaios para medir a resistência de aderência. Os ensaios de resistência de aderência à tração, além de servirem para verificar a influência dos diferentes tipos de preparo da base na resistência de aderência, serviram também para comparar os resultados obtidos com dois tipos de aparelhos. Estes são: a Alavanca de Tração desenvolvida no Laboratório do CPqDCC (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Construção Civil) da EPUSP e o Dinamômetro de Tração, que é bastante utilizado na França e na Bélgica para medir a resistência de aderência à tração dos revestimentos.

Realizaram-se também ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento utilizando a alavanca de cisalhamento. Este aparelho foi desenvolvido como parte dos objetivos desta pesquisa no Laboratório do CPqDCC. Os resultados obtidos com este aparelho, serviram para avaliar a influência do tipo de preparo da base e para definir a metodologia do ensaio.

2.1 Argamassas de revestimento e substratos

As argamassas utilizadas para a execução dos revestimentos sobre os diferentes tipos de base e preparo da base foram: uma argamassa mista de traço 1:1:6 (cimento: cal: areia) em volume com seca e uma argamassa industrializada recomendada pelo fabricante para uso em revestimentos de fachada.

Tabela 1: Propriedades caracterizadas das argamassas de revestimento

PROPRIEDADES	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	RESULTADOS	
		F-12	1:1:6
Resistência à compressão (MPa)	ASTM C 780/91	5,98	4,43
Módulo de deformação (Mpa)	NBR 8522/84	3191	2123
Índice de consistência (mm)	Penetração de Bola (BS-4551/80)	12,55	11,80
	Mesa de Consistência (ASTM-C110/87)	347,3	333,7
Retenção de água (%)	Penetração de Bola (BS-4551/80)	83,64	88,37
	Funil de Buchner (NBR 9287/86)	69,56	74,89
Retenção de consistência (%)	Penetração de Bola (BS-4551/80)	50,86	48,66
	Funil de Buchner (NBR 9287/86)	80,51	84,14

A execução dos painéis de revestimento foram sobre substratos de estruturas de concreto armado e substratos de alvenaria de blocos cerâmicos e de blocos de concreto. Sobre estes substratos foram realizados diferentes tipos de preparo da base.

Tabela 2: Características dos blocos usados na execução dos substratos de alvenaria

TIPO DE BLOCO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL (g/193,5 cm ² .min)	ABSORÇÃO TOTAL (%)
Cerâmico	5,50	11,67	12,44
Concreto	5,77	94,20	6,87

2.2 Tipos de preparo da base

Os tipos de preparo de base avaliados são os que constam na tabela 3.

Tabela 3: Tipos de base e tipos de preparo da base avaliados

TIPOS DE BASE	TIPO DE PREPARO DA BASE		TIPO DE TEXTURA
	DESCRIÇÃO	SIGLAS	
ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS E CONCRETO	Sem chapisco molhado	SCM	Lisa
	Sem chapisco seco	SCS	Lisa
	Chapisco comum	CC	Textura 3
	Chap. Rolado com Aditivo A 1 demão	RA1	Textura 1
	Chap. Rolado com Aditivo A 2 demãos	RA2	Textura 2
	Chap. Rolado com Aditivo A 3 demãos	RA3	Textura 2
	Chap. Rolado com Aditivo B 1 demão	RB1	Textura 1
	Chap. Rolado com Aditivo B 2 demãos	RB2	Textura 2
	Chap. Rolado com Aditivo B 3 demãos	RB3	Textura 3
	Chap. Rolado com Aditivo R 1 demão	RR1	Textura 1
	Chap. Rolado com Aditivo R 2 demãos	RR2	Textura 2
	Chap. Rolado com Aditivo R 3 demãos	RR3	Textura 3
ESTRUTURA DE CONCRETO	Sem chapisco seco	SCS	Lisa
	Chapisco comum	CC	Textura 3
	Chapisco Industrializado (xapiscofix)	CFIX	Ranhurada
	Chap. Rolado com Aditivo A 3 demãos	RA3	Textura 2
	Chap. Rolado com Aditivo B 3 demãos	RB3	Textura 3
	Chap. Rolado com Aditivo R 3 demãos	RR3	Textura 3

3. Ensaios de resistência de aderência

Neste trabalho foram utilizados 10 corpos de prova para cada combinação de variáveis, tanto para medir a resistência de aderência à tração, como de cisalhamento, conforme mostrado na tabela 4. Acredita-se que o número adotado foi suficiente para se chegar às conclusões desta pesquisa.

A aplicação da carga foi para que a duração dos ensaios de resistência de aderência à tração e ao cisalhamento fosse na faixa de 10 a 80 segundos, tal como recomenda a norma brasileira NBR 13528 (ABNT, 1995) e a norma alemã DIN 18555 parte 6/87.

Tabela 4: Tipos de ensaios de resistência de aderência utilizados

ENSAIOS	APARELHO EMPREGADO	TIPO DE CORTE	Nº CPs
- Resistência de aderência à tração	- Dinamômetro de Tração	Corte seco	10
	- Alavanca de Tração	Corte seco	10
- Resistência de aderência ao cisalhamento	- Alavanca de Cisalhamento	Corte seco	10
	- Alavanca de Cisalhamento	Corte úmido	10

3.1 Resistência de aderência à tração

O aparelho empregado para medir a resistência de aderência à tração foi uma Alavanca de Tração desenvolvido no laboratório do CPqDCC, e um Dinamômetro de Tração, que nos países do exterior é bastante utilizado e atualmente no Brasil também já é utilizado.

3.2 Resistência de aderência ao cisalhamento

Após realizado um grande número de ensaios, chegou-se à versão final do aparelho para medir a resistência de aderência ao cisalhamento (figura 1). Trata-se de quatro perfis metálicos fixados com 4 parafusos numa base metálica de grande peso. Esse peso permite garantir uma boa estabilidade ao aparelho durante a execução do ensaio. Apoiada nos quatro perfis, tem uma plataforma metálica móvel que permite regular a altura do ensaio. Para manter fixa a plataforma durante o ensaio, foi necessário acoplar parafusos de tipo borboleta em cada perfil. Sobre a plataforma coloca-se uma alavanca metálica devidamente reforçada para evitar que esta se deforme devido à carga aplicada no ensaio.

A alavanca dispõe de um nível que permite verificar a posição horizontal antes de iniciar com o ensaio. Num dos extremos da alavanca existe uma rótula em cima da qual é colocada uma chapa metálica com uma área superior ao corpo de prova. O objetivo da chapa metálica é distribuir uniformemente a tensão de cisalhamento no corpo de prova durante o ensaio.

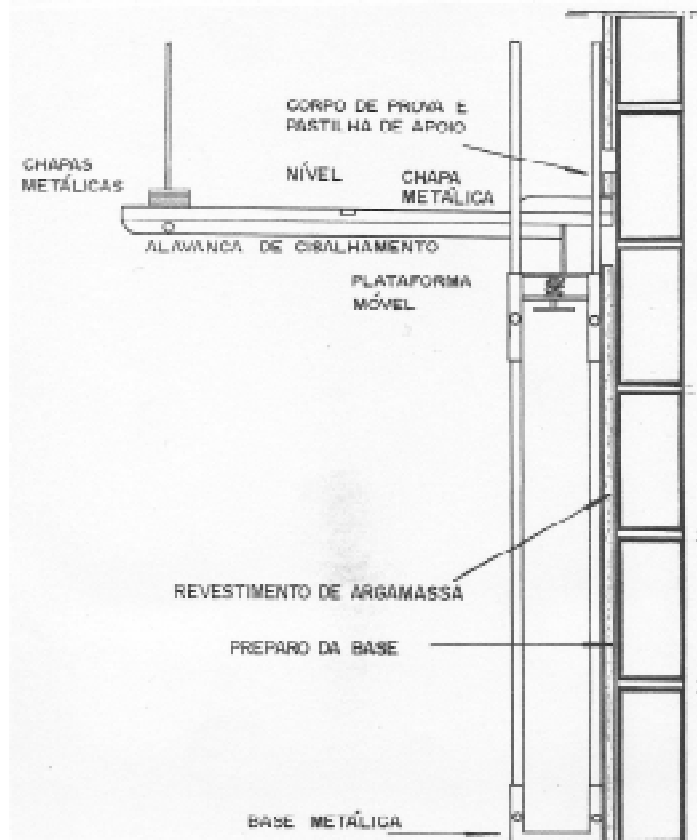


Figura 1: Aparelho para medir a resistência de aderência ao cisalhamento

3.3 Preparo dos corpos de prova

3.3.1 Resistência de aderência à tração

Para o preparo dos corpos de prova foi desenvolvido um dispositivo que permite efetuar o corte sem risco de causar interferências nos resultados dos corpos de prova. Efetuado o corte, foram coladas as pastilhas metálicas usando cola à base de resina de poliéster (massa plástica) e no dia seguinte efetuaram-se os ensaios de resistência de aderência.

3.3.2 Resistência de aderência ao cisalhamento

Para se preparar os corpos de prova dos ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento usaram-se dois métodos: 1) preparo dos corpos de prova do revestimento com argamassa fresca; e 2) preparo dos corpos de prova do revestimento com argamassa endurecida. Estes métodos foram identificados como de corte molhado e de corte seco, respectivamente.

No primeiro caso, inicialmente foi feita a marcação dos corpos de prova usando uma espátula. A marcação consiste em riscar linhas horizontais e verticais a cada 5 cm e, desta forma, delimitar os corpos de prova, e logo efetuar o corte das linhas verticais marcadas usando uma régua de alumínio e uma serra de corte de aço.

Os cortes foram efetuados até se chegar ao substrato e, em seguida, foram retiradas as faixas em forma alternada, com ajuda de uma espátula. Seguidamente, procedeu-se com a realização dos cortes das linhas horizontais retirando também as faixas em forma alternada, ficando só os corpos de prova separados em distâncias de 5 cm entre um corpo de prova e outro. Para realizar o preparo dos corpos de prova dos revestimentos com argamassa fresca (corte molhado) precisa-se no mínimo de duas pessoas.

Para realizar o preparo dos corpos de prova do revestimento com argamassa endurecida (corte seco), o procedimento consiste no seguinte: inicialmente, é realizado a marcação usando uma espátula, em seguida, recomenda-se molhar o revestimento até ficar bastante úmido, para não produzir pó durante o corte.

Uma vez molhado o revestimento, procedeu-se com a execução do corte usando uma máquina com disco diamantado. Para delimitar o corte, é necessário conhecer a espessura aproximada da camada de revestimento; e assim, regular a espessura desejada no disco da máquina. É importante tomar cuidado durante esta operação, pois, esta não deve ultrapassar mais de 2 mm da base, porque ela pode alterar o tipo de ruptura e com isto, os valores de resistência de aderência ao cisalhamento.

Realizado os cortes das linhas horizontais e verticais, procede-se à retirada das faixas de forma alternada, usando ferramentas apropriadas para esta operação (uma talhadeira e uma marreta) e só deixando os corpos de prova a serem ensaiados. Este procedimento deve ser efetuado com o maior cuidado possível para não introduzir abalos nos corpos de prova, o que pode alterar os resultados. Os corpos de prova devem estar distanciados em 5 cm como mínimo, tanto na vertical como na horizontal. Estes 5 cm de separação são suficientes para realizar os ensaios com o aparelho desenvolvido nesta pesquisa.

3.4 Execução dos ensaios

3.4.1 Resistência de aderência à tração

Os ensaios de resistência de aderência à tração foram realizados usando os aparelhos de “Alavanca de Tração” e “Dinamômetro de Tração” em painéis especialmente construídos para esta finalidade.

Produzida a ruptura, anota-se o peso que causou a ruptura, e também o tipo de ruptura, considerando as porcentagens correspondentes a cada parte do corpo de prova.

Para transformar o peso em carga de ruptura, foi utilizada uma expressão matemática, que é própria do aparelho utilizado. Esta expressão foi obtida considerando as características dos materiais empregados na fabricação do aparelho.

$$T = 4,73 \cdot P + 7,34$$

onde: T é a carga de ruptura por tração (kg)
P é o peso das chapas metálicas que causaram a ruptura (kg)

Tabela 5: Resumo das resistências de aderência à tração

TIPO DE BASE	SIGLA	DINAMÔMETRO DE TRAÇÃO				ALAVANCA DE TRAÇÃO			
		Arg. F-12		Arg. 1:1:6		Arg. F-12		Arg. 1:1:6	
		Média (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	C.V. (%)
ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS	SCM	0,06	46,13	0,17	28,71	0,18	29,82	0,29	28,40
	SCS	0,10	34,67	0,15	39,50	0,22	29,78	0,24	26,41
	CC	0,35	35,79	0,14	47,07	0,42	14,15	0,34	21,52
	RA1	0,13	37,30	0,13	46,35	0,20	33,21	0,24	29,41
	RA2	0,17	34,20	0,17	35,08	0,25	34,36	0,22	30,41
	RA3	0,23	28,99	0,19	26,22	0,17	32,69	0,26	21,22
	RB1	0,17	30,13	0,21	17,66	0,21	40,01	0,30	22,72
	RB2	0,16	24,64	0,20	47,98	0,24	17,05	0,25	32,38
	RB3	0,27	16,36	0,20	34,35	0,29	23,90	0,29	36,02
	RR1	0,09	35,81	0,14	33,88	0,17	23,09	0,24	31,04
	RR2	0,09	31,96	0,10	52,60	0,19	31,85	0,25	23,63
	RR3	0,13	58,81	0,14	58,48	0,16	38,98	0,18	41,99
ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO	SCM	0,44	23,21	0,40	48,45	0,46	27,69	0,49	22,53
	SCS	0,48	16,33	0,49	19,91	0,54	27,15	0,51	25,79
	CC	0,42	25,66	0,55	43,18	0,53	35,21	0,53	17,28
	RA1	0,43	22,53	0,28	32,52	0,50	30,65	0,35	29,71
	RA2	0,34	30,91	0,26	24,70	0,38	24,58	0,31	26,08
	RA3	0,21	30,62	0,16	56,10	0,31	18,29	0,18	33,24
	RB1	0,46	33,52	0,42	30,21	0,54	33,05	0,44	14,46
	RB2	0,37	51,29	0,38	21,32	0,46	28,75	0,44	16,14
	RB3	0,32	22,01	0,35	27,01	0,41	32,67	0,43	24,20
	RR1	0,53	38,88	0,46	28,96	0,51	20,92	0,48	20,56
	RR2	0,41	38,95	0,38	19,28	0,38	34,70	0,36	14,84
	RR3	0,29	23,16	0,23	34,98	0,24	34,87	0,23	38,47
ESTRUTURA DE CONCRETO	SCS	0,22	64,56	0,00	0,00	0,35	28,10	0,00	0,00
	CC	0,25	33,65	0,07	15,16	0,28	16,67	0,14	17,93
	CFIX	0,34	53,59	0,12	21,33	0,41	26,17	0,17	31,32
	RA3	0,13	36,07	0,04	19,12	0,23	41,94	0,12	31,82
	RB3	0,13	65,46	0,06	59,85	0,13	65,46	0,12	27,52
	RR3	0,15	43,57	0,06	72,68	0,123	19,02	0,24	17,82

3.4.2 Resistência de aderência ao cisalhamento

Para realizar os ensaios, a plataforma que fica apoiada nos quatro perfis era posicionada na altura do corpo de prova a ser ensaiado. Antes de se iniciar o carregamento, tomou-se cuidado para que a alavanca colocada sobre a plataforma ficasse na posição horizontal a fim de que os resultados da resistência não fossem alterados. Para isso, foi acoplado um nível de controle na mesma alavanca.

Nessas condições, pode-se dar início ao ensaio, aplicando as chapas metálicas de 1 kg e 0,5 kg de peso, no extremo livre da alavanca, até ocorrer a ruptura.

Da mesma forma que no caso da alavanca de tração, para a transformação dos pesos em cargas de ruptura por cisalhamento, foi usada uma expressão matemática, calculada considerando as características próprias dos materiais usados na fabricação do aparelho.

$$C = 8 \cdot P + 12,74$$

onde: C é a carga de ruptura por cisalhamento (kg)

P é o peso das chapas metálicas que causaram a ruptura (kg). Os resultados da resistência de aderência ao cisalhamento são mostrados na tabela 6.

Tabela 6: Resumo das resistências de aderência ao cisalhamento

TIPO DE BASE	SIGLA	CORTE MOLHADO				CORTE SECO			
		Arg. F-12		Arg. 1:1:6		Arg. F-12		Arg. 1:1:6	
		Média (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	C.V. (%)
ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS	SCM	0,32	20,37	0,16	31,97	0,28	63,72	0,18	25,02
	SCS	0,20	51,84	0,14	48,78	0,24	27,09	0,18	88,41
	CC	0,53	29,61	0,57	20,90	0,54	22,47	0,46	34,43
	RA1	0,39	36,86	0,36	27,32	0,43	25,27	0,24	43,99
	RA2	0,41	20,14	0,33	15,53	0,58	32,61	0,37	29,48
	RA3	0,40	24,04	0,41	35,79	0,36	24,45	0,44	26,46
	RB1	0,36	27,26	0,32	39,10	0,33	42,72	0,38	30,84
	RB2	0,45	25,22	0,48	15,28	0,51	17,51	0,50	33,16
	RB3	0,41	26,44	0,47	13,97	0,51	12,56	0,48	26,13
	RR1	0,27	29,48	0,28	33,62	0,26	24,92	0,33	29,45
	RR2	0,24	20,22	0,26	28,09	0,25	21,18	0,36	14,10
	RR3	0,24	26,26	0,27	41,44	0,38	20,77	0,38	37,70
ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO	SCM	0,26	23,33	0,38	27,86	0,53	32,24	0,60	28,68
	SCS	0,40	40,44	0,57	33,37	0,40	46,61	0,85	20,93
	CC	0,41	23,49	0,77	24,02	0,77	27,84	1,07	10,51
	RA1	0,44	23,30	0,58	26,91	0,51	33,08	0,73	24,81
	RA2	0,36	20,17	0,49	26,45	0,39	45,69	0,76	16,16
	RA3	0,28	34,79	0,38	33,64	0,28	38,82	0,36	63,78
	RB1	0,54	26,74	0,53	29,51	0,50	19,45	0,62	23,13
	RB2	0,37	20,35	0,56	16,65	0,54	33,72	0,65	31,94
	RB3	0,32	19,64	0,52	12,77	0,51	31,34	0,56	25,11
	RR1	0,33	17,67	0,44	17,66	0,71	14,50	0,64	19,27
	RR2	0,31	35,07	0,36	36,07	0,77	26,73	0,45	19,10
	RR3	0,23	24,88	0,32	31,05	0,44	36,69	0,33	24,01
ESTRUTURA DE CONCRETO	SCS	0,15	45,46	0,14	35,69	0,18	31,37	0,00	0,00
	CC	0,19	43,00	0,25	24,37	0,20	27,52	0,18	26,06
	CFIX	0,32	28,51	0,39	16,83	0,32	29,93	0,27	36,26
	RA3	0,11	18,26	0,17	32,15	0,16	25,72	0,15	26,10
	RB3	0,10	30,70	0,23	33,39	0,12	57,51	0,18	38,42
	RR3	0,12	46,78	0,23	42,58	0,11	31,25	0,16	33,35

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Analisando-se a influência do preparo da base nas resistências de aderência, chega-se à conclusão de que, na maioria dos casos, as maiores resistências sobre substratos de alvenaria de blocos cerâmicos corresponderam ao chapisco comum, e sobre substrato de estrutura de concreto, ao chapisco industrializado e chapisco comum. Portanto, no caso dos substratos de alvenaria de blocos cerâmicos e de estrutura de concreto, torna-se necessário efetuar o preparo da base com chapisco para melhorar as características superficiais, e com isso as resistências de aderência.
- Comparando-se as resistências de aderência das duas argamassas de revestimento sobre os substratos de alvenaria, não se notou uma diferença significativa, apesar da argamassa industrializada possuir uma resistência à compressão superior em relação

à argamassa mista. No caso dos substratos de estrutura de concreto, a diferença das resistências de aderência foi notória, ou seja, a argamassa industrializada proporcionou maiores resistências de aderência. Esse fato se atribui à presença de aditivos na argamassa industrializada.

- Comparando-se as médias das resistências de aderência à tração medidas com a alavanca de tração e o dinamômetro à tração, conclui-se que as maiores médias corresponderam à alavanca de tração e os maiores coeficientes de variação corresponderam ao dinamômetro de tração.
- O método desenvolvido para medir a resistência de aderência ao cisalhamento foi considerado concluído, pois os resultados das médias e dos coeficientes de variação foram os esperados. Portanto, o aparelho e a metodologia que constam no anexo podem ser utilizados para a realização de futuras pesquisas.
- Para preparar os corpos de prova dos ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento, sugere-se usar o tipo de corte seco, pela maior facilidade que este proporciona. Isso foi constatado durante o desenvolvimento do método de ensaio.
- Comparando-se as resistências de aderência à tração e ao cisalhamento, verifica-se que, de uma forma geral, as maiores médias corresponderam à resistência de aderência ao cisalhamento. Os resultados desta pesquisa permitem concluir que as resistências de aderência ao cisalhamento foram aproximadamente 1,4 vezes superiores em relação às resistências de aderência à tração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Revestimento de paredes e tetos em argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Método de Ensaio – NBR – 13528-95. Rio de Janeiro, 1995.

CARASEK, H. Aderência de argamassa à base de cimento portland a substratos porosos: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação. São Paulo, 1996. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

COLLANTES, M. C. Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

REUNION INTERNATIONAL DES LABORATORIES D'ESSAIS E MATÉRIAUX ET DE CONSTRUCTION. RILEM recommendations MR 14: Determination of the bond of rendering by shear tests, 1 ed. France, RILEM 1982.

REUNION INTERNATIONAL DES LABORATORIES D'ESSAIS E MATÉRIAUX ET DE CONSTRUCTION. RILEM recommendations MR 20: Determination of the bond of rendering by torsion tests, 1 ed. France, RILEM 1982.

Agradecimentos

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) que proporcionou a bolsa de Auxílio de Pesquisa que sem a qual não teria sido possível desenvolver a pesquisa.