

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA ADERÊNCIA DE
REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA E CHAPISCOS EM
SUBSTRATO DE CONCRETO**

Aluno: FELIPE REGERT RUDUIT
Orientadora: Prof^a. ANGELA BORGES MASUERO

Porto Alegre
setembro de 2009

Felipe Regert Rudit

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA ADERÊNCIA DE
REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA E CHAPISCOS EM
SUBSTRATO DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Orientação: Prof^a. Dra. Angela Borges Masuero.

Porto Alegre
2009

R917c Rudit, Felipe Regert

Contribuição ao estudo da aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substrato de concreto / Felipe Regert Rudit. – 2009.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2009.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Angela Borges Masuero

1. Argamassa – Ensaios. 2. Argamassa de revestimento. I. Masuero, Angela Borges, orient. II. Título.

CDU-691.53(043)

FELIPE REGERT RUDUIT

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA ADERÊNCIA DE
REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA E CHAPISCOS EM
SUBSTRATO DE CONCRETO**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Construção civil, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 16 de outubro de 2009

Prof^a. Angela Borges Masuero
Dr^a. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)
Dr^a pela Universidade de São Paulo

Prof^a. Fernanda Macedo Pereira (ULBRA/CIENTEC)
Dr^a. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Elton Bauer (UNB)
Dr. pela Universidade de São Paulo

*Dedicado às pessoas mais importantes da minha vida
Meus pais, Beatriz e Mauro
Meus irmãos, Gabriel e Luiza
Minha namorada, Fernanda.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar devo agradecer a minha mãe Beatriz que é um exemplo de força e determinação para seus filhos. Ao meu pai Mauro e ao meu tio Arno que souberam ensinar a importância do estudo. À minha namorada Fernanda pelo apoio e compreensão, também aos meus irmãos Gabriel e Luiza pelo companheirismo durante toda a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer à CIENTEC através dos meus chefes, Fernando Recena e Fernanda Pereira, que sempre me apoiaram além de me fornecer suporte para realização do experimento e pesquisa, e a todos os colegas, principalmente Néelson, José Wilson, Clóvis, Jocelino, Lauro, Rômulo e Paulo Matheus, que provavelmente não saibam o quão importante foram suas participações.

Obviamente gostaria de agradecer à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que há muitos anos se tornou muito mais do que simplesmente um local de estudo e que através do NORIE possibilitou esta dissertação. À minha orientadora Angela Borges Masuero, quem teve a idéia inicial deste trabalho e o guiou até o final. Aos demais professores do NORIE pela forma como colocam seu conhecimento à disposição dos alunos. Ao Ayrton, Éder, Giovane e colegas do NORIE, principalmente Luciane, Daniel, Cristiane, Francieli, Anderson e Simone pela disposição em ajudar em diversas oportunidades.

Também agradeço às pessoas que deram contribuições muito importantes a este trabalho como Camila Molon, Eng. João Paulo Giusti Colussi, Eng. Josué Arndt, Eng^a. Márcia Elisa J. Pretto, Eng. Roberto Sukster e os técnicos das empresas que forneceram materiais e informações para o experimento.

RESUMO

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao Estudo da Aderência de Revestimentos de Argamassa e Chapiscos em Substrato**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A grande ocorrência de manifestações patológicas em revestimentos de argamassa associadas à falha de aderência a substratos de concreto cada vez mais chama a atenção do meio técnico, pois além de prejuízos às edificações, pode representar risco aos usuários, motivando diversos trabalhos sobre o assunto. Abordando o problema, a presente dissertação teve como tema a aderência de revestimentos de argamassa à substratos de concreto estrutural. Além da revisão bibliográfica, foram realizadas uma pesquisa em cima de dados de ensaios de resistência de aderência de revestimentos de argamassa em obras e edificações em uso e um programa experimental executado em laboratório. A pesquisa analisou dados obtidos de determinações de resistência de aderência à tração em revestimentos de argamassa de construções e edificações em uso em cidades do Rio Grande do Sul, principalmente na capital Porto Alegre. As informações foram coletadas de ensaios em analogia à NBR 13528 (ABNT, 1995) realizados pelo Departamento de Materiais de Construção Civil da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC/RS) entre 1998 e 2009, totalizando 2616 resultados. Foram correlacionados resistências de aderência, regiões de ruptura e tipos de revestimentos e substratos com o objetivo de analisar as interações destes parâmetros com os resultados de aderência. Entre as constatações destacam-se a aderência dos revestimentos aplicados sobre substratos de concreto estrutural, inferior aos substratos de alvenaria, que apresentaram média de aderência 60 % superior, e a maior ocorrência e menor valor médio de resistência das rupturas na interface concreto/chapisco nos ensaios realizados em revestimentos sobre concreto, resultados que ressaltam a importância do tema abordado e o programa experimental desta dissertação. O experimento realizado em laboratório analisou a influência da cura do chapisco na resistência de aderência de revestimentos de argamassa sobre painéis de concreto utilizando diferentes chapiscos, três convencionais e um industrializado (do tipo adesivo e aplicado com desempenadeira). Dos chapiscos convencionais, dois utilizaram CP IV-32 com traços 1:2 e 1:3 (em volume) e um utilizou CP II-Z e traço 1:3. As camadas de chapisco, logo após sua aplicação, receberam diferentes tratamentos de cura, variando a temperatura do ambiente (23 °C e 50 °C) e a umidificação das amostras, mantendo-se fixas a umidade do ambiente, os substratos e os revestimentos aplicados após cura dos chapiscos. A resistência de aderência à tração dos revestimentos foi verificada segundo a NBR 13528 (ABNT, 1995). O chapisco industrializado apresentou resistência de aderência 156 % superior à média dos chapiscos convencionais. Entre os chapiscos convencionais, o cimento utilizado mostrou influência significativa na aderência, onde o CP II-Z apresentou resultados superiores ao CP IV. A temperatura de cura também foi significativa nos valores de aderência dos chapiscos, que apresentaram queda significativa de 47,3 % quando curados com temperatura de 50 °C. Corpos-de-prova moldados das argamassas de chapisco e curados de forma equivalente aos chapiscos dos painéis foram ensaiados quanto à resistência mecânica e absorção por capilaridade, segundo as NBR's 13279 e 15259 (ABNT, 2005) respectivamente, onde foram percebidos efeitos significativos da temperatura e tipo de cura e tipo de chapisco nos resultados.

Palavras-chave: argamassa de chapisco, cura do chapisco, revestimento de argamassa, resistência de aderência, substrato de concreto, temperatura de cura

ABSTRACT

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao Estudo da Aderência de Revestimentos de Argamassa e Chapiscos em Substrato**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Contribution to Study of the Bond Strength of Mortar Renderings and Slurry Mortars on Concrete Substrate

The high occurrence of pathologies in the mortar coverings associated with the failure of adhesion to concrete substrate increasingly catch the attention of technical community, as well as damage to buildings, can pose a hazard to users, resulting in several works on the subject. Approaching the subject, this paper was titled the adhesion of mortar renderings to structural concrete substrates. In addition to the literature review, were conducted a research upon data from tests on bond strength of mortar renderings in works and buildings in use and an experimental program performed in laboratory. The study analyzed data obtained from measurements of bond tensile strength in mortar renderings of constructions and buildings in use in cities of Rio Grande do Sul, mainly in the capital Porto Alegre. Information was collected from tests in analogy to NBR 13528 (ABNT, 1995) conducted by the Department of Construction Material of the Foundation of Science and Technology (CIEN TEC/RS) between 1998 and 2009, totaling 2616 results. Resistances were correlated to adherence, regions of rupture and types of renderings and substrates in order to analyze the interactions of these parameters with the bond strength results. Among the findings highlight the adherence of coatings applied to substrates of structural concrete, below the masonry substrates, which showed an average 60% higher, and a higher rate and lower mean resistance of the breaks at the interface concrete/slurry in the trials performed in coatings on concrete, results that accentuate the importance of the theme and the experimental program of this paper. The laboratory experiment examined the influence of slurry mortar curing on the bond strength of mortar renderings on concrete panels using different slurry mortars, three conventional and one industrialized (adhesive type and applied with spattle). Two of conventional mortars used CP IV-32 1:2 and 1:3 volume proportion and one used CP II-Z and 1:3 proportion. Soon after its application, the layer of slurry mortar, received different curing treatments, varying the temperature (23 °C and 50 °C) and humidification of the samples, keeping fixed the ambient humidity, substrate concretes and renderings applied after slurry curing. The bond tensile strength of renderings was verified according to NBR 13528 (ABNT, 1995). The industrialized slurry mortar presented bond strength 156% higher than the average conventional slurries. Among conventional mortars, cement used showed significant influence on bond strength, where the CP II-Z showed better results than the CP IV. The curing temperature was also significant in the bond strength values of slurries, which decreased significantly from 47.3% when cured at 50 °C. Specimens of slurry mortars and cured in an equivalent manner to rendered panels were tested for mechanical strength and absorption by capillarity, according to NBR's 13,279 and 15259 (ABNT, 2005) respectively, which were perceived significant effects of temperature and type of curing and type of mortars on the results.

Palavras-chave: bond strength, concrete substrate, cure of slurry mortar, cure temperature, mortar rendering, slurry mortar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 JUSTIFICATIVA.....	20
1.2 OBJETIVOS.....	21
2 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	22
2.1 ORIGEM	22
2.2 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA.....	23
2.3 CAMADA DE PREPARO (CHAPISCO)	26
2.4 TIPOS DE CHAPISCO	29
2.4.1 Chapiscos Convencionais	30
2.4.2 Chapiscos Rolados	31
2.4.3 Chapiscos Adesivos ou Colantes	33
2.5 ARGAMASSAS DE CHAPISCO MODIFICADAS COM POLÍMEROS.....	35
3 ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS AOS SUBSTRATOS	37
3.1 MECANISMOS DE ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS	37
3.2 INFLUÊNCIA DA CURA NA ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS	44
3.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E FALHAS DE ADERÊNCIA NOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA.....	46
3.4 SUBSTRATOS DE CONCRETO	50
3.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA	52
4 ANÁLISE DE DADOS SOBRE ENSAIOS DE CAMPO	57
4.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA REALIZADO PELA CIENTEC/RS	57
4.2 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	59
4.3 RESULTADOS DA PESQUISA	65
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL	74
5.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO.....	74
5.2 MATERIAIS	81
5.2.1 Concreto (substrato)	81
5.2.2 Chapisco (argamassa de preparação da superfície)	83
5.2.3 Argamassa de Revestimento	86
5.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	89
5.3.1 Preparação dos Substratos	90
5.3.2 Preparação e Cura dos Chapiscos	93
5.3.3 Preparação dos Revestimentos	96

5.3.4	Caracterização e Controle dos Materiais	99
5.4	ENSAIOS	102
5.4.1	Análise dos Efeitos das Variáveis Independentes do Experimento nas Argamassas de Chapisco.....	102
5.4.2	Determinação da Resistência de Aderência	103
5.4.3	Relação dos Ensaios do Experimento	111
6	RESULTADOS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL	112
6.1	RESULTADOS DE CONTROLE E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .	112
6.1.1	Resultados de Caracterização e Controle do Substrato.....	112
6.1.2	Resultados de Controle e Caracterização dos Chapiscos	113
6.1.3	Caracterização e Controle da Argamassa de Revestimento	117
6.2	RESULTADOS DE ANÁLISE DAS ARGAMASSAS DE CHAPISCO (EFEITO DA TEMPERATURA E PROCESSO DE CURA).....	119
6.2.1	Análise da Resistência à Tração e Compressão das Argamassas de Chapisco	119
6.2.2	Análise de Absorção e Coeficiente de Capilaridade das Argamassas de Chapisco.....	129
6.3	RESULTADOS DA ANÁLISE DE ADERÊNCIA.....	135
6.3.1	Resistência de Aderência à Tração	135
6.3.2	Resumo dos Resultados dos Ensaios de Análise.....	142
6.3.3	Análise das Regiões de Ruptura	145
6.3.4	Análise da Extensão de Aderência	150
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	160
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	164
	REFERÊNCIAS.....	165
	APÊNDICE.....	171

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: escala cronológica dos materiais usados em argamassas (MARTINELLI, 1989 apud IOPPI, 1995).....	23
Figura 2: tipos de chapisco: (a) convencional; (b) rolado e (c) adesivo ou colante (CEOTTO et al., 2005)	30
Figura 3: aplicação de chapisco rolado (MACEDO et al., 2007)	31
Figura 4: aplicação de chapisco adesivo.....	34
Figura 5: argamassa modificada com 20% de “látex estireno-butadieno” (SBR) (AFRIDI et al., 2003)	37
Figura 6: mecanismo de aderência da argamassa a substratos porosos (CARASEK et al., 2001 apud PAES, 2004)	41
Figura 7: microestrutura de interface tijolo/argamassa (POLITO et al., 2009)	42
Figura 8: microestrutura da interface chapisco comum/concreto: (a) cristais de C-S-H e de etringita e (b) cristais de etringita (SILVA e LIBÓRIO, 2003).....	43
Figura 9: deslocamento de revestimento de argamassa aplicado sobre substrato de concreto estrutural (CARASEK et al., 2005)	50
Figura 10: deslocamento de revestimento interno e externo de argamassa aplicado sobre substrato de concreto estrutural: (a) fundo de laje e (b) viga	51
Figura 11: passos do ensaio de resistência de aderência: (1) corte; (2) colagem da pastilha; (3) medição da carga de ruptura e (4) verificação da região de ruptura (REVISTA TÉCNICA, 2008).....	53
Figura 12: locais de ruptura em ensaios de aderência de acordo a NBR 13528 (ABNT, 1995): (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola e (e) interface cola/pastilha.....	54
Figura 13: ensaios em revestimento de argamassa externo: (a) realização do furo; (b) colagem da pastilha metálica; (c) corpos-de-prova prontos para ensaio e (d) depois de ensaiados	58
Figura 14: verificação em revestimento de teto: (a) realização de furo e (b) após ensaio.....	59
Figura 15: equipamento utilizado na medição da resistência de aderência pela CIENTEC/RS: (a) vista geral e (b) marcador de carga.....	59
Figura 16: aspecto superficial: (a) furo e (b) respectivo c.p. de ruptura na interface substrato de concreto/chapisco; (c) furo e (d) respectivo c.p. de ruptura na interface substrato de alvenaria/chapisco; (e) furo e (f) respectivo c.p. de ruptura na interface chapisco/emboço	62
Figura 17: aspecto superficial de (a) furo e (b) respectivo c.p. de exemplo de ruptura na argamassa de emboço.....	63
Figura 18: aspecto superficial de (a) furo e (b) respectivo c.p. de ruptura ocorrida parte na interface substrato de concreto/chapisco e parte na interface chapisco/emboço	64

Figura 19: efeitos dos valores de aderência: (a) por tipo de revestimento; (b) por substrato e (c) interação tipo de revestimento e substrato	67
Figura 20: efeito do local de ruptura e substrato nos resultados de aderência	69
Figura 21: efeito do local de ruptura nos resultados de aderência em substratos de alvenaria.....	70
Figura 22: efeito do local de ruptura nos substratos de concreto	71
Figura 23: amostras de substratos (prismas) utilizados no experimento.....	75
Figura 24: (a) manta para cura utilizada no experimento e (b) exemplo do uso em obra (fonte: www.geobrasil.com.br).....	77
Figura 25: temperatura equivalente de uma superfície em relação ao horário de um dia, correspondendo ao efeito térmico da temperatura do ar e radiação solar incidente (RIVERO, 1985, Figura 9.1, p. 83)	78
Figura 26: temperaturas correspondentes ao dia de cálculo de verão para os quatro rumos em Porto Alegre, com $\alpha = 1,00$ (AROZTEGUI, 1984, Figura 21, p. 85)	79
Figura 27: representação esquemática do corpo-de-prova com as camadas de chapisco e revestimento.....	80
Figura 28: variáveis independentes do programa experimental e seus níveis	80
Figura 29: combinações das variáveis analisadas no experimento.....	81
Figura 30: granulometria a laser dos cimentos: (a) CP II-Z e (b) CP IV (ensaio realizado no LACER – UFRGS)	85
Figura 31: preparação dos moldes dos prismas.....	90
Figura 32: (a) mistura dos materiais em betoneira de eixo vertical, (b) moldagem dos prismas e (c) vista geral dos prismas e corpos-de-prova moldados por concretagem	91
Figura 33: equipamentos de controle da sala climatizada: (a) controles e aparelho de ar-condicionado; (b) aquecedores e (c) vaporizador	92
Figura 34: preparo superficial dos substratos de concreto: (a) lavagem após desfôrma com água quente e escova com cerdas plásticas, (b) cura na câmara úmida e (c) preparação dos substratos com escova de aço antes da aplicação dos chapiscos	93
Figura 35: (a) aplicação de chapisco convencional e (b) industrializado.....	94
Figura 36: (a) umedecimento e (b) cobertura das amostras com manta molhada	95
Figura 37: cura com temperatura elevada: (a) detalhe do equipamento de controle ambiental e (b) medição	95
Figura 38: (a) substratos de concreto já posicionados nos gabaritos e (b) detalhes do gabarito e espaçamento disponível para preenchimento com a argamassa de revestimento.....	97
Figura 39: argamassa de revestimento: (a) preparação e (b) aplicação	98
Figura 40: cronograma semanal das etapas da parte experimental da dissertação .	98
Figura 41: cronograma diário das etapas do experimento	99

Figura 42: ensaio de caracterização do concreto dos substratos: (a) resistência à compressão e (b) absorção por capilaridade	100
Figura 43: ensaio de (a) resistência à tração e (b) retenção de água da argamassa de revestimento.....	102
Figura 44: corpos-de-prova das argamassas de chapisco submetidos a: (a) cura ambiente e (b) úmida	103
Figura 45: ensaios de (a) absorção capilar e (b) resistência à tração e (c) compressão das argamassas de chapisco	103
Figura 46: (a) equipamento utilizado para captação das imagens e (b) imagem ampliada (5x) da região da camada de preparo da seção de um dos painéis do experimento obtida por lupa estereoscópica.....	104
Figura 47: (a) realização dos furos e suporte para apoio da furadeira e (b) painel já preparado.....	106
Figura 48: (a) pastilhas e (b) aderímetro utilizados no experimento.....	107
Figura 49: (a) preparação e (b) pastilhas metálicas prontas para ensaio de aderência	107
Figura 50: (a) execução do ensaio de aderência com aderímetro e (b) detalhe do acoplamento da pastilha ao equipamento.....	108
Figura 51: exemplos de (a) pastilhas arrancadas e (b) suas seções de ruptura	109
Figura 52: regiões de ruptura após aplicação dos esforços de tração: (a) interface substrato/chapisco, (b) interface chapisco/emboço, (c) parte na interface substrato/chapisco e parte na interface chapisco/emboço, (d) parte no chapisco, parte na interface chapisco/emboço e parte no emboço, (e) parte na interface chapisco/revestimento e parte no revestimento	110
Figura 53: absorção média por capilaridade do concreto dos substratos (ensaio de caracterização).....	112
Figura 54: influência do tipo de chapisco na resistência à tração na flexão (a) e compressão (b) das amostras de argamassa de chapisco	116
Figura 55: resultados das resistências: (a) à tração e (b) à compressão aos 28 dias	122
Figura 56: efeito do tipo de chapisco nos resultados de: (a) resistência à tração e (b) compressão das argamassas para todos os tipos de cura	123
Figura 57: (a) efeito da cura e (b) da interação tipo de cura e chapisco nos resultados de resistência à compressão das argamassas de chapisco	125
Figura 58: (a) efeito da temperatura de cura nos resultados de resistência à tração e (b) compressão das argamassas	126
Figura 59: (a) efeito da interação tipo e temperatura de cura nos resultados de resistência à tração e (b) compressão das argamassas	127
Figura 60: efeito da interação tipo de chapisco e temperatura de cura nos resultados de: (a) resistência à tração e (b) compressão das argamassas.....	128

Figura 61: efeito da interação tipo de cura, chapisco e temperatura de cura nos resultados de: (a) resistência à tração e (b) compressão das argamassas	128
Figura 62: exemplo de amostras de diferentes tipos de argamassas de chapisco curadas com umidade a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ após ensaio de absorção por capilaridade.....	131
Figura 63: coeficientes médios de capilaridade por tipos de chapisco e cura.....	131
Figura 64: influências: (a) do tipo de cura; (b) da temperatura de cura e (c) tipo de chapisco nos coeficientes de capilaridade das argamassas de chapisco	132
Figura 65: influência do tipo de cura e tipo de chapisco nos coeficientes de capilaridade das argamassas de chapisco.....	133
Figura 66: influência da temperatura de cura e tipo de chapisco nos coeficientes de capilaridade das argamassas de chapisco.....	134
Figura 67: ensaio de resistência de aderência à tração na flexão do experimento .	135
Figura 68: médias de resistência de aderência	137
Figura 69: efeito da temperatura na resistência de aderência	139
Figura 70: efeito dos tipos de chapisco na resistência de aderência	140
Figura 71: resumos dos resultados de análise	144
Figura 72: tipos de ruptura de acordo com o fator temperatura de cura	146
Figura 73: tipos de ruptura de acordo com o fator tipo de cura.....	146
Figura 74: tipos de ruptura de acordo com o fator tipo de chapisco.....	147
Figura 75: comparação das médias de aderência por tipo de ruptura em revestimentos sobre substrato de concreto.....	149
Figura 76: ocorrência de rupturas na interface substrato de concreto/argamassa de chapisco por faixas de resistência de aderência	150
Figura 77: ampliação (5x) de fragmentos dos painéis com chapisco “CP IV 1:2”: (a) curado ao ambiente a 23°C ; (b) curado ao ambiente a 50°C ; (c) cura úmida a 23°C e (d) cura úmida a 50°C	151
Figura 78: ampliação (5x) de fragmentos dos painéis com chapisco “CP IV 1:3”: (a) curado ao ambiente a 23°C ; (b) curado ao ambiente a 50°C ; (c) cura úmida a 23°C e (d) cura úmida a 50°C	152
Figura 79: ampliação (5x) de fragmentos dos painéis com chapisco “CP II-Z 1:3”: (a) curado ao ambiente a 23°C ; (b) curado ao ambiente a 50°C ; (c) cura úmida a 23°C e (d) cura úmida a 50°C	153
Figura 80: detalhes ampliados (5x) de falhas de aderência: (a) “CP IV 1:2” curado ao ambiente a 23°C ; (b) “CP IV 1:2” curado ao ambiente a 50°C ; (c) “CP IV 1:2” com cura úmida a 23°C e (d) “CP II-Z 1:3” curado ao ambiente a 50°C	155
Figura 81: ampliação (5x) de fragmentos dos painéis com chapisco adesivo: (a) curado ao ambiente a 23°C ; (b) curado ao ambiente a 50°C ; (c) cura úmida a 23°C e (d) cura úmida a 50°C	156
Figura 82: detalhe (aumento de 5 x e 20 x) de interface entre chapisco adesivo e argamassa de revestimento	157

Figura 83: marcação e medição de perímetro (destacado) para determinação em escala do comprimento, em mm, da interface chapisco/emboço: (a) "CP IV 1:3" cura ambiente a 50°C; (b) "CP IV 1:3" cura úmida a 50°C; (c) chapisco adesivo cura ambiente a 50°C e (d) chapisco adesivo cura úmida a 50°C158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única segundo a NBR 13749 (ABNT, 1996).....	53
Tabela 2: regiões de ruptura dos revestimentos definidos para a pesquisa.....	60
Tabela 3: resultados de aderência de revestimentos	65
Tabela 4: resultados de aderência e tipos de ruptura	66
Tabela 5: resultados da análise de variância do tipo de revestimento	67
Tabela 6: resultados da análise de variância dos fatores substrato e local de ruptura	69
Tabela 7: análise de variância dos resultados por local de ruptura em substratos de alvenaria.....	69
Tabela 8: comparação múltipla de médias dos resultados de aderência do substrato de alvenaria por local de ruptura pelo teste de Duncan	70
Tabela 9: análise de variância dos resultados por local de ruptura em substratos de concreto	71
Tabela 10: comparação múltipla de médias dos resultados de aderência do substrato de concreto por local de ruptura pelo teste de Duncan	72
Tabela 11: características físicas dos agregados miúdos empregados na produção do concreto dos substratos	82
Tabela 12: características físicas do agregado graúdo utilizado na produção do concreto dos substratos	83
Tabela 13: características físicas e mecânicas dos cimentos utilizados	84
Tabela 14: características químicas dos cimentos utilizados no experimento.....	84
Tabela 15: características físicas da areia dos chapiscos.....	85
Tabela 16: características físicas da areia do revestimento.....	87
Tabela 17: características químicas e físicas da cal hidratada utilizada nos revestimentos.....	88
Tabela 18: materiais e proporcionamentos empregados no experimento.....	89
Tabela 19: representação esquemática dos resultados de resistência de aderência dos revestimentos aos 28 dias	105
Tabela 20: regiões de ruptura do ensaio de aderência do experimento.....	109
Tabela 21: relação dos ensaios realizados no experimento.....	111
Tabela 22: valores de absorção por capilaridade (g/cm ²) do concreto dos substratos	112
Tabela 23: resistências à compressão dos concretos de substrato	113
Tabela 24: retenção de água das argamassas de chapisco	113

Tabela 25: resultados de controle das argamassas de chapisco quanto as resistências à flexão e compressão aos 28 dias	114
Tabela 26: médias e desvios padrão dos resultados de resistência à tração na flexão e compressão para controle dos chapiscos	115
Tabela 27: análise de variância dos resultados de resistência à tração na flexão para controle dos chapiscos	116
Tabela 28: análise de variância dos resultados de resistência à compressão para controle dos chapiscos	116
Tabela 29: comparação múltipla de médias dos resultados de controle de resistência à tração dos chapiscos pelo teste de Duncan	117
Tabela 30: comparação múltipla de médias dos resultados de controle de resistência à compressão dos chapiscos pelo teste de Duncan	117
Tabela 31: resistências à tração e compressão das argamassas de revestimento produzidas nas 8 misturas distintas	118
Tabela 32: análise de variância dos resultados de tração dos revestimentos.....	119
Tabela 33: análise de variância dos resultados de compressão dos revestimentos.....	119
Tabela 34: resistência à tração na flexão e compressão das argamassas de chapisco de diferentes traços submetidos a diferentes tipos de cura aos 28 dias	120
Tabela 35: médias e desvios padrão dos resultados de resistência à tração na flexão e compressão de chapiscos de diferentes traços submetidos a diferentes tipos de cura	121
Tabela 36: análise de variância dos resultados de resistência à tração dos chapiscos sujeitos às variações de cura	122
Tabela 37: análise de variância dos resultados de resistência à compressão dos chapiscos sujeitos às variações de cura	123
Tabela 38: comparação múltipla de médias das resistências à tração pelo teste de Duncan	124
Tabela 39: comparação múltipla de médias das resistências à compressão pelo teste de Duncan	124
Tabela 40: resultados de absorção por capilaridade.....	130
Tabela 41: análise de variância dos resultados de coeficiente de capilaridade	131
Tabela 42: comparação múltipla de médias dos coeficientes de capilaridade pelo teste de Duncan	133
Tabela 43: resultados dos ensaios de resistência de aderência	136
Tabela 44: médias, desvios-padrão e variâncias das resistências de aderência	137
Tabela 45: análise de variância dos resultados de aderência.....	137
Tabela 46: comparação múltipla de médias dos resultados de aderência	141
Tabela 47: regiões de rupturas ocorridas nos ensaios do experimento	145
Tabela 48: análise das rupturas por fator do experimento	146

Tabela 49: média de resistência de aderência e ocorrência de ruptura na interface concreto/chapisco dos tipos de chapisco do experimento	147
Tabela 50: ocorrência e média de resistência de aderência dos tipos de ruptura do experimento.....	148

1 INTRODUÇÃO

Embora antigo, o uso da argamassa como solução para o revestimento interno e externo de paredes de edificações continua intenso devido, provavelmente, a características deste material como sua simplicidade, baixo custo, disponibilidade de seus componentes e aceitação. Em geral o revestimento é aplicado sobre dois tipos de substratos, o concreto de peças estruturais e a alvenaria. Esta última apresenta irregularidades formadas pelas juntas de assentamento, porosidade do material e ranhuras em alguns casos, o que propicia melhores condições para a aderência do revestimento de argamassa, tanto na macroancoragem quanto na microancoragem ao substrato. Já os concretos de peças estruturais como as vigas e pilares formam uma base mais lisa e menos porosa que as alvenarias, o que o torna um substrato mais propício às falhas de aderência (principalmente quando se tratam de elevadas resistências características).

Dentre as qualidades de um revestimento de argamassa, a aderência ao substrato é uma das mais importantes, já que se relaciona a fatores como a durabilidade, aspecto, estanqueidade e segurança da edificação, principalmente se o revestimento compuser uma fachada.

Para melhorar a aderência, especialmente no caso de superfícies de concreto, é comum se aplicar uma camada de preparo do substrato que, geralmente, se trata de uma argamassa de cimento e areia média ou grossa, chamada de chapisco, como ligação entre o substrato e a argamassa de revestimento. O chapisco tem como principal função o aumento da aderência da argamassa de revestimento, tanto nos momentos iniciais após o lançamento da argamassa fresca e após seu endurecimento, melhorando a microancoragem e macroancoragem do revestimento.

Mas, apesar de sua influência na estabilidade do sistema do revestimento e de se tratar de material composto de cimento, não é prática nas construções a realização da cura dos chapiscos e revestimentos de argamassa, mesmo este sendo um dos

cuidados mais importantes dados a materiais cimentícios, com relevância já conhecida nas qualidades mecânicas de uma argamassa. Este fato talvez tenha como explicação as dificuldades técnicas encontradas na realização de cura no caso de revestimentos e chapiscos, principalmente externos, onde seriam necessárias soluções que garantissem a manutenção da umidade de argamassas em contato direto com o ambiente externo, intempéries e muitas vezes localizados em panos de grande área e em locais de difícil acesso.

1.1 JUSTIFICATIVA

A grande ocorrência de falhas de aderência em revestimentos de argamassa e os riscos envolvidos justificam a procura por soluções e tratamentos que possam aumentar a resistência de aderência dos revestimentos de argamassa, elevando sua vida útil e melhorando as condições de segurança contra deslocamentos e queda de fragmentos de argamassa.

Talvez o problema mais grave que um revestimento de argamassa pode apresentar é a sua perda de estabilidade ao ocorrer a falha da sua aderência com o substrato (base). Tal defeito pode gerar deslocamentos que, quando ocorridos na face externa de uma fachada em um ponto de altura elevada, pode danificar o patrimônio e bens localizados no entorno e, principalmente, colocar em risco a segurança de pessoas que estejam próximas ao local. As falhas na aderência dos revestimentos de argamassa ocorrem muitas vezes na interface da sua ponte de aderência (chapisco) com superfícies de elementos estruturais de concreto, podendo ser atribuídas à má qualidade do material, má preparação da base, aplicação incorreta e excesso de espessura do emboço ou reboco.

Novas práticas da construção como o uso de fôrmas mais lisas, desmoldantes e a busca por concretos menos permeáveis e com resistências elevadas também geram condições propícias para falhas de aderência e tendem ser cada vez mais comuns nos canteiros de obra. Estruturas mais esbeltas e, portanto, mais deformáveis e o carregamento precoce das mesmas são outras tendências atuais que prejudicam a aderência dos revestimentos ao causarem maiores deformações nos substratos. Há

também o conjunto de tensões a que a aderência de um revestimento é submetida, principalmente nas regiões externas ou fachadas, devido ao contato direto com agentes ambientais como a umidade, variação de temperatura, vento, entre outros. Portanto, devido a tantos fatores prejudiciais à ancoragem das argamassas aos substratos, existe uma grande preocupação dos técnicos envolvidos e a busca por meios de melhorar a estabilidade dos revestimentos, bem como o maior entendimento dos mecanismos envolvidos na sua aderência.

A realização da cura dos chapiscos, embora não sendo prática nas construções do sul do Brasil, ameniza a sua perda excessiva de água para o substrato e principalmente para o ambiente, o que poderia prejudicar a hidratação do cimento, aumentar a porosidade e microfissuração por retração. Este cuidado pode aumentar a resistência mecânica dos chapiscos, conseqüentemente melhorando a sua aderência aos substratos.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo principal verificar a influência da cura do chapisco na aderência dos revestimentos de argamassa aplicados sobre substratos de concreto.

Os objetivos específicos do experimento são:

- analisar a influência do tipo de chapisco na resistência de aderência em substrato de concreto;
- analisar a influência de duas diferentes faixas de temperatura ambiente na cura do chapisco em relação à resistência de aderência;
- analisar o efeito do tipo (processo) de cura (úmida ou não) na aderência;
- verificar a influência do teor e do tipo de cimento utilizado na confecção do chapisco na resistência de aderência.

Além do experimento mencionado, o trabalho teve como objetivo realizar uma pesquisa envolvendo dados obtidos de diversos ensaios de resistência de aderência a tração em revestimentos de argamassa, realizados em obras e edificações no estado do Rio Grande do Sul de 1998 a 2009. Com esta pesquisa buscou-se

procurar informações relevantes sobre valores médios e comportamento geral das rupturas ocorridas nos ensaios de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa.

2 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

2.1 ORIGEM

Provavelmente desde que deixou de viver em cavernas ou outro abrigo natural, o homem passou a criar e aprimorar técnicas construtivas na busca de melhores condições para adaptação ao ambiente onde esteve inserido. Esta busca, certamente, fez parte da evolução da espécie, e um dos passos mais importantes nesse contexto talvez tenha surgido na tentativa de consolidar materiais com o intuito de isolar, proteger, unir ou reforçar elementos de construções. Desde épocas remotas o homem emprega materiais que têm a finalidade de unir solidariamente elementos de várias naturezas na construção de edificações (RECENA, 2008). A argamassa pode ser considerada um desses materiais.

O uso de argamassas surgiu a tanto tempo que é difícil encontrar registros que definam com exatidão sua origem. Segundo Recena (2008) nas pirâmides de Gizé e Quéfrem, construídas entre 2980 a 2925 a.C., foram encontradas argamassas que continham cal e areia natural, o que leva a entender que as primeiras argamassas utilizavam a cal como aglomerante. Ribeiro & Lopes (2007) afirmam que o conceito antigo de “argamassa” está intrinsecamente associada à utilização da cal como elemento ligante.

As argamassas com cal ainda foram largamente usadas pelos Gregos, porém os primeiros aglomerantes hidráulicos foram usados pelos Romanos que passaram a incorporar às misturas, cinzas vulcânicas obtidas da região de Pozzuoli, de onde se origina o nome pozolana (RECENA, 2008). Segundo Alvarez (2007), os romanos, percebendo as elevadas resistências das argamassas hidráulicas, com a introdução

de pozolanas naturais ou artificiais, as usaram tendo em conta um novo processo construtivo. Já o conceito atual de “argamassa” está intrinsecamente associado à utilização do cimento como elemento ligante, tendo em conta que este começou a ser usado apenas numa fase já avançada da Revolução Industrial (século XIX) (RIBEIRO e LOPES, 2007). Com a invenção do cimento Portland houve uma evolução nas argamassas que, a partir de então, tiveram sua resistência aumentada e a aderência às bases muito melhorada já nas idades iniciais.

Portanto, somente a partir do surgimento do cimento Portland é que surgiu a argamassa, assim como a conhecemos hoje, unindo-se à cal que já era utilizada desde as primeiras grandes civilizações. A Figura 1 mostra, através de uma escala cronológica, a evolução das argamassas quanto a seus componentes.

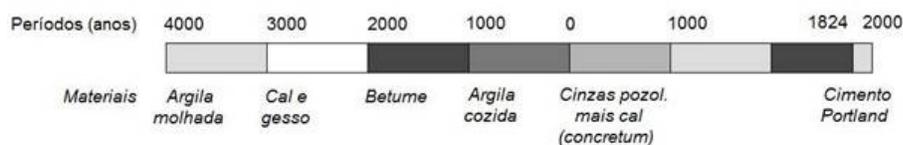


Figura 1: escala cronológica dos materiais usados em argamassas (MARTINELLI, 1989 apud IOPPI, 1995)

2.2 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Os revestimentos de argamassa são largamente utilizados no Brasil devido provavelmente à sua simplicidade, baixo custo, disponibilidade de seus componentes e por ser tradicionalmente uma solução de revestimento que conta com a aceitação dos usuários e o conhecimento por parte da mão-de-obra, além de ser moldável a qualquer forma e permitir a execução de diversos tipos de detalhes e texturas. Segundo Temoche-Esquivel et al. (2007), os revestimentos de argamassa são os mais utilizados no processo de produção de vedações verticais seja como camada de acabamento ou de regularização, com argamassa industrializada ou com argamassa dosada “in loco”.

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 1995), o conjunto formado por revestimento em argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base,

condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto, define o sistema de revestimentos de argamassa. Para Ribeiro et al. (2005), os revestimentos de argamassa são considerados um método construtivo quase obrigatório nas edificações brasileiras. Estes continuam sendo largamente empregados, não obstante os problemas relacionados à sua produção, notadamente a baixa produtividade, os altos índices de desperdício e as manifestações patológicas.

O bom desempenho dos revestimentos de argamassa não se encaixa somente na esfera estética das edificações. Sandin (1995) e Recena (2008) citam como funções primordiais da argamassa de revestimento, considerando a sua interação com o substrato e o ambiente:

- proteger a construção de tensões climáticas e mecânicas;
- criar uma aparência estética agradável;
- reduzir a permeabilidade do substrato de aplicação;
- garantir bom acabamento ao paramento revestido;
- absorver as deformações naturais a que uma estrutura está sujeita;
- regularizar e/ou proteger mecanicamente substratos constituídos por sistemas de impermeabilização ou isolamento termoacústico.

Segundo Recena (2008), as propriedades que as argamassas devem apresentar para que cumpram as funções acima relacionadas:

- trabalhabilidade adequada à função a que se destinam;
- eficiente capacidade de retenção de água;
- durabilidade compatível à vida útil prevista para a edificação;
- estabilidade química frente aos agentes de deterioração e sem a ocorrência de alterações em seus constituintes representadas por reações retardadas;
- estabilidade física a partir de uma resistência mecânica compatível com as solicitações determinadas por ciclos alterados de molhagem e secagem;

- capacidade de aderir ao substrato formando um sistema com resistência de aderência compatível com as solicitações e
- módulo de elasticidade tão baixo quanto o necessário para dotar as argamassas de capacidade de absorver por deformação tensões internas geradas pela movimentação da estrutura e/ou materiais que a compõem.

Ao contribuir na estanqueidade aos gases e água, no isolamento termo-acústico das vedações verticais e também na estética da construção, o revestimento das fachadas acaba cumprindo um papel importante no desempenho global dos edifícios. Portanto o material do revestimento, além de não apresentar fissuras, deve ser suficientemente denso e a aderência ao substrato deve ser boa e durável (CANDIA e FRANCO, 1998).

Além de importantes na qualidade das construções, os revestimentos de argamassa chamam atenção do meio técnico devido a diversas manifestações patológicas relacionadas que afetam o desempenho global das edificações. Segundo Recena (2008) provavelmente as principais manifestações patológicas que podem ocorrer em um revestimento de argamassa são aquelas que prejudicam ou impedem o desempenho das suas funções mais importantes, sendo que, dos problemas mais graves, muitos estão diretamente ou indiretamente relacionadas com a perda de aderência dos revestimentos aos substratos.

O conhecimento dos materiais, a avaliação das propriedades dos substratos, argamassas e revestimentos, e, principalmente, a capacidade de avaliar a interação estabelecida entre a argamassa e o substrato são preceitos básicos para se construir revestimentos eficientes e duráveis. Porém, tais quesitos nem sempre despertam o interesse e a preocupação dos construtores, talvez pelo fato de grande parte das obras não apresentarem em seus balancetes o verdadeiro custo dos revestimentos e muito menos o custo dos reparos, recuperações e repercussões de um revestimento mal executado (PEREIRA et al., 2005).

Devido à importância dos revestimentos de argamassas, é fundamental um programa de controle de qualidade. Segundo Ceotto et al. (2005) deverão ser

considerados os parâmetros especificados pelo projetista do revestimento, com indicação clara dos intervalos aceitáveis para as seguintes determinações:

- resistência à compressão e à tração na flexão (NBR 13280);
- retenção de água (NBR 13277);
- módulo de elasticidade (NBR 15630);
- resistência de aderência à tração (NBR 13528 e 13749); e
- resistência de aderência à tração superficial.

Quanto à estrutura dos sistemas de revestimento de argamassa, de acordo com a NBR 13530 (ABNT, 1995), os revestimentos são considerados como sistemas constituídos de uma ou mais camadas de argamassa, podendo cada uma ter uma função característica. Estas camadas podem ser constituídas por apenas um tipo de argamassa, como no caso de revestimentos de camada única, ou por até três tipos de argamassa. Nestes casos, uma destas argamassas, geralmente constituída com agregados mais finos e destinada ao acabamento superficial, é conhecida como reboco. Outra argamassa com função de regularizar os desníveis ao longo da base (substrato) além de garantir a estanqueidade do revestimento é denominada emboço. O terceiro tipo de argamassa é aplicada diretamente sobre o substrato com a função de regularizar a porosidade dos planos a serem revestidos e prover aderência ao sistema, chamada de camada de preparo ou simplesmente chapisco.

2.3 CAMADA DE PREPARO (CHAPISCO)

Quando uma superfície lisa ou de baixa absorção de água precisa ser revestida com argamassa, muitas vezes surgirão dificuldades para garantir a aderência eficiente entre a base (substrato) e a argamassa aplicada. A argamassa de revestimento, quando fresca, tem um peso específico, aproximadamente, entre 1,8 e 2,0 kg/dm³, o que torna o material, quando aplicado em camadas mais grossas, propício a apresentar dificuldades de adesão à superfícies lisas como substrato de concreto de peças estruturais. A maior espessura dos revestimentos aumenta o tempo necessário para realização das operações de acabamento do revestimento pelo

maior teor de água presente no interior da argamassa. Conseqüentemente, o maior peso-próprio do revestimento pode aumentar as tensões de cisalhamento, o que tende a gerar efeitos de deslocamento e/ou escorrimento (falhas na adesão inicial) da argamassa recém-lançada (PAES, 2004).

Outra dificuldade encontrada na aplicação de revestimentos de argamassa está nas características das superfícies dos substratos. Substratos muito porosos (alvenarias de blocos de concreto, concreto celular e blocos cerâmicos altamente porosos, entre outros) prejudicam a aderência dos revestimentos devido à perda excessiva de água da argamassa aplicada para o substrato. Em contrapartida substratos como peças estruturais de concreto têm superfícies lisas e muito pouco porosas, características que desfavorecem a aderência dos revestimentos por dificultar, respectivamente, a microancoragem proporcionada pelo transporte da água e produtos de hidratação aos poros do substrato, e a macroancoragem proporcionada por uma maior superfície de contato conseguida através do aumento da rugosidade (MOURA, 2007).

Deve-se ainda considerar que em uma mesma fachada podem estar presentes diferentes elementos de alvenaria (blocos de concreto, blocos cerâmicos ou tijolos maciços), além das juntas de argamassa de assentamento e elementos estruturais de concreto. O comportamento da argamassa de revestimento pode ser em muito distinto se o substrato for o elemento cerâmico, a argamassa de assentamento ou as superfícies de concreto da estrutura, em função das diferenças de porosidade que determinam diferentes comportamentos na absorção pasta de constituição das argamassas (RECENA, 2008).

Como solução para o problema pode-se prover rugosidade e porosidade uniforme e apropriada ao substrato através de uma camada de preparo ou chapisco. O chapisco serve como uma solução simples e conhecida para melhorar a adesão entre a argamassa de revestimento e substrato além de outros benefícios à aderência. Embora a aderência seja necessária em todas as camadas do sistema de revestimento de argamassa, o chapisco é a única que tem a aderência como função principal seja pela ancoragem da camada posterior, seja pela regulagem da

porosidade da base do revestimento. O chapisco é definido por Ioppi (1995) como a camada contínua ou descontínua aplicada diretamente sobre a base de revestimento, com a finalidade de regularizar a capacidade de absorção de água da superfície e melhorar a aderência (ancoragem mecânica) da camada subsequente. Paes (2004) afirma que o chapisco:

“[...] visa fornecer ao substrato uma textura adequadamente rugosa e com porosidade apropriada ao desenvolvimento da aderência. Além da textura, o chapisco tem função de regular a capacidade de sucção por parte do substrato. Assim, substratos de elevada sucção (alvenarias de concreto celular e concreto) têm no chapisco um elemento que diminui a intensidade do transporte de água das argamassas para o substrato. Em contrapartida, substratos de baixa sucção (elementos estruturais em concreto, bloco cerâmico), necessitam do chapisco como elemento incrementador da sucção de água da argamassa, com o intuito do desenvolvimento adequado da aderência do revestimento.”

A camada de chapisco, dentre suas características, tem a melhor resistência mecânica, o consumo de cimento superior, a pequena espessura de sua camada, a granulometria mais elevada de seu agregado miúdo e a molhagem da base. Segundo Paes (2004), o uso do chapisco, junto ao tipo de substrato, pode influenciar até no tempo de sarrafeamento dos revestimentos devido à regulação do transporte de água da argamassa ao substrato.

Em função da grande variedade de propriedades das bases, é comum o uso de chapisco com o objetivo de regularizar sua capacidade de aderência, em especial quando possui superfície muito lisa e/ou com porosidade excessiva, e capacidade de sucção inadequada e também em revestimentos sujeitos a condições de exposição mais severas, como revestimentos externos e de tetos (KAZMIERCZAK et al., 2007). O chapisco, por melhorar as condições de substratos desfavoráveis, é geralmente utilizado em superfícies de elementos estruturais de concreto cujas características mais atuais são as baixas porosidade e rugosidade superficial devido ao crescente uso de relações água/cimento baixas e fôrmas mais lisas e impermeáveis, além do uso dos desmoldantes. Segundo Recena (2008), sobre superfícies de concreto o emprego de chapisco é de fundamental importância, não

podendo ser dispensado. Porém seu uso é também vantajoso em alvenarias, Paes (2004) cita o experimento de Angelim (2003), que observou que alvenarias cerâmicas apresentaram resistência de aderência em torno de 60% superior quando chapiscadas.

2.4 TIPOS DE CHAPISCO

Basicamente, quanto à sua composição, os chapiscos podem ser considerados convencionais (cimento, agregado e água) ou modificados com polímeros. Além da sua composição, os chapiscos podem ser divididos de acordo com os seus métodos de aplicação, onde os mais comuns são:

- chapisco convencional, chapado (lançado no substrato com colher de pedreiro);
- chapisco rolado, aplicado com rolo de espuma especialmente preparado;
- chapisco adesivo ou colante, aplicado com desempenadeira.

A Figura 2 mostra imagens dos tipos de chapiscos citados.

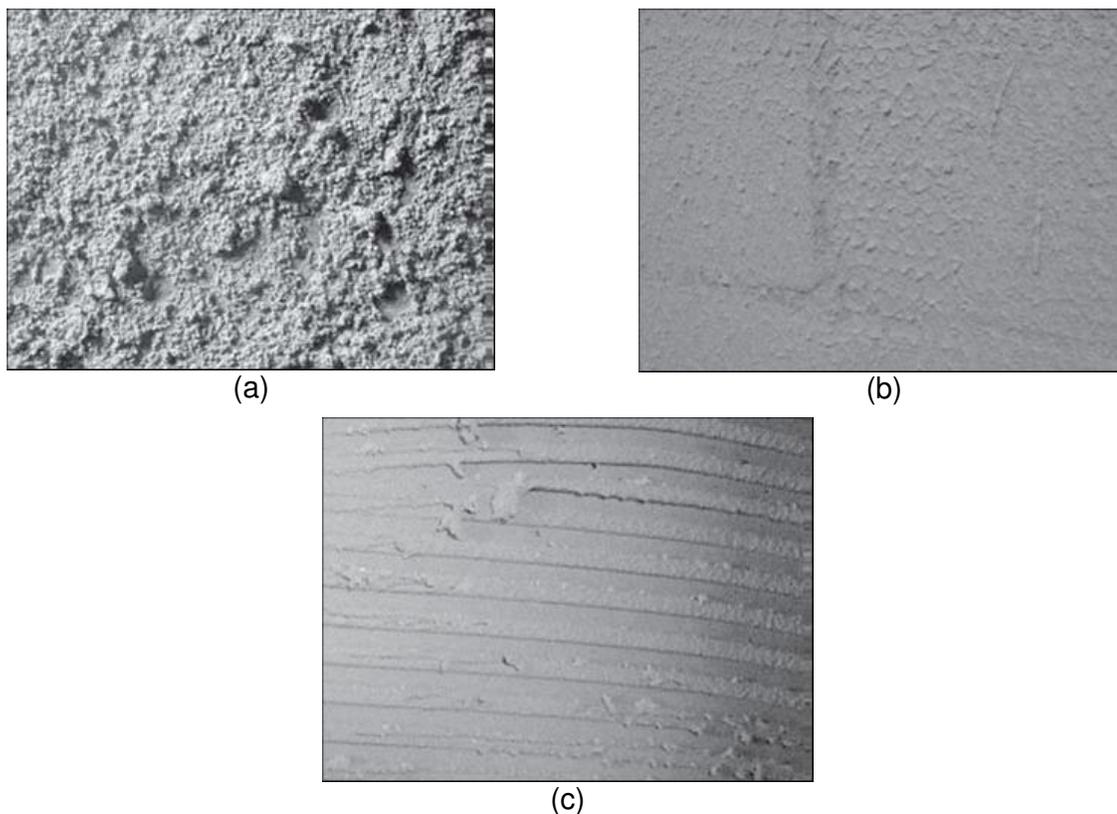


Figura 2: tipos de chapisco: (a) convencional; (b) rolado e (c) adesivo ou colante (CEOTTO et al., 2005)

2.4.1 Chapiscos Convencionais

Os chapiscos convencionais são os mais comuns devido à sua simplicidade. Em geral são preparados em obra, constituídos por uma argamassa de cimento e areia em proporções em volume que variam entre 1:3 e 1:5, respectivamente, cimento e areia com granulometria de média a grossa (RECENA, 2008). Sua consistência normalmente é fluida para que seja possibilitado o espalhamento ou molhagem dos substratos de maneira rápida e eficiente. A consistência do chapisco convencional e a granulometria do seu agregado propiciam ao chapisco a capacidade de aderir mais facilmente à base a ser revestida, bem como facilitar o transporte de pasta de cimento aos poros e capilares do substrato, adquirir rapidamente resistência mecânica e formar uma película rugosa para a ancoragem da posterior camada de argamassa (emboço), influenciando no desempenho de todo o conjunto do

revestimento (PAES, 2004). Geralmente emprega-se, em substratos de concreto estrutural, chapiscos com alta proporção de água, na ordem de $1\text{kg/kg} < a/c < 3\text{kg/kg}$ (BORTOLUZZO, 2000 apud SILVA, 2005).

Este tipo de chapisco é o método mais antigo de camada de preparação e tem a desvantagem da alta variabilidade, na espessura, no espalhamento sobre os substratos e na sua composição, principalmente na quantidade de água. O chapisco preparado em obra, em geral, é produzido sem controle de água na sua mistura, gerando variações das suas características (RECENA, 2008).

2.4.2 Chapiscos Rolados

Os chapiscos rolados são aplicados com rolos de espuma que apresentam cavidades que propiciam a textura rugosa necessária a este tipo de camada de preparo. Antigamente estes rolos eram adaptados de rolos de pintura, onde as cavidades eram produzidas manualmente. Hoje em dia já são encontrados no mercado rolos com texturas apropriadas para a aplicação de chapisco rolado, já produzidos com as cavidades para texturização. Este tipo de chapisco, segundo Ceotto et al. (2005), pode ser aplicado tanto em alvenarias como em elementos de concreto estrutural. A Figura 3 representa a aplicação deste tipo de chapisco.



Figura 3: aplicação de chapisco rolado (MACEDO et al., 2007)

O chapisco rolado apresenta a vantagem de proporcionar uma boa produtividade ao possibilitar uma aplicação de maneira rápida e ergonômica, como no caso de substratos em locais mais distantes do operário, como vigas e fundo de lajes, já que

o rolo pode ser acoplado a um cabo, como o de vassoura. Estes chapiscos muitas vezes são comercializados ensacados e prontos para adição de água, o que beneficia ainda mais a produtividade e controle da quantidade dos insumos.

As argamassas de chapisco rolado devem apresentar uma consistência que permita uma boa aplicação e que resulte em uma camada de preparo eficiente para o aumento da aderência dos revestimentos de argamassa. Para atingir a consistência e adesão necessárias para aplicação com rolo, estas argamassas recebem aditivos polímeros, como resina PVA ou acrílica, o que também melhora a aderência aos substratos. O bom desempenho de uma argamassa de chapisco rolado também é atribuído à granulometria da areia utilizada, de preferência de média a grossa e peneirada, já que uma areia muito fina pode gerar um chapisco muito “ralo”, enquanto que uma areia muito grossa tende a provocar muita perda do material por escorrimento ou queda (nos casos de aplicação em tetos). Ainda, a aplicação sempre no mesmo sentido é recomendada para que uma demão não danifique a anterior.

Em estudo que avaliou diferentes técnicas de preparação de bases para revestimentos de argamassa, Candia e Franco (1998) afirmam que o chapisco rolado proporciona os maiores índices de produtividade em relação aos outros tipos de chapisco avaliados, porém quando se usa chapisco rolado, precisa-se de um maior controle tanto durante a produção da argamassa como na sua aplicação.

A maior desvantagem do chapisco rolado possivelmente seja a espessura da camada preparada, que muitas vezes se apresenta muito fina, prejudicando a regulação da porosidade dos substratos. Geralmente percebe-se que para conseguir maiores espessuras de chapisco rolado, são necessárias mais demãos de aplicação, o que muitas vezes acaba não ocorrendo, pois esta medida diminuiria a produtividade, justamente uma das principais vantagens deste tipo de chapisco. Devido a consistências muito fluidas ou baixa coesão, estas argamassas, antes da aplicação com rolo, podem ainda apresentar decantação da areia incorporada, o que fará que o material recolhido pelo rolo para aplicação nos substratos seja mais rico em pasta, produzindo uma muito fina, e portanto ineficaz, de chapisco.

Outro problema seria a ocorrência de casos de falha de aderência entre os chapiscos rolados e as argamassas de revestimento aplicadas sobre estes. De acordo com Macedo et al. (2007):

“[...] têm sido relatados alguns casos em nível nacional de problemas de descolamento do revestimento quando empregado esse processo de chapisco rolado. Nestes casos patológicos, o descolamento ocorre na interface chapisco-revestimento de argamassa e possivelmente pode ser explicado pela formação de um filme polimérico que impermeabiliza a superfície do chapisco. Isto possivelmente ocorre devido ao efeito do polímero, que antes de endurecer tem uma alta capacidade de “colar”, resultando em alta aderência à base, mas que após o seu endurecimento, pode formar um filme impermeável, não permitindo uma ancoragem adequada da argamassa de revestimento que é aplicada sobre este chapisco.”

No estudo realizado pelos autores acima citados, percebeu-se uma tendência de queda da resistência de aderência à medida que se demora mais para aplicar o revestimento de argamassa após o preparo da base com o chapisco rolado (para ambos os polímeros analisados, de base PVA e acrílica). Hipótese reforçada quando analisado o tipo de ruptura, que tem um aumento percentual de descolamento na interface chapisco/argamassa de revestimento à medida que o chapisco fica exposto por mais tempo. Neste trabalho, os autores concluíram que a técnica por eles denominada “úmido sobre úmido” (aplicação da argamassa de revestimento logo após a execução do chapisco, na pesquisa em questão após 4 horas) produziu os mais altos resultados de resistência de aderência e as menores porcentagens de ruptura na interface chapisco/revestimento, possivelmente em função da não formação do filme polimérico nas primeiras idades do chapisco, e pelo adesivo agir nas interfaces com a base e com a argamassa de revestimento.

2.4.3 Chapiscos Adesivos ou Colantes

Os chapiscos adesivos aplicados com desempenadeira, também chamados de chapiscos colantes, geralmente são comercializados ensacados e prontos para receber a adição de água. São em especial indicados para aplicação em substratos

pouco porosos, principalmente em superfícies de elementos estruturais de concreto, devido à sua alta adesão (quando fresco) e resistência de aderência (quando endurecido) a estes substratos. Segundo Oliveira et al. (2009) este tipo de argamassa de chapisco apresenta resultados mais elevados de aderência do que com o chapisco tradicional.

Em termos de consistência e viscosidade estas argamassas são muito parecidas com as argamassas colantes, até mesmo no método de aplicação, onde se utiliza a desempenadeira metálica dentada. Porém nos dois tipos de argamassa o objetivo do desempenho é bem diferente. De acordo com Oliveira et al. (2009):

“Pelo fato da argamassa industrializada de chapisco (chapisco colante) apresentar formulação e consistência semelhante à argamassa colante, estas argamassas são aplicadas em obra da mesma forma e com a mesma ferramenta, ou seja, houve uma transferência automática de tecnologia para materiais com funções diferentes. No entanto, é necessário se observar que no assentamento dos revestimentos cerâmicos os cordões de argamassa colante são desfeitos (amassados), enquanto que no chapisco industrializado os cordões são preservados e posteriormente preenchidos, após o endurecimento da argamassa de chapisco.”

A Figura 4 mostra a aplicação de chapisco adesivo em uma superfície de pilar de concreto.



Figura 4: aplicação de chapisco adesivo

2.5 ARGAMASSAS DE CHAPISCO MODIFICADAS COM POLÍMEROS

Nas argamassas em geral, a adição de resinas poliméricas pode melhorar características importantes. No caso de argamassas de chapisco, aditivos polímeros têm especial efeito na resistência mecânica, consistência e, principalmente, na aderência aos substratos.

Muitas vezes chapiscos convencionais podem receber aditivos polímeros para melhorar, principalmente, a aderência aos substratos. Já para os chapiscos rolados e os chapiscos adesivos, a incorporação de resinas poliméricas se faz necessária para possibilitar seus métodos de aplicação, inviáveis em composições tradicionais de chapisco (cimento, areia e água). Os aditivos a base de polímeros são muito usados para melhorar a trabalhabilidade e aderência de argamassas de cimento frescas no Japão, Europa e EUA (AFRIDI et al., 2003).

Para Pascal et al. (2004), argamassas modificadas com polímeros foram desenvolvidas para lidar com algumas necessidades nas construções. Usados como argamassas colantes, revestimentos e materiais de reparo, tem o objetivo de obter fácil implementação e melhor vida útil em comparação a argamassas convencionais. Segundo o autor, estes materiais devem mostrar boas propriedades adesivas tanto quanto uma melhorada resistência a esforços de origem ambiental, como efeitos da insolação e umidade em paredes em particular.

Afridi et al. (1995), citando Okada e Ohama (1987) e Ohama e Shiroishida (1985), afirmam que as argamassas modificadas com aditivos polímeros são usadas como materiais de construção de alto desempenho e baixo custo devido à sua excelente performance e durabilidade. Estes aditivos podem ser encontrados como dispersões aquosas, como estireno-butadieno (SBR), etileno-vinil acetato (EVA) e emulsões poliacrílicas (PAE), ou em emulsões em pó.

Segundo Ohama (1998), os aditivos polímeros alteram características do estado fresco de argamassas e concretos como trabalhabilidade, incorporação de ar, retenção de água e plasticidade. No estado endurecido, as alterações ocorrem na resistência mecânica (onde há melhora na resistência à tração e flexão),

deformação, retração, fissuração, dilatação térmica, permeabilidade, resistência química, ao impacto e abrasão, durabilidade e resistência de aderência. Segundo o autor:

“Uma característica muito útil dos concretos e argamassas modificados com polímeros é a sua melhora na aderência a diversos substratos, em comparação com os compostos convencionais. O desenvolvimento da aderência é atribuída a alta adesão dos polímeros. A aderência é normalmente influenciada pela proporção entre aditivo polímero e cimento e propriedades dos substratos. Os dados sobre o assunto muitas vezes mostram considerável dispersão, e devem variar dependendo do método de ensaio, condições ou porosidade dos substratos.”

O polímero na argamassa irá reforçar a aderência das argamassas ao adicionar forças intermoleculares na resistência de aderência, o que é muito importante em substratos que não oferecem boas condições para a ancoragem dos produtos da hidratação dos cimentos. Nestas argamassas modificadas, os polímeros e o cimento se somam na produção de uma estruturação mais resistente do material. Para Ohama (1998), em qualquer tipo de aditivo polímero usado em materiais cimentícios, como argamassa e concreto, é muito importante que, tanto a hidratação do cimento e formação de película polimérica (coalescência das partículas poliméricas e a polimerização das resinas), procedam para a produção de uma matriz monolítica com uma estrutura em rede em que a fase da hidratação do cimento e do polímero se interconectem. Esta mistura resulta em propriedades estruturais superiores comparadas às composições cimentícias convencionais.

Na Figura 5, obtida por microscopia eletrônica, por Afridi et al. (2003), pode-se visualizar produtos da hidratação do cimento aderidos à estrutura formada pelo polímero, mostrando melhoria na adesão interna do material em uma argamassa com 20% de polímero estireno-butadieno (SBR).

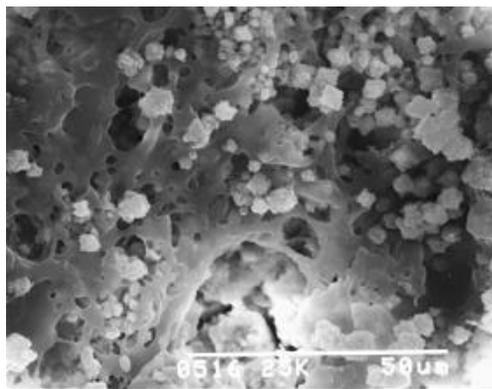


Figura 5: argamassa modificada com 20% de “látex estireno-butadieno” (SBR) (AFRIDI et al., 2003)

Até mesmo em condições adversas de cura, as argamassas modificadas com polímeros demonstram vantagens em relação às argamassas convencionais devido à formação de filmes poliméricos. No estudo de Hassan et al. (2000), a cura em condições adversas (a 35°C, umidade relativa do ar a 45% e vento a 3 m/s) demonstrou melhoria na resistência, permeabilidade, difusão e fissuração em argamassas modificadas com polímeros em relação à cura em condições favoráveis (a 20°C, umidade relativa de 99% e sem vento). Enquanto que as argamassas convencionais demonstraram queda no seu desempenho quando curadas nas condições adversas. Segundo o autor, os materiais poliméricos demonstram resistência a temperaturas elevadas e baixa umidade durante sua cura devido à sua base de resinas, imune à perda de água.

3 ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS AOS SUBSTRATOS

3.1 MECANISMOS DE ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS

Segundo Messler (2004), as regras gerais para a adesão de materiais são: selecionar um processo de adesão que minimize alterações da microestrutura dos materiais envolvidos (inclusive quimicamente) e que atinja o desempenho requerido ou desejado; e considerar os efeitos do processo de adesão nas propriedades

resultantes do material ou estrutura final. De acordo com o autor, adesivos são substâncias capazes de unir materiais por suas superfícies através de forças surgidas de ligações químicas secundárias (ligações de van der Waals ou, como nos materiais cimentícios, pontes de hidrogênio) e, raramente, ligações químicas primárias (ligações iônicas, covalentes ou metálicas). Às vezes, estas ligações químicas são reforçadas pela contribuição de ligações mecânicas de intertravamento do material adesivo dentro de irregularidades nas superfícies dos materiais aderidos.

Citando Addleson (1992), Paes (2004) explica que os princípios da adesão são fundamentalmente os mesmos para todos os materiais que estejam envolvidos. O adesivo é aplicado primeiramente no estado plástico em um material sólido, após o material adesivo se modifica quimicamente e, na maioria das vezes, fisicamente. Alguns endurecem, como as argamassas, outros ficam plásticos ou elásticos, como os polímeros e elastômeros. A autora ainda cita Galembek (1995):

“O mecanismo de adesão, e mesmo de separação entre as superfícies, compreende vários tipos de forças de natureza variada que passam a atuar na interface adesivo-sólido, a saber: de London e Van der Waals (dispersão e dipolares), eletrostáticas, estéricas (decorrentes da adsorção de polímeros e detergentes), ácido-base, coordenativas, covalentes, de capilaridade e de oclusão (ou mecânicas).”

No caso de revestimentos de argamassa, a aderência aos substratos depende de diversos fatores relacionados a características físicas, mecânicas e composição das argamassas e substratos. Além de detalhes relacionados à aplicação, condições ambientais e tratamentos realizados na execução dos revestimentos que muitas vezes são determinantes na aderência.

Segundo Paes (2004), a adesão inicial das argamassas depende das características da base, porosidade, rugosidade e superfície de contato. A redução da tensão superficial da pasta favorece a molhagem do substrato reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e melhorando a adesão inicial. Citando Rosello (1976), a autora ainda define:

“A adesão inicial, também chamada de “pegajosidade”, está diretamente ligada às características reológicas da pasta aglomerante, sendo a responsabilidade pela adesão física ao substrato atribuída à baixa tensão superficial da pasta”.

Na fase de adesão das argamassas aos substratos, segundo Paes (2004), ocorre intenso transporte de água da argamassa, alterando a reologia do sistema. A água que for absorvida pelo substrato será responsável por possibilitar a ancoragem mecânica da argamassa. A água de amassamento, saturada dos íons resultantes da dissolução de compostos de cimento são succionados pelos poros da base, precipitando compostos hidratados no seu interior e promovendo a aderência da argamassa à base (BOLORINO e CINCOTTO, 1997). Esta absorção promovida pelos substratos depende da estrutura de poros e capilares destes materiais. Kazmierczak et al. (2007) afirmam:

“Dentre as propriedades da base que exercem maior influência na aderência, destaca-se a sua distribuição de poros, em função de sua grande influência na capacidade de absorção de água do substrato. A quantidade de poros com diâmetro superior a 50 μm (denominados macroporos) exerce grande influência na capacidade de absorção de água, uma vez que esses são os principais responsáveis pela permeabilidade da base. Os microporos, por sua vez, estão relacionados com outras propriedades como a retração e a fluência.”

A aderência das argamassas aplicadas depende da porosidade dos substratos. Tanto a absorção reduzida quanto a absorção excessiva das bases irá prejudicar a resistência de aderência dos sistemas de revestimento. Em seu trabalho, Moura (2007), cita Silva (2004), que defende que em substratos de alta absorção haverá insuficiência de água para a completa hidratação do cimento próximo à interface, o que a torna uma zona frágil do sistema. De forma contrária, um substrato de baixa absorção promove um acúmulo de água na interface, que se torna uma zona de maior porosidade e, por isto, mais frágil. Scartezini e Carasek (2003), ao citar Groot (1988), afirmam que a quantidade de água removida e que ficou na argamassa exerce influência significativa nas propriedades do revestimento endurecido, pois o

aglomerante desempenhará o seu papel em função do conteúdo de água resultante após a sucção.

Além das propriedades dos substratos, muitas características das argamassas serão fundamentais para a aderência aos substratos. Segundo Silva (2004), os fatores relativos às argamassas que interferem na aderência estão relacionados aos materiais constituintes das argamassas, seu proporcionamento, e outras propriedades, como retenção de água, trabalhabilidade e resistência mecânica. Salvo a resistência mecânica e composição, as características que mais interferem na aderência das argamassas dizem respeito a seu estado fresco, como a coesão da pasta de cimento, a fluidez e a retenção de água.

Além da microancoragem proporcionada pela absorção, por parte do substrato, de pasta de cimento da argamassa, a macroancoragem possibilitada pela rugosidade e geometria das superfícies é decisiva na aderência das argamassas de revestimento. Moura (2007), ao citar Cortez (1999), afirma que a adesão inicial das argamassas às bases pode ser aumentada ao incluir fatores influentes como o tratamento superficial do substrato que promova um aumento da rugosidade na superfície.

A superfície dos substratos não influencia na resistência de aderência somente pela sua rugosidade, mas também pelo seu estado de limpeza no momento da aplicação das argamassas. “A ação física de um contaminante sobre uma argamassa pode ser representada pela redução da seção resistente ou pelo aumento na demanda de água” (RECENA, 2008). Este contaminante pode se tratar tanto de sujeira depositada nas superfícies como produtos aplicados em outra etapa do processo de construção da edificação como é o caso dos desmoldantes usados na execução de elementos estruturais de concreto. “A presença do desmoldante na superfície do concreto dificulta a adesão da argamassa no estado fresco com conseqüente descolamento no estado endurecido” (PRETTO, 2007).

A macroancoragem ainda dependerá substancialmente do contato efetivo e a área total possível de ligação entre argamassa e substrato. Esta relação é denominada extensão de aderência e é definida pela soma das características da base e da argamassa e da aplicação (TEMOICHE-ESQUIVEL et al., 2007). A extensão de

aderência é efetiva na resistência e durabilidade da aderência e depende, entre outros, da trabalhabilidade da argamassa fresca, da porosidade, rugosidade e preparo do substrato. Há também a influência da mão-de-obra, pois se a pressão (“aperto”) exercida pelo operário no lançamento da argamassa ao substrato não for suficiente, podem ocorrer falhas de contato na interface dos dois materiais. Essas provavelmente causam a elevada variabilidade da resistência de aderência à tração dos revestimentos, na ordem de 50% em obra, segundo dados de Gonçalves (2004), devido à aderência pontual da argamassa ao substrato (PAES, 2004).

Em termos de microestrutura da interface entre as argamassas e os substratos, os produtos da hidratação do cimento apontados como prováveis responsáveis pela ligação ou aderência dos revestimentos de argamassas convencionais são os cristais de etringita e C-S-H. Silva e Libório (2003) citam Chase (1984) e Lawrence e Cao (1987), que, ao estudarem o mecanismo de aderência nos tijolos cerâmicos, concluíram que a extensa rede fibrosa entrelaçada de C-S-H crescendo na superfície de alvenaria é a principal responsável pela aderência mecânica.

Entretanto, ao citar Carasek et al. (2001), Paes (2004) defende que a aderência das argamassas aos substratos decorre do intertravamento principalmente da etringita (um dos produtos de hidratação do cimento) no interior dos poros do substrato nos estágios iniciais, conforme apresentado no modelo da Figura 6.

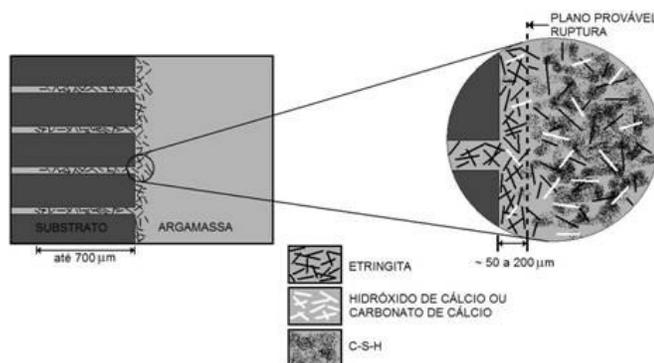


Figura 6: mecanismo de aderência da argamassa a substratos porosos (CARASEK et al., 2001 apud PAES, 2004)

Polito et al. (2009), em estudo sobre a microestrutura da interface argamassa mista/bloco cerâmico, também afirmam ser a etringita efetiva na promoção da aderência a substratos porosos. Segundo os autores:

“Os resultados dos estudos microestruturais confirmaram os indícios de que a principal fase responsável pela resistência de aderência entre a argamassa e o bloco cerâmico é a etringita. Esta aderência se dá pelo intertravamento dos cristais e pela penetração dos mesmos no interior dos poros do substrato. Foram visualizados cristais de etringita formados no interior dos poros do substrato a uma profundidade de até 500 μm . Esta penetração foi confirmada através da observação das variações nas concentrações de elementos químicos, em função da profundidade, utilizando-se a técnica de FRX.”

De acordo com Polito et al. (2009), a Figura 7 mostra uma interface argamassa/substrato cerâmico onde cristais típicos de etringita (morfologia característica com fitas euédricas formadas por coalescência de bastões estreitos (0,05 μm) e longos (4-5 μm)) saem de dentro dos poros de um tijolo. Os cristais se formam perpendicularmente à superfície e as fitas típicas se agrupam em feixes radiais.

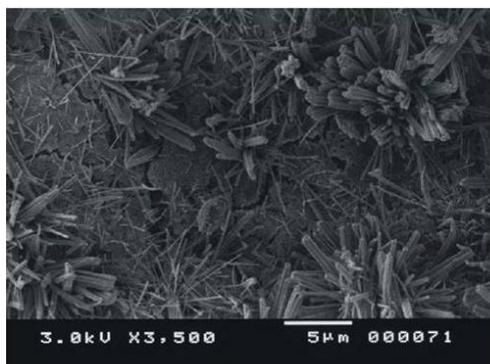


Figura 7: microestrutura de interface tijolo/argamassa (POLITO et al., 2009)

Ao analisar a microestrutura de interfaces entre argamassa e substratos de concreto, Silva e Libório (2003) em seu trabalho consideraram as interfaces como ricas em etringita, já que não encontraram depósitos massivos de hidróxido de cálcio. Segundo os autores, a Figura 8(a) mostra formações de cristais de C-S-H e etringita e na Figura 8(b) a predominância de cristais de etringita na interface.

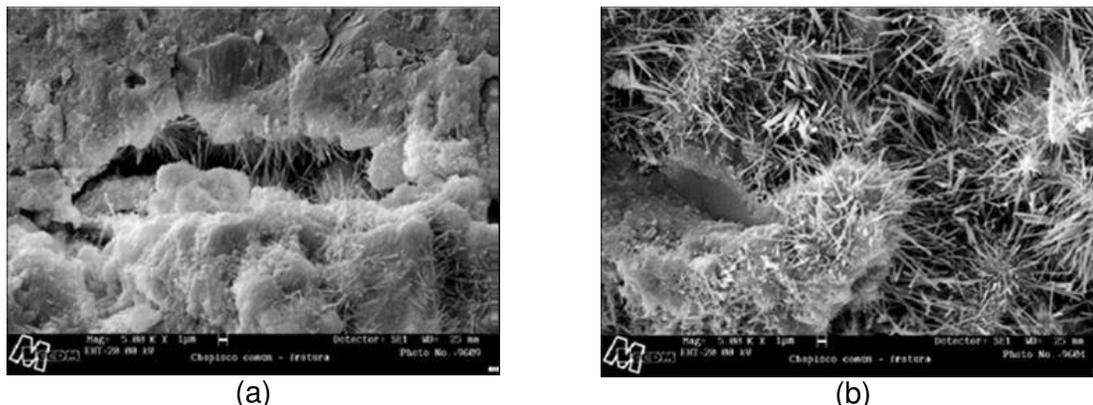


Figura 8: microestrutura da interface chapisco comum/concreto: (a) cristais de C-S-H e de etringita e (b) cristais de etringita (SILVA e LIBÓRIO, 2003)

A resistência de aderência, como acontece com a resistência mecânica, também dependerá da idade da argamassa. Nakakura et al. (2009), afirmam que os sistemas analisados de alvenaria de blocos de concreto e de blocos cerâmicos com aplicação de chapisco preparado com diversos tipos de cimentos e revestidos com uma única argamassa de revestimento com espessura de 2 cm apresentaram uma clara evolução de resistência de aderência ao longo do tempo. Os valores obtidos aos 3 anos com os blocos de concreto são em média 2,4 vezes maiores em relação aos 28 dias. No substrato de bloco cerâmico a evolução média é de aproximadamente 4 vezes. Por outro lado, Carasek e Scartezini (1999) realizaram uma pesquisa experimental para estudar a evolução da resistência de aderência ao longo do tempo de revestimentos de argamassa mista aplicados sobre alvenarias de blocos cerâmicos, em idades variando de 02 dias a 01 ano, onde se observaram picos de resistência de aderência nas primeiras idades (7 e 14 dias) e, posteriormente, uma queda da resistência até certo nível (aproximadamente o valor observado aos 23 dias) com manutenção deste nível ao longo do tempo. Os autores apontaram como provável causa deste comportamento a retração ocorrida após os 14 dias prejudicando a ligação então existente entre as camadas. Mostra-se, portanto, que o efeito da idade na resistência de aderência dos revestimentos é muito mais complexa do que simplesmente um crescimento contínuo e poderá depender de diversos fatores, como o material do substrato.

Assim como a idade é influente na aderência dos revestimentos, outras características dos materiais cimentícios, como o efeito de tratamentos de cura na resistência mecânica, também são influentes na resistência de aderência das argamassas.

3.2 INFLUÊNCIA DA CURA NA ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS

Sabe-se que a cura dos materiais cimentícios melhora a hidratação do cimento, beneficiando a resistência mecânica e durabilidade, principalmente em ambientes secos e quentes, como se afirma em trabalhos de autores como Ramezaniapour e Malhotra (1995) e Tan e Gjorv (1996) sobre a importância da cura em materiais cimentícios. Por se tratar de um material composto de cimento, as argamassas de revestimento também têm seu desempenho beneficiado com o tratamento de cura, já que a melhoria da aderência (uma das funções das argamassas de chapisco) está relacionada diretamente com o grau de hidratação do cimento e a resistência mecânica do material. Porém não é comum na região sul do Brasil a realização da cura de emboços e chapiscos, o que certamente reduz o bom desempenho das suas funções. De acordo com Recena (2008), a insuficiência de água ao processo, para viabilizar o início das reações ou para garantir sua continuidade, desestimula a reação, comprometendo a formação dos silicatos de cálcio neoformados pela reação pozolânica em cimentos pozolânicos. A temperatura de cura e a duração da cura úmida são os fatores-chave para uma cura apropriada, já que a taxa de hidratação depende da temperatura ambiente e a presença da umidade tanto quanto depende da qualidade e quantidade dos materiais cimentícios presentes na mistura (MANNAN et al., 2002 apud ÇAKIR e AKÖZ, 2008).

Em regiões onde o ambiente físico é agressivo, cuidados especiais devem ser tomados na cura dos revestimentos para que a aderência não seja prejudicada (IOPPI, 1995). No estudo de Hassan et al. (2000) a cura em condições adversas (a 35°C, umidade relativa do ar a 45% e vento a 3 m/s) afetou adversamente a fissuração por retração e propriedades relacionadas ao desempenho de argamassas convencionais em comparação à cura em condições favoráveis (a 20°C, umidade relativa de 99% e sem vento). Trabalhos de autores como Ballester et al. (2009), Tan

e Gjorv (1996), Mirza et al. (1991) e Goto e Roy (1981), apontam as temperaturas elevadas durante o período de cura como prejudiciais aos materiais cimentícios. Estudos como os de Çakir e Aköz (2008) e Maltasi e Marchand (1997) mostram que, mesmo que em muitos casos temperaturas elevadas durante a cura aumentem a resistência mecânica nas idades iniciais, a longo prazo, em idades mais avançadas, os materiais curados em temperaturas mais amenas apresentam maiores resistências.

Altas temperaturas afetam ainda mais o desempenho das argamassas de chapisco. Em seu trabalho, Moura (2007) estudou a cura em revestimentos de argamassa aplicados em substratos de concreto e afirma que em todas as combinações (três tipos de argamassa de chapisco e de revestimento), o efeito do calor resultou na queda de resistência de aderência das amostras.

Esta condição de agressividade é facilmente alcançada em revestimentos externos, devido à prejudicial influência, não só do calor ou radiação do sol, como também de baixas umidades e vento. Devido a estes fatores, em revestimentos externos, Ceotto et al. (2005) recomendam a cura úmida do chapisco mediante a utilização de uma névoa de água, durante o maior período possível. Isso pode ser executado com equipamentos de aspersão de água no balancim antes da etapa do dia seguinte e/ou através das janelas. Sandin (1995) recomenda a cura úmida por 1 a 3 dias, antes da aplicação da argamassa de revestimento.

Em seu livro, Recena (2008) associa as composições de alguns cimentos com os danos da falta de cura nos chapiscos:

“A norma brasileira NBR 5736:1991 – Cimento Portland pozolânico – Especificação, permite a substituição de até 50% de clínquer por cinza, ou seja, em um saco de cimento pode haver 25 kg de clínquer, gesso e calcário moído e 25 kg de cinza. Considerando que a espessura de um chapisco é sempre muito pequena, que muitas vezes o chapisco é executado sobre o substrato cuja superfície apresenta alta temperatura em dias quentes e secos, e que com muita frequência, para não dizer na maioria das vezes, tão logo a argamassa de chapisco seja projetada sobre o substrato, sua coloração altera-se, denotando secagem quase que imediata, e considerando ainda que não é praxe executar cura de chapisco, é possível admitir que a contribuição da reação pozolânica para a resistência final da argamassa possa ser muito pequena.”

3.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E FALHAS DE ADERÊNCIA NOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

As manifestações patológicas relacionadas à falha da aderência dos revestimentos muitas vezes geram a queda de fragmentos e influenciam fatores importantes das edificações como sua durabilidade, aspecto, estanqueidade e segurança. De acordo com Moura (2007), um levantamento realizado por Costa (2005) em obras localizadas na cidade de Porto Alegre aponta fissuras e descolamentos como sendo as manifestações patológicas de maior ocorrência, totalizando, aproximadamente, 67% das patologias de revestimentos apresentadas no estudo. Segundo Candia e Franco (1998), problemas relacionados com falhas nos revestimentos existem no mundo inteiro.

Gaspar et al. (2007) afirmam que a perda de aderência entre a argamassa e a parede manifesta-se através do destacamento da argamassa em relação ao suporte ou pela perda de coesão do material que constitui o reboco. Esta anomalia representa o final da vida útil do reboco, dado que:

- este deixa de cumprir a sua função de proteção do suporte, que, deste modo, fica exposto à ação direta dos elementos atmosféricos;
- existe um risco efetivo para a segurança e saúde dos usuários decorrente da queda de partes da argamassa;
- com a deterioração do reboco, ocorre a degradação da qualidade visual da fachada como um todo e do meio onde esta se insere.

Citando Murray (1983), abordando o assunto falhas de aderência, Ioppi (1995) afirma que as falhas de aderência resultam, principalmente, da combinação de dois fatores. O primeiro seria o meio-ambiente e as condições da base (ambos durante e depois da aplicação da argamassa), isto é, à movimentação do revestimento em relação à sua base causado por mudanças na umidade e/ou temperatura, o qual pode ser suficiente para causar falhas por cisalhamento na interface. O segundo é a escolha da argamassa de revestimento, a qual envolve muitas variáveis, algumas das quais podem ser influenciadas pelo responsável pela especificação, mas a maioria está sob o controle do aplicador.

Gaspar et al. (2007) citando diversos autores (VEIGA, 1998; GASPAR, 2003; KUS e NYGREN, 2002; BOTELHO, 2003; MIRANDA, 2004; VEIGA, 2002; PAIVA 2006) correlacionam as principais causas dos destacamentos:

- aplicação de rebocos demasiados rígidos sobre suportes não homogêneos ou constituídos por camadas, com menor capacidade de aderência entre si e que se destacam da parede;
- deficiente preparação do suporte: falta de rugosidade do suporte ou de limpeza (por vezes decorre da aplicação de um revestimento sobre outro existente);
- dosagem inapropriada do traço da argamassa (pouco ligante), sobretudo quando conjugada com a aplicação em tempo seco;
- deficiente aderência da argamassa ao suporte devido a uma má cura daquela na fase de aplicação, conduzindo a: a) uma dessecação do suporte e a criação de uma superfície pulverulenta entre a argamassa e a base de assentamento; b) chapisco mal hidratado; c) excesso de água de amassamento;
- espessura excessiva do reboco;
- umidificação prolongada da parede;
- presença de sais infiltrados na zona de interface.
- movimentos diferenciais entre o suporte e o revestimento.”

Os fatores que afetam a aderência dos revestimentos podem ser divididos em três grupos: fatores ligados ao projeto; fatores inerentes aos materiais e fatores que dependem da mão-de-obra (MURRAY, 1983 *apud* IOPPI, 1995). Possivelmente questões envolvendo os materiais (tanto do revestimento quanto da base) sejam os mais recorrentes fatores relacionados a problemas de aderência, já que deles dependem questões como a falta de resistência mecânica e as deformações diferenciais.

Ioppi (1995) aborda o problema das deformações diferenciais das diferentes camadas dos revestimentos que vêm a causar tensões prejudiciais à aderência e, ao citar Fiorito (1994), afirma que a deformação de qualquer uma das camadas irá resultar em tensões sobre a aderência das mesmas. O autor ainda cita como tipos de deformações:

- retração da argamassa de emboço e/ou reboco;
- deformação lenta do concreto das peças estruturais, como a deformação dos pilares e vigas sobre os revestimentos verticais e das lajes de forro sobre os revestimentos horizontais;
- recalque das fundações;
- deformações dos materiais dos revestimentos causadas pela variação da umidade relativa do ar;
- deformações de origem térmica;
- outras causas externas como vibrações de máquinas, etc.

Segundo Recena (2008), uma mesma argamassa recobre, em revestimentos, materiais de diferentes coeficientes de dilatação térmica num mesmo paramento vertical, assim como concreto armado e alvenaria de tijolos cerâmicos, devendo absorver de forma eficiente deformações diferenciais advindas da resposta dada pelos diferentes materiais às solicitações oriundas das constantes variações térmicas e/ou higrométricas.

Carasek et al. (2005) ainda citam a retirada de escoramento prematura como origem de deformações diferenciais entre revestimento e substratos. Segundo a autora a retirada de escoramento prematura dos elementos estruturais, quando ainda é demasiadamente baixo o módulo de elasticidade do concreto, resulta em uma deformabilidade excessiva da estrutura, muitas das vezes incompatível com a capacidade de absorção de tensões por parte dos revestimentos, que não raro fissuram e descolam do substrato.

Quando a origem dos descolamentos está associada à presença de contaminantes, baixa porosidade e baixa rugosidade, ou seja, substratos que não apresentam condições favoráveis à aderência necessária, provavelmente os substratos em questão são elementos de concreto estrutural.

3.4 SUBSTRATOS DE CONCRETO

Possivelmente os casos de descolamento que têm ocorrido com maior frequência e maior gravidade estão relacionados com substratos de concreto estrutural. Segundo Carasek e Cascudo (2007), uma manifestação patológica cada vez mais freqüente é o descolamento do revestimento aplicado sobre as estruturas de concreto armado e protendido. Em estudo de manifestações patológicas ocorridas em nove obras de Brasília-DF, Carasek et al. (2005) relatam como principais manifestações patológicas observadas nos revestimentos de argamassa fissurações acompanhadas pelo descolamento, observado tanto pela existência de som cavo, como pelo deslocamento de partes do revestimento. Segundo os autores, os problemas ocorriam essencialmente nos revestimentos aplicados sobre a estrutura de concreto, não existindo em nenhum dos casos descolamentos importantes sobre as alvenarias. A Figura 9 mostra um dos deslocamentos relatados no estudo citado.



Figura 9: deslocamento de revestimento de argamassa aplicado sobre substrato de concreto estrutural (CARASEK et al., 2005)

Na Figura 10 aparecem imagens de deslocamentos de revestimento ocorridos em substratos de concreto estrutural, no caso, fundo de laje e viga de uma sacada, em edificações no estado do Rio Grande do Sul. As imagens expressam bem a gravidade da manifestação patológica e sua importância inclusive no âmbito da segurança dos usuários das edificações.



Figura 10: deslocamento de revestimento interno e externo de argamassa aplicado sobre substrato de concreto estrutural: (a) fundo de laje e (b) viga

Para Ceotto et al. (2005) nos últimos anos o aumento da solicitação das estruturas de concreto armado e o aumento da resistência à compressão do concreto, dos valores comumente usados no passado, da ordem de 15 MPa a 18 MPa para os atuais 30 MPa a 35 MPa são algumas das causas da crescente ocorrência de patologias em revestimentos de argamassas sobre substratos de concreto estrutural.

Além do grande uso de concretos de maior resistência, o uso de desmoldante e/ou o emprego de fôrmas plastificadas são fatores que cada vez mais contribuem para a superfície do concreto tornar-se lisa e de baixa porosidade superficial. Dessa forma, há prejuízo da absorção capilar que deve existir na camada superficial da base, de modo a permitir a penetração e a ancoragem dos produtos de hidratação da argamassa de revestimento no interior do substrato, garantindo a ancoragem mecânica (PRETTO et al., 2009).

De todos os problemas de aderência atribuídos aos substratos de concreto estrutural, provavelmente os principais sejam a falta de superfície rugosa e porosidade. Estes empecilhos ao estabelecimento da aderência dos revestimentos, muitas vezes, podem ser minimizados ou resolvidos com a execução de uma camada de preparo apropriadamente dosada, aplicada e curada. Medida recomendada como imprescindível e fundamental para revestimentos de argamassa sobre estruturas de concreto como definido por Moura (2007) e Recena (2008). Deve-se ainda salientar que a execução da camada de chapisco nas superfícies de substratos de concreto, em muitos casos, não descarta a necessidade de preparo

especial destas bases, antes da aplicação do chapisco, como lavagem apropriada, uso de lixas ou lixadeiras e, como recomenda Recena (2008), o escovamento com escovas de cerdas de aço, ou, em casos extremos, o apicoamento por percussão.

3.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA

A avaliação da resistência de aderência dos revestimentos pode ser realizada através de ensaios de arrancamento, por tração ou por cisalhamento (dependendo da direção de sollicitação) em corpos-de-prova cortados perpendicularmente à superfície do revestimento (IOPPI, 1995). No Brasil a resistência de aderência de revestimentos de argamassa é verificada através da tração do revestimento de argamassa a partir do isolamento de uma porção do revestimento já endurecido através de corte com ferramenta apropriada e seu posterior arrancamento com dinamômetro capaz de registrar a tensão de tração máxima atingida.

A NBR 13528:1995 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 1995) define dois tipos de corte: o corte circular com diâmetro de 50mm e o corte em seção quadrada com lados de 100mm. No caso do corte circular, após realização do furo e com o uso de adesivo epóxi, se cola uma pastilha metálica, com formato equivalente ao furo, sobre região isolada e se procede a aplicação de carga continuamente até o registro da tensão de tração máxima ocorrida na ruptura da amostra. A Figura 11 mostra os passos do procedimento.



Figura 11: passos do ensaio de resistência de aderência: (1) corte; (2) colagem da pastilha; (3) medição da carga de ruptura e (4) verificação da região de ruptura (REVISTA TÉCNICA, 2008)

A NBR 13749:1996 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação (ABNT, 1996) define os valores mínimos de resistência de aderência conforme a Tabela 1.

Tabela 1: limites de resistência de aderência à tração (R_a) para emboço e camada única segundo a NBR 13749 (ABNT, 1996)

Local		Acabamento	R_a (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

Além da carga de ruptura à tração do revestimento, a verificação da região do sistema de revestimento onde ocorreu a ruptura é muito relevante, pois indica a que parte do sistema o valor de resistência é atribuído, além de possibilitar a indicação da provável parte mais fraca do conjunto que compõe o revestimento. Esta informação é importantíssima para o diagnóstico de problemas nos revestimentos e prováveis soluções. Os locais de ruptura indicados na norma brasileira são apresentados na Figura 12.

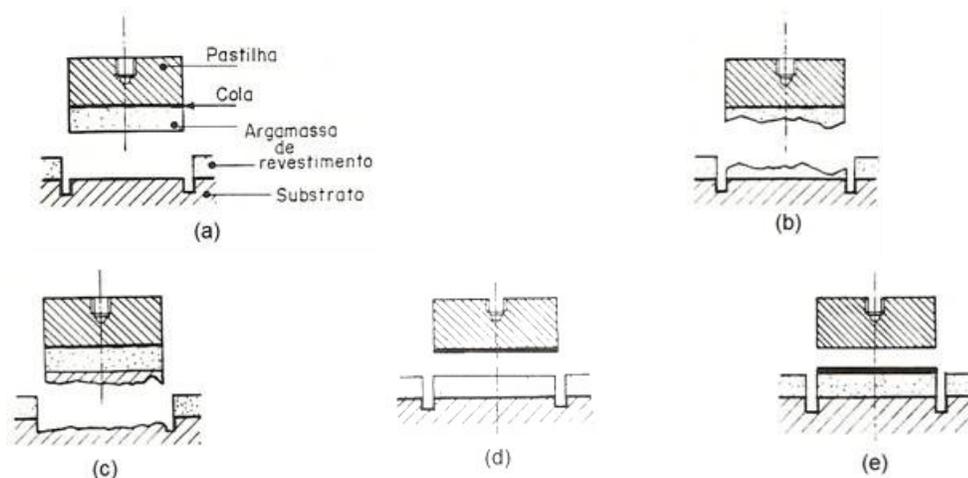


Figura 12: locais de ruptura em ensaios de aderência de acordo a NBR 13528 (ABNT, 1995): (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola e (e) interface cola/pastilha

Nem sempre as rupturas ocorrem em regiões como as definidas pela norma. Rupturas ocorridas nas interfaces e no interior das camadas que compõem os revestimentos de argamassa, como chapisco, emboço e reboco, devem ser discriminadas efetivamente devido à sua relevância. Há também os muitos casos em que as rupturas ocorrem em mais de uma região, o que deve ser relatado junto aos resultados.

No caso de resultados inferiores ao solicitados na norma serem constatados no ensaio, algumas avaliações podem partir da identificação da região do revestimento onde ocorreu a ruptura. A hipótese de ruptura no substrato geralmente ocorre em substratos de alvenaria e raramente em substratos de concreto devido à sua resistência à tração, na maioria dos casos, superior às argamassas que compõem o revestimento. Este tipo de ruptura pode ser causada por defeito pontual e/ou baixa resistência mecânica do substrato ou corte muito profundo com a serra de copo, além da recomendação da norma. A ruptura na interface chapisco/substrato pode significar que o substrato é muito liso, que contém resíduos, ou a cura insuficiente do chapisco. Já a ruptura no chapisco provavelmente será devida à pouca quantidade de cimento no seu traço ou sua cura deficiente. Um colapso na interface chapisco/emboço revelaria a falta de contato efetivo entre argamassa de emboço e chapisco ou chapisco muito impermeável. A ruptura na camada do emboço sugere

traço muito pobre ou deficiência na aplicação (ruptura entre chapadas) e no caso do arrancamento na interface emboço/cola, considera-se ocorrida uma falha no ensaio e se parte para nova determinação em outro corpo-de-prova (REVISTA TÉCHNE, 2008).

Por se tratar de um ensaio para avaliação da resistência de aderência à tração das interfaces existentes nos sistemas de revestimentos de argamassa, a NBR 13528 (ABNT, 1995) define que nas rupturas ocorridas no interior dos materiais que compõem o revestimento, deverão ter seu resultado de resistência precedido do sinal de “>”. O que indica que as interfaces, objetos da avaliação, apresentaram resistência superior ao material rompido. Para análise da resistência à tração dos materiais envolvidos nos revestimentos analisados, existem outros métodos de ensaios normalizados, como, por exemplo, a NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005).

Embora aceito no meio técnico, o método normalizado de ensaio de resistência de aderência à tração tem como característica a variabilidade de seus resultados. Fora a complexidade e a quantidade de fatores envolvidos no mecanismo de aderência de revestimentos de argamassa, o método de ensaio utilizado para verificação desta aderência aumenta a variabilidade dos resultados. Isto se percebe na indicação de arrancamento em seis furos ou corpos-de-prova, para verificação da resistência de aderência em cada ponto, sendo que dois desses resultados podem ficar abaixo do mínimo exigido pela NBR 13749 (ABNT, 1996).

Em artigo abordando o assunto, Costa et al. (2007), citando Cincotto, Silva e Carasek (1995), relatam que o ensaio de resistência de aderência à tração é bastante variável, podendo apresentar coeficientes de variação da ordem de 10% a 35% devidos a fatores inerentes ao procedimento de ensaio, os quais podem interferir no resultado obtido. Dentre esses fatores, podem ser destacados o ângulo e o equipamento utilizado no corte do revestimento, além da forma e da velocidade de aplicação da carga de arrancamento. Os autores ainda destacam que Gonçalves (2004), nessa mesma linha, constatou em sua pesquisa que a resistência de

aderência à tração apresentou uma variabilidade intrínseca de 52%, enquanto o método de ensaio, por si só, apresentou uma variação interna de 19%.

De acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2005) pode-se realizar dois tipos de corte no revestimento, com formato e dimensões diferentes. Também permitido, através das exigências quanto ao equipamento de carregamento e leitura da carga, o uso de mais de um tipo de aparelho nos ensaios. Costa et al. (2007) afirmam que tudo isto certamente contribui para ocasionar alterações nos valores de resistência de aderência. Ainda afirmam que recentemente têm sido relatados inúmeros casos em que os resultados de ensaios de aderência obtidos em laboratório, quando confrontados com os obtidos em obra, não podem ser comparados, além de construtores que têm se queixado de resultados divergentes realizados para uma mesma situação por mais de um laboratório.

Em experimento realizado com o objetivo de estudar os efeitos do método de ensaio utilizado no Brasil nos resultados de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa Costa et al. (2007) concluíram:

“ _ A geometria e dimensão do corpo-de-prova, a espessura da camada de cola e a forma de aplicação da carga interferem na distribuição de tensões na interface argamassa-substrato e, conseqüentemente, afetam os valores de resistência de aderência à tração.

_ Os corpos-de-prova circulares apresentam maiores valores de aderência em relação aos quadrados, pois os últimos concentram tensões nas suas extremidades;

_ O tipo de cola empregado para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração não interfere significativamente nos valores de aderência.

_ As cargas aplicadas sem excentricidade proporcionam maiores valores de aderência quando comparadas a cargas excêntricas, pois estas não originam efeitos de flexão inicial.”

4 ANÁLISE DE DADOS SOBRE ENSAIOS DE CAMPO

A principal justificativa deste trabalho se baseia na observação da grande ocorrência de manifestações patológicas relacionadas diretamente à falha de aderência em revestimentos de argamassa aplicados sobre substratos de concretos estruturais. A importância do problema é percebida nos casos ocorridos em prédios já em uso, na dificuldade de obter bons resultados de aderência sobre substratos de concreto nas novas construções e no estudo do assunto, feito por diversos trabalhos atuais.

O estudo de resultados de ensaios de aderência realizados em revestimentos aplicados em construções e edificações em uso pode melhorar o entendimento de diversas questões, como, por exemplo, a influência dos tipos de substratos na aderência e quais as partes dos sistemas de revestimento mais propícias a ruptura.

4.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA REALIZADO PELA CIENTEC/RS

Há vários anos, o Departamento de Materiais de Construção (DEMACC) da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC/RS) realiza ensaios para verificação da resistência de aderência à tração em analogia à NBR 13.528 (ABNT, 1995) em obras ou edificações já habitadas, principalmente na cidade de Porto Alegre.

Os ensaios realizados pela CIENTEC consistem na tração de amostras de revestimento até seu colapso, promovendo o “arrancamento” destas. Tais amostras são obtidas geralmente através do corte circular, com diâmetro aproximado de 95mm, conseguido com “serra de copo”, de certa área do revestimento até alcançar o seu substrato, o que forma um cilindro isolado do restante do revestimento.

Para análise de revestimentos verticais cerâmicos, o corte é realizado com disco diamantado, formando amostras de seção quadrada. Em alguns casos, o interesse do ensaio é a verificação da resistência das camadas de argamassa localizadas abaixo dos revestimentos cerâmicos. Nestas ocasiões se pratica a remoção das placas cerâmicas e argamassa colante para realização dos ensaios.

No local dos ensaios são identificados os tipos de revestimento, se este é interno ou externo, e para cada corpo-de-prova é anotada a carga de ruptura, a região onde ocorre o colapso e o tipo de substrato. Antes da realização dos cortes, é realizada uma verificação prévia da estabilidade dos revestimentos através da resposta sonora à percussão com martelo de madeira, para evitar que se ensaiem locais que já estejam com o sistema de revestimento não aderido. Após os ensaios, as amostras são encaminhadas para o laboratório onde são medidas para que se calculem as áreas de seção, partindo-se então para o cálculo das tensões de ruptura e elaboração dos relatórios que, quando possível, também informam a espessura dos revestimentos. As Figura 13 a 15 mostram imagens que representam como são realizados os ensaios de aderência de revestimentos da CIENTEC.

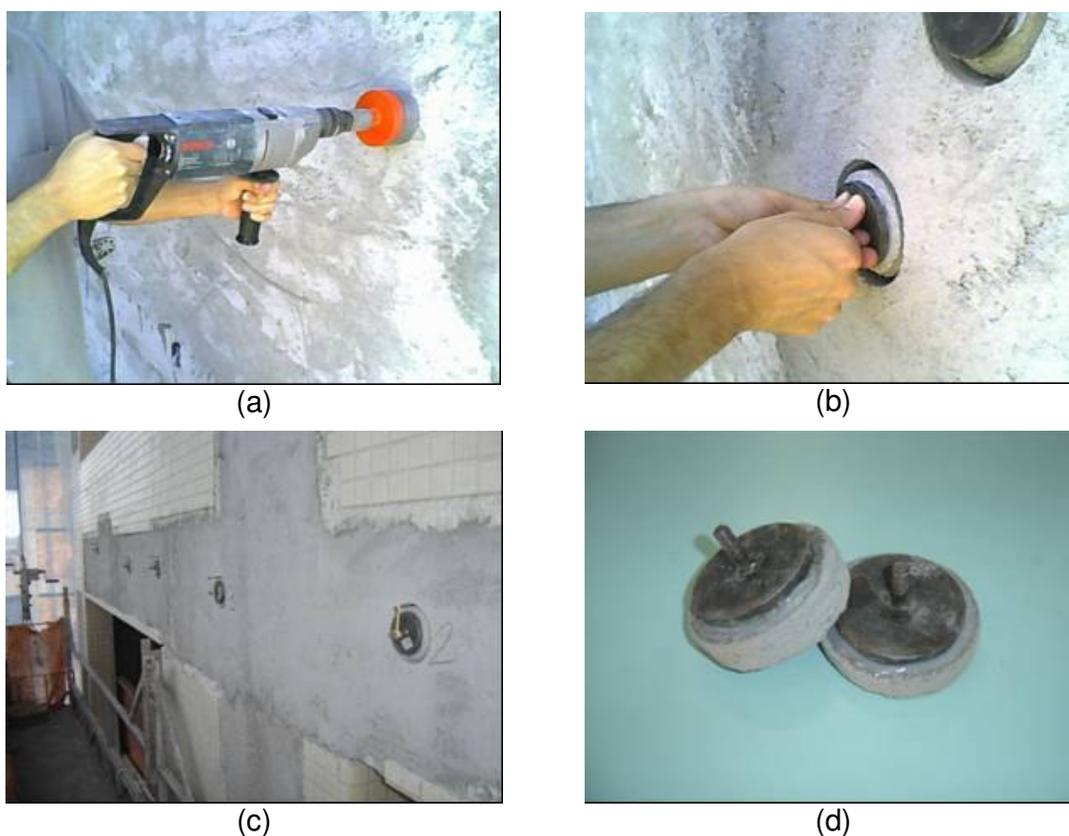


Figura 13: ensaios em revestimento de argamassa externo: (a) realização do furo; (b) colagem da pastilha metálica; (c) corpos-de-prova prontos para ensaio e (d) depois de ensaiados



Figura 14: verificação em revestimento de teto: (a) realização de furo e (b) após ensaio



Figura 15: equipamento utilizado na medição da resistência de aderência pela CIENTEC/RS: (a) vista geral e (b) marcador de carga

4.2 METODOLOGIA DA PESQUISA

A partir de dados obtidos de diversos relatórios de ensaios de resistência de aderência em revestimentos de argamassa feitos pelo Departamento de Materiais de Construção da CIENTEC/RS, realizou-se uma pesquisa correlacionando níveis de resistência de aderência com as regiões de ruptura, localização e tipo de substrato do sistema de revestimento, com o objetivo de analisar as relações destes parâmetros com os resultados de aderência.

Os resultados analisados somaram 2616 valores de resistência pesquisados em relatórios de ensaios de resistência de aderência de revestimentos internos e externos de argamassa de 1998 até 2009. Foram abordados valores de aderência

de 131 diferentes edificações, algumas em construção e outras em uso, sendo que 113 eram localizadas na cidade de Porto Alegre, 9 em outras cidades da grande Porto Alegre e 9 no interior do estado do Rio Grande do Sul.

A análise realizada aborda apenas valores e informações relevantes ao tema da pesquisa do presente trabalho, obtidos de ensaios de maneira global e estatística sem identificação de edificações, pessoas e entidades envolvidas, a fim de manter o sigilo dos interessados.

Através dos dados obtidos, as seguintes informações foram apresentadas, relacionadas e analisadas em gráficos e tabelas:

- resistências de aderência à tração (em MPa);
- regiões de ruptura;
- tipo de substrato (alvenaria ou concreto estrutural);
- localização do revestimento (externo ou interno).

Para cada valor de aderência analisado, foi informado o local ou região em que ocorreu a ruptura. Esta informação é extremamente importante, pois aponta qual a provável parte mais frágil do sistema de revestimento e indica, em muitos casos de baixa aderência, a possível causa do problema. A Tabela 2 relaciona a nomenclatura utilizada nesta pesquisa para definir as formas de ruptura de cada resultado de resistência de aderência.

Tabela 2: regiões de ruptura dos revestimentos definidos para a pesquisa

REGIÃO DE RUPTURA - PESQUISA
SUBSTRATO
INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO
CHAPISCO
INTERFACE CHAPISCO/ARGAMASSA DE REVESTIMENTO
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO
INTERFACE SUBSTRATO/ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Os colapsos ocorridos na camada de substrato englobam as situações em que o concreto ou a alvenaria rompem no seu interior durante o ensaio de aderência,

deixando fragmentos no corpo-de-prova (c.p.) arrancado. Estes casos não são muito comuns e ocorrem principalmente em revestimentos com alta resistência mecânica e aplicados sobre substratos de alvenaria, onde esta provavelmente tenha apresentado resistência à tração inferior aos materiais aplicados no revestimento e suas ligações.

As regiões de interface substrato/chapisco abrangem as rupturas que separam o contato que havia entre estas camadas. Fica exposta a superfície do material do substrato no fundo do furo do ensaio, ocasionada pela remoção da camada de argamassa de chapisco, aderida ao corpo-de-prova arrancado, que apresenta muitas vezes o formato da superfície do substrato. O colapso na interface chapisco/argamassa de revestimento (ou emboço) expõe a superfície do chapisco no fundo do furo, que deixa sua rugosidade impressa no c.p. arrancado. A ruptura na interface substrato/argamassa de revestimento ocorre em paredes onde não foram aplicadas camadas de chapisco, situação mais comum em revestimentos internos sobre substrato de alvenaria. A Figura 16 mostra alguns exemplos de rupturas ocorridas em interfaces.

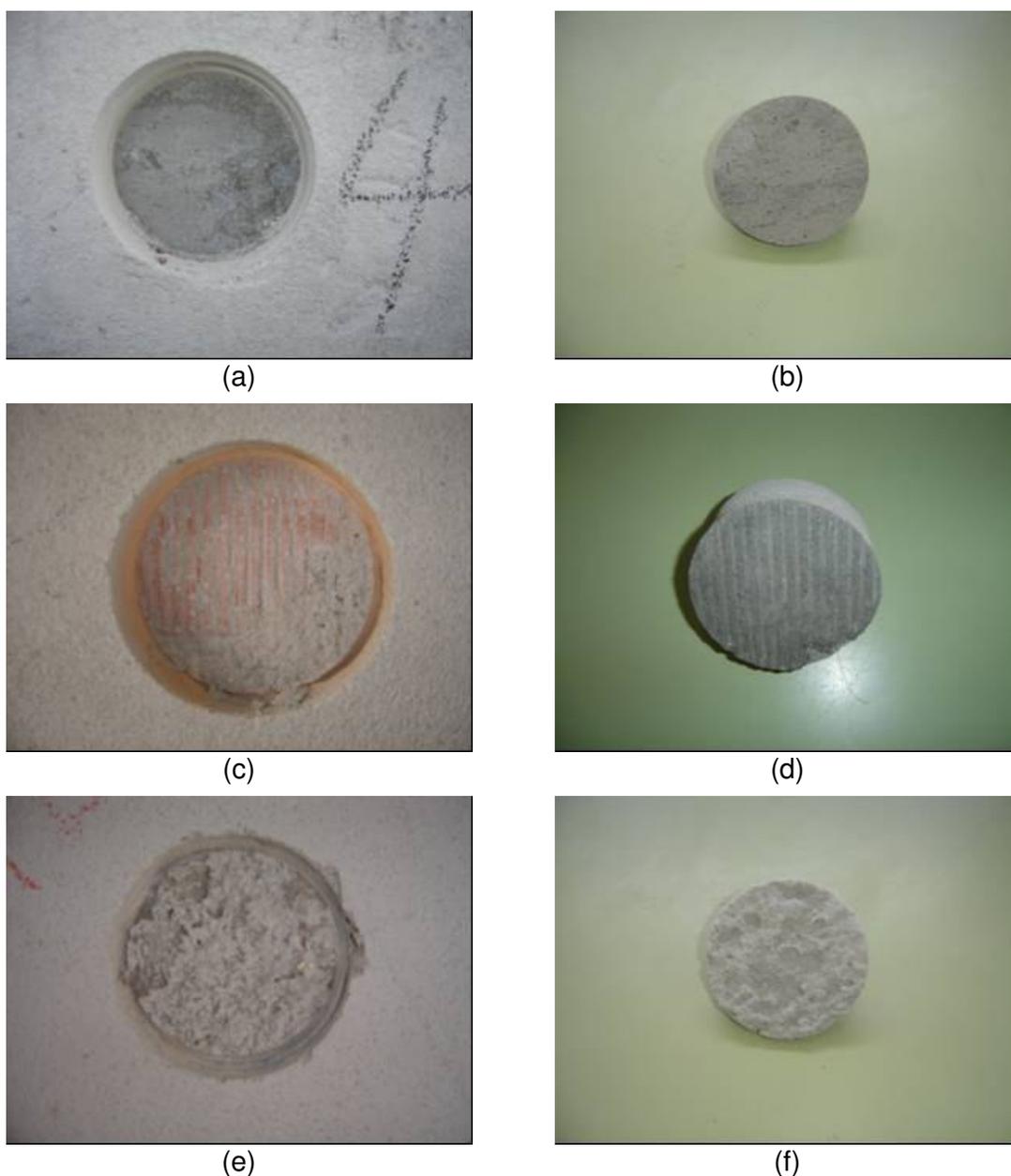


Figura 16: aspecto superficial: (a) furo e (b) respectivo c.p. de ruptura na interface substrato de concreto/chapisco; (c) furo e (d) respectivo c.p. de ruptura na interface substrato de alvenaria/chapisco; (e) furo e (f) respectivo c.p. de ruptura na interface chapisco/emboço

As rupturas ocorridas na argamassa de chapisco e na argamassa de revestimento representam que a região menos resistente do sistema de revestimento foi o interior destas camadas. Nestes casos o material em questão fica aderido parte no interior do furo e parte no c.p. (Figura 17). Os valores assim obtidos estão relacionados, na

verdade, à resistência à tração das argamassas colapsadas e não à aderência entre diferentes materiais empregados nos sistemas de revestimento e destes aos substratos. Portanto, nos casos de ruptura no interior dos materiais empregados, os resultados devem vir precedidos do sinal “>”, o que significa que as interfaces do sistema de revestimento ensaiado apresentaram resistência de aderência superior ao valor atingido.



Figura 17: aspecto superficial de (a) furo e (b) respectivo c.p. em exemplo de ruptura na argamassa de emboço

Muitas vezes ocorre a ruptura do corpo-de-prova em mais de uma região definida. Nesses casos, todos os tipos ocorridos de ruptura são identificados e relatados nos resultados do ensaio, como no caso da Figura 18 (parte na interface substrato/chapisco e parte na interface chapisco/emboço).



Figura 18: aspecto superficial de (a) furo e (b) respectivo c.p. de ruptura ocorrida parte na interface substrato de concreto/chapisco e parte na interface chapisco/emboço

Os resultados computados nesta pesquisa são expressos com uma casa decimal devido à resolução utilizada nos valores de resistência de aderência dos relatórios pesquisados. Rupturas em regiões relacionadas com revestimentos cerâmicos, como por exemplo, na interface argamassa colante/placa cerâmica, não foram computadas nesta pesquisa. Os casos de ruptura na interface revestimento/cola da pastilha e cola/pastilha não constam neste trabalho, pois são desconsiderados nos ensaios realizados pela CIENTEC, quando os ensaios são repetidos com a fixação de nova pastilha.

Os casos de ruptura em mais de uma região do revestimento tiveram contabilizadas todas as regiões colapsadas. Nestas ocorrências, a quantificação da área relativa a cada região do revestimento rompido na seção do corpo-de-prova ensaiado não é levada em conta, visto que esta informação não é registrada nos ensaios de aderência aqui pesquisados.

Como anteriormente explicado, todos os locais de ensaio são previamente verificados com percussão para evitar a análise em pontos com falha na estabilidade do revestimento, o que não impede medições com valor de 0,0 MPa de resistência de aderência à tração.

Os dados e análises aqui apresentados buscam relacionar os níveis de resistência de aderência com os locais de ruptura, cujas informações obtidas poderão servir de subsídio para futuros trabalhos.

4.3 RESULTADOS DA PESQUISA

Foram computados 1158 valores de aderência identificados como sendo de revestimentos externos e 1097 resultados de revestimentos internos. Ainda foram encontrados 361 resultados de aderência onde não havia registro do tipo de revestimento aplicado (externo ou interno). Deve-se salientar que a resistência de aderência aqui considerada refere-se, na realidade, à resistência dos revestimentos aos esforços de tração aplicados durante os ensaios, já que são contabilizados os valores das cargas de ruptura à tração ocorrida no interior do material das camadas (argamassas) e não somente o colapso da ligação das interfaces, como especificado na NBR 13.528 (ABNT, 1995).

As médias dos resultados de aderência pesquisados e a porcentagem dos tipos de ruptura dos revestimentos externos e internos são separadas por substrato de alvenaria e concreto estrutural e pelos tipos de ruptura, como mostrado nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: resultados de aderência de revestimentos

TIPO DE REVESTIMENTO	SUBSTRATO	ADERÊNCIA MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO
INTERNO	ALVENARIA	0,30	0,13	42,2%
	CONCRETO	0,20	0,13	63,4%
EXTERNO	ALVENARIA	0,34	0,15	44,8%
	CONCRETO	0,20	0,15	72,3%

Tabela 4: resultados de aderência e tipos de ruptura

SUBSTRATO	LOCAL DE RUPTURA	REVESTIMENTO INTERNO		REVESTIMENTO EXTERNO	
		ADERÊNCIA MÉDIA (MPa)	OCORRÊNCIA DO TIPO DE RUPTURA	ADERÊNCIA MÉDIA (MPa)	OCORRÊNCIA DO TIPO DE RUPTURA
ALVENARIA	SUBSTRATO	0,35	5,6%	0,38	12,6%
	INTERFACE SUBSTRATO/ CHAPISCO	0,34	6,5%	0,36	16,1%
	CHAPISCO	0,31	1,1%	0,35	3,3%
	INTERFACE CHAPISCO/ ARGAMASSA DE REV.	0,30	23,0%	0,38	22,4%
	ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	0,31	42,0%	0,34	39,4%
	INTERFACE SUBSTRATO/ ARGAMASSA DE REV.	0,30	21,7%	0,29	6,1%
CONCRETO	SUBSTRATO	-	-	-	-
	INTERFACE SUBSTRATO/ CHAPISCO	0,18	9,5%	0,18	25,3%
	CHAPISCO	0,14	2,0%	0,32	3,6%
	INTERFACE CHAPISCO/ ARGAMASSA DE REV.	0,20	29,0%	0,17	35,9%
	ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	0,22	59,5%	0,27	35,1%
	INTERFACE SUBSTRATO/ ARGAMASSA DE REV.	-	-	-	-

Nas Tabela 3 e 4 pode-se observar as diferenças entre os tipos de revestimentos e substratos, tanto na porcentagem de ocorrência quanto no valor médio de aderência dos locais de ruptura. Nos substratos de alvenaria os valores médios de aderência são superiores ou muito próximos a 0,30 MPa e, nos dois tipos de revestimento, mostraram maior ocorrência de ruptura na camada de argamassa. Nos substratos de concreto, além de médias de aderência mais baixas e diferentes entre si (em comparação com o substrato de alvenaria), percebe-se um aumento da ocorrência de ruptura nas interfaces nos revestimentos externos, principalmente entre os substratos (concreto) e os chapiscos, com aumento de 166% na porcentagem de ocorrência.

A análise estatística dos resultados sobre os tipos de revestimento e substratos é mostrada na Tabela 5 e Figura 19.

Tabela 5: resultados da análise de variância do tipo de revestimento

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
TIPO DE REVESTIMENTO	1	0,1907	10,13	0,0015	Significativo
SUBSTRATO	1	5,793	307,65	0,0000	Significativo
TIPO X SUBSTRATO	1	0,1331	7,07	0,0079	Significativo
ERRO	1755	0,0188	-	-	-



(a)



(b)



(c)

Figura 19: efeitos dos valores de aderência: (a) por tipo de revestimento; (b) por substrato e (c) interação tipo de revestimento e substrato

Pode-se observar que os revestimentos externos apresentaram valores de aderência significativamente superiores aos revestimentos internos, o que é coerente com a preocupação por parte das empresas construtoras na busca de uma maior aderência dos revestimentos externos, uma vez que as solicitações a que são expostos os revestimentos têm maior grandeza e, sobretudo, por questões de segurança dos usuários. Outro fator que pode estar associado à maior aderência verificada nos revestimentos externos é a preocupação com a estanqueidade e durabilidade destes revestimentos, mais sujeitos às intempéries, levando ao maior consumo de cimento nas argamassas aplicadas, refletindo positivamente na resistência de aderência destes materiais. Há também exigências de resistência de aderência constantes na

Tabela 2 da NBR 13749 (ABNT, 1996). Neste sentido, os revestimentos externos pesquisados apresentaram média de aderência (0,27 MPa) um pouco abaixo do valor mínimo estipulado (0,30 MPa). Já o valor médio de 0,25 MPa de resistência de aderência dos revestimentos internos da pesquisa superou o resultado mínimo exigido pela norma nestes casos (0,20 MPa).

Analisando os resultados do substrato na Figura 19(b), os revestimentos aplicados sobre concretos estruturais apresentaram valores significativamente inferiores aos aplicados em alvenarias, que apresentaram resistência de aderência média 60% maior com o valor de 0,32 MPa, atendendo a NBR 13749 (ABNT, 1996) tanto para os revestimentos externos quanto para os internos. Esta observação sugere uma dificuldade generalizada em obter bons resultados de aderência de revestimentos de argamassa em substratos de concreto estrutural. Os resultados confirmam a importância do problema já abordado por diversos autores como Pretto et al. (2009), Ceotto et al. (2005), Carasek et al. (2005), Carasek e Cascudo (2007), Pereira et al. (2005) e Recena (2008) que ressaltam a tendência de aumento da ocorrência de manifestações patológicas relacionadas a falhas de aderência de revestimentos de argamassas aplicadas sobre peças estruturais de concreto, decorrente principalmente de novas técnicas construtivas (como maiores deformações das estruturas, desmoldantes, fôrmas mais lisas, etc.) e concretos mais resistentes e, portanto, menos permeáveis.

Na interação dos dois fatores percebe-se que nos substratos de concreto os resultados de aderência não se diferenciam notavelmente quanto ao tipo de revestimento, enquanto que nos substratos de alvenaria, esta diferença é percebida. Este comportamento pode ser atribuído aos traços das argamassas destinadas a revestimentos externos, geralmente com maior teor de cimento, e à prática de alguns construtores de não aplicar chapisco em substratos de alvenaria em revestimentos internos e aplicar nas alvenarias dos revestimentos externos (o que provavelmente aumenta a resistência de aderência), enquanto que nos substratos de concreto, a prática é aplicar chapisco nos dois casos.

Para analisar a variância dos resultados em função do substrato e local de ruptura, foram descartados os resultados com ruptura no substrato e na interface

substrato/argamassa, ocorridos somente nos substratos de alvenaria, para possibilitar a interação dos fatores local de ruptura e substrato, apresentada pela Tabela 6 e Figura 20.

Tabela 6: resultados da análise de variância dos fatores substrato e local de ruptura

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
SUBSTRATO	1	2,6073	123,82	0,0000	Significativo
LOCAL DE RUPTURA	3	0,1034	4,91	0,0021	Significativo
SUBSTRATO X LOCAL DE RUPTURA	3	0,2405	11,42	0,0000	Significativo
ERRO	2417	0,0211	-	-	-



Figura 20: efeito do local de ruptura e substrato nos resultados de aderência

Ao verificar o efeito significativo da interação entre substrato e local de ruptura foram realizadas, separadamente para cada substrato, as análises dos valores de aderência em função dos locais de ruptura. A Tabela 7 e a Figura 21 apresentam, respectivamente, a análise de variância e o efeito do tipo de ruptura nos resultados de aderência dos substratos de alvenaria em função dos locais de ruptura.

Tabela 7: análise de variância dos resultados por local de ruptura em substratos de alvenaria

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
LOCAL DE RUPTURA	5	0,1628	7,1407	0,0000	Significativo
ERRO	1349	0,0228	-	-	-

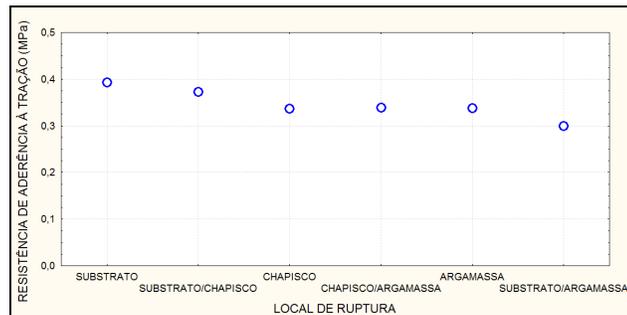


Figura 21: efeito do local de ruptura nos resultados de aderência em substratos de alvenaria

Na Figura 21 fica visível que os tipos de ruptura ocorridos nos substratos de alvenaria mostraram valores de aderência satisfatórios, pois atendem à NBR 13749 (ABNT, 1996) quanto aos valores de resistência de aderência mínimos, mesmo para revestimentos externos (0,30 MPa). A Tabela 8 mostra a comparação múltipla de médias pelo teste de Duncan para distinguir os resultados com diferença significativa entre si.

Tabela 8: comparação múltipla de médias dos resultados de aderência do substrato de alvenaria por local de ruptura pelo teste de Duncan

PROBABILIDADES (TESTE DE DUNCAN)							
LOCAL DE RUPTURA		substrato	interface substrato/chapisco	chapisco	interface chapisco/argamassa	argamassa	interface substrato/argamassa
	MÉDIA (MPa)	0,39	0,37	0,34	0,34	0,34	0,30
substrato	0,39	-	0,400616	0,028290	0,028153	0,029989	0,000174
interface substrato/chapisco	0,37	0,400616	-	0,150553	0,143884	0,155629	0,00341
chapisco	0,34	0,028290	0,150553	-	0,908395	0,938608	0,113311
interface chapisco/argamassa	0,34	0,028153	0,143884	0,908395	-	0,962804	0,120562
argamassa	0,34	0,029989	0,155629	0,938608	0,962804	-	0,117127
interface substrato/argamassa	0,30	0,000174	0,00341	0,113311	0,120562	0,117127	-

*Os valores destacados mostram as médias com diferença significativa.

A comparação múltipla de médias apontou as seguintes conclusões:

- os resultados com ruptura no substrato foram considerados significativamente superiores aos demais, com exceção da interface substrato/chapisco;
- os resultados de aderência com ruptura na interface substrato/argamassa foi considerada significativamente inferior às rupturas ocorridas na camada de substrato e na interface substrato/chapisco.

Os resultados com ruptura na interface substrato/argamassa (em revestimentos sem chapisco) são significativamente inferiores às rupturas na interface substrato/chapisco que mostraram resultado médio 23,3% superior, o que reforça a vantagem do uso de chapisco mesmo em substratos mais porosos.

A Tabela 9 e a Figura 22 mostram a análise dos resultados dos substratos de concreto em função dos locais de ruptura, que mostraram diferenças significativas.

Tabela 9: análise de variância dos resultados por local de ruptura em substratos de concreto

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
LOCAL DE RUPTURA	3	0,3443	18,137	0,0000	Significativo
ERRO	1388	0,0190	-	-	-

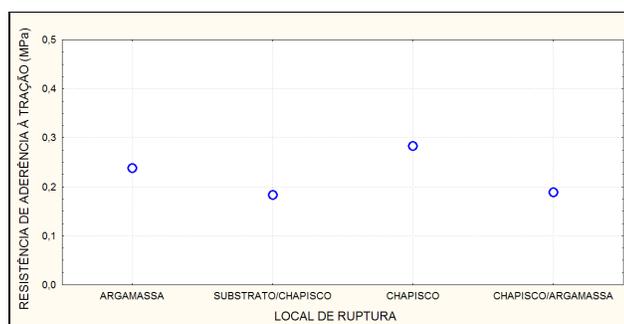


Figura 22: efeito do local de ruptura nos substratos de concreto

Para identificar os locais de ruptura com diferença significativa, foi realizada uma comparação múltipla de médias pelo teste de Duncan (Tabela 10).

Tabela 10: comparação múltipla de médias dos resultados de aderência do substrato de concreto por local de ruptura pelo teste de Duncan

PROBABILIDADES (TESTE DE DUNCAN)					
LOCAL DE RUPTURA		interface substrato/chapisco	chapisco	interface chapisco/argamassa	argamassa
	MÉDIA (MPa)	0,18	0,28	0,19	0,24
interface substrato/chapisco	0,18	-	0,000003	0,765127	0,004667
chapisco	0,28	0,000003	-	0,000011	0,012096
interface chapisco/argamassa	0,19	0,765127	0,000011	-	0,008361
argamassa	0,24	0,004667	0,012096	0,008361	-

*Os valores destacados mostram as médias com diferença significativa.

A Tabela 10 mostra que, nos revestimentos sobre substratos de concreto, os resultados de aderência com rupturas nas interfaces apresentaram valores significativamente inferiores às demais camadas e inferiores ao exigido pela norma para todos os tipos de revestimentos (externo, interno ou teto). A interface substrato de concreto/chapisco mostrou média de resultados inferior a 50% do valor médio da mesma interface nos substratos de alvenaria. Estes resultados supõem uma maior fragilidade nessas regiões nos sistemas de revestimentos de argamassa aplicados sobre concreto estrutural, tema abordado neste trabalho. A fragilidade da interface concreto/chapisco é devida a diversos fatores já comentados e é a principal responsável pelas ocorrências de descolamento dos revestimentos de argamassas dos substratos de concreto estrutural. No estudo de Carasek et al. (2005), foi realizado um levantamento desta manifestação patológica em obras de Brasília – DF, onde descolamentos ocorriam com ruptura na interface estrutura/chapisco, removendo totalmente o chapisco e deixando a superfície do concreto completamente limpa. Segundo os autores, o fenômeno foi decorrente de uma ação conjugada e sinérgica de vários fatores, como a baixa aderência entre a argamassa de chapisco e a estrutura de concreto (contaminada por desmoldante), e a alta retração da argamassa de revestimento, atribuída ao alto teor de cimento das argamassas e ao clima local (quente, seco e com incidência de ventos fortes), o qual propiciou rápida evaporação da água constituinte da argamassa.

Os resultados da pesquisa mostraram coerência e, conseqüentemente, ajudam a confirmar diversas preocupações e conceitos relativos à aderência de revestimentos de argamassa. Destes, pode-se destacar três observações importantes através dos resultados de resistência de aderência aqui pesquisados:

- o uso de chapisco como camada de preparo de revestimentos sobre alvenaria se mostrou vantajoso ao analisar que os resultados de aderência com ruptura na interface (sem chapisco) entre alvenaria e argamassa de revestimento foram inferiores às rupturas ocorridas na camada de chapisco e nas interfaces alvenaria/chapisco e chapisco/argamassa;
- os revestimentos aplicados em substratos de alvenaria apresentaram valores de resistência de aderência significativamente superiores aos revestimentos aplicados em substratos de concreto estrutural;
- os resultados de resistência de aderência significativamente inferiores dos substratos de concreto ocorreram nas interfaces, como a interface concreto/chapisco onde ocorrem principalmente os casos de descolamento de revestimentos;
- a ocorrência dos tipos de ruptura interface substrato/chapisco e chapisco/argamassa nos ensaios de aderência é mais freqüente nos substratos de concreto, principalmente nos revestimentos externos, onde as manifestações patológicas de descolamento se tornam mais graves e perigosas.

Pode-se observar que a grande ocorrência de deslocamentos ocorridos na interface chapisco/concreto, comentada neste trabalho, demonstra coerência com os resultados obtidos nesta pesquisa. A baixa aderência média dos substratos de concreto, em comparação com os substratos de alvenaria, demonstra a dificuldade de atingir condições ideais de aderência nestes substratos, o que pode ser atribuído, entre outros fatores, à baixa absorção dos concretos, suas superfícies planas e presença de contaminantes, como desmoldantes.

Também se percebe que os valores de aderência dos revestimentos externos aplicados sobre alvenaria são superiores aos internos, o que pode ser explicado por

argamassas com maiores consumos de cimento e aplicação de camada de chapisco, o que muitas vezes não ocorre nos revestimentos internos sobre alvenaria.

Estas observações demonstram a importância dos chapiscos nos revestimentos de argamassa, tanto nos substratos de alvenaria quanto nos substratos de concreto, além de reforçar a relevância do problema da falta de aderência de revestimentos de argamassa aos substratos de concretos estruturais, principal tema deste trabalho e um dos motivos da realização do seu programa experimental.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

Para atender os objetivos desta dissertação, que consistiu em avaliar a influência do tipo e temperatura de cura do chapisco na aderência de revestimentos de argamassa aplicados sobre substrato de concreto estrutural com resistência à compressão fixada em 35,0 MPa, realizou-se um planejamento onde foram estabelecidas como variáveis independentes do experimento:

- tipo de chapisco, em quatro níveis;
- tipo de cura, em dois níveis;
- temperatura de cura do chapisco, em dois níveis.

Como variáveis de resposta foram analisados os seguintes itens:

- resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento;
- resistência à tração e compressão das argamassas de chapisco;
- absorção e coeficiente de capilaridade das argamassas de chapisco.

Foram moldados oito prismas com as dimensões de 40x45x10cm, conforme apresentado na Figura 23, cujas duas faces de maior área serviram de base,

formando 16 superfícies (painéis) que receberam quatro tipos de chapiscos analisados.



Figura 23: amostras de substratos (prismas) utilizados no experimento

Vinte e oito dias após a concretagem, quatro tipos de chapisco foram aplicados sobre as faces dos prismas de concreto em ambiente com temperatura e umidade controladas (23 ± 2 °C e 60%), quais sejam: três convencionais (cimento Portland e areia média), chapados sobre os painéis, e um industrializado, aplicado conforme orientação do fabricante, por meio de desempenadeira dentada. Dois dos chapiscos convencionais foram compostos com o mesmo cimento, diferenciados apenas pelo traço. Para comparar os efeitos dos cimentos no desempenho dos chapiscos convencionais, o terceiro tipo utilizou outro cimento, porém repetindo o traço de um dos outros chapiscos convencionais, sendo que todos utilizaram o mesmo agregado no seu traço. Para compor os chapiscos convencionais, foi escolhido um cimento Portland pozolânico (CP IV 32) e um cimento Portland composto (CP II-Z 32).

Em dois dos três traços de chapisco convencional foi usado o cimento Portland do tipo CP IV 32 devido à sua grande oferta no mercado regional. Outro motivo que levou à escolha deste tipo de cimento foi o aparecimento de dúvidas da área técnica relativas ao seu desempenho quanto aglomerante em chapiscos devido ao grande teor de pozolana na sua composição, entre 15% e 50%, segundo a NBR 5736 (ABNT, 1991).

O outro chapisco convencional foi composto com cimento Portland tipo CP II-Z 32 RS por ser um cimento com maior teor de clínquer e menor adição pozolânica que o cimento usado nos outros dois chapiscos convencionais, com o intuito de verificar as dúvidas acima expostas. Para isso, este manteve o mesmo traço em volume de um dos chapiscos com CP IV.

Os tipos de chapiscos analisados no experimento foram:

- chapisco convencional com CP IV 32 com traço 1:2 em volume;
- chapisco convencional com CP IV 32 com traço 1:3 em volume;
- chapisco convencional com CP II-Z com traço 1:3 em volume;
- chapisco adesivo industrializado desempenado.

Para o coeficiente de inchamento da areia utilizado, foi estimado o valor de 1,29. A cura do chapisco, durante dois dias após a sua aplicação, foi realizada em duas condições distintas. Uma com o uso de mantas de não-tecido, definidas pelo fabricante como “fibras de poliéster revalorizadas” e utilizadas para cura de peças de concreto, umidificadas de 12 em 12 horas, cobrindo os prismas chapiscados. A Figura 24 exemplifica a manta de cura utilizada para o experimento e uma imagem do seu uso mais comum em obra. A segunda condição de cura foi a exposição das amostras às condições controladas do ambiente, sem nenhum cuidado ou proteção específica.



Figura 24: (a) manta para cura utilizada no experimento e (b) exemplo do uso em obra (fonte: www.geobrasil.com.br)

Para avaliar possíveis efeitos da temperatura no período da realização das curas dos chapiscos, foram determinados dois níveis de temperatura, um normal e um elevado. Para o nível de temperatura aqui considerado como normal foi determinado o parâmetro de $23\pm 2^\circ\text{C}$.

Para o nível de temperatura elevada buscou-se um valor que representasse condições reais de temperaturas altas. Para ter-se um parâmetro da temperatura que a superfície de uma peça de concreto estrutural pode apresentar em um dia quente e com sol, procurou-se estimar a temperatura que uma superfície vertical de concreto teoricamente poderia atingir em Porto Alegre em tais condições.

Sabe-se que a incidência de radiação solar sobre uma superfície pode elevar a sua temperatura para valores acima da temperatura do ambiente em que esta superfície se encontra. Este valor de temperatura pode ser estimado pelo cálculo da “temperatura equivalente”. Segundo Rivero (1985), o conceito de temperatura equivalente, também denominada “temperatura sol-ar”, foi desenvolvido para integrar o conjunto de elementos do clima que incidem termicamente nos fechamentos opacos. Segundo o autor, através da análise do balanço energético que acontece na superfície exterior do elemento, chega-se à Equação 1.

$$t_q = t_e + t_r$$

Equação 1

Onde:

 t_q = temperatura equivalente (°C) t_e = temperatura do ar exterior (°C)

t_r = equivalente térmico (°C) do efeito combinado da radiação solar incidente no fechamento e do intercâmbio de energia por radiação e convecção entre a superfície e o meio envolvente, relacionado ao coeficiente de absorção (α) e emissividade (ϵ) do material em relação à energia radiante.

A Figura 25 apresenta um modelo que representa a temperatura de uma superfície atingida por radiação solar, onde a temperatura equivalente (t_q) num ponto C é definida pelo segmento AC e compreende a temperatura do ar (t_e), representada pelo segmento AB, e a temperatura que corresponde aos intercâmbios térmicos (t_r), representada pelo segmento BC.

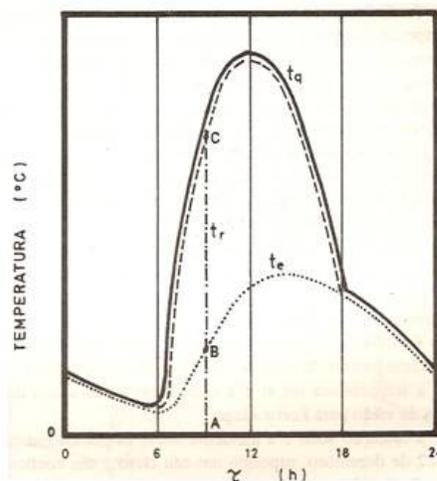


Figura 25: temperatura equivalente de uma superfície em relação ao horário de um dia, correspondendo ao efeito térmico da temperatura do ar e radiação solar incidente (RIVERO, 1985, Figura 9.1, p. 83)

A Figura 26 apresenta os valores de temperatura ar-sol e temperatura do ar para os quatro rumos em um dia de verão em Porto Alegre em uma superfície vertical com coeficiente de absorção das radiações solares (α) = 1,00.

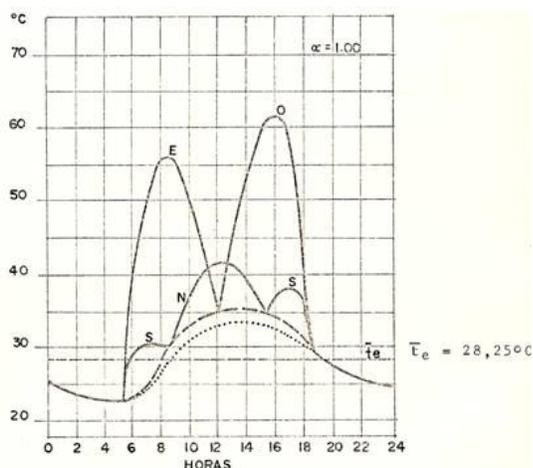


Figura 26: temperaturas correspondentes ao dia de cálculo de verão para os quatro rumos em Porto Alegre, com $\alpha = 1,00$ (AROTZEGUI, 1984, Figura 21, p. 85)

O coeficiente de absorção das radiações solares (α) do concreto pode ser considerado entre 0,65 e 0,70 (RIVERO, 1985 Tabela 4.6). Como o equivalente térmico (t_r) é proporcional ao valor do coeficiente de absorção (α), com os dados da Figura 26, na orientação oeste (O) às 16h, pode-se, desmembrando a Equação 1, corrigir o valor do α (de 1,0 para 0,7), como mostra a Equação 2.

$$t_q = t_e + t_r$$

$$\rightarrow t_r (\alpha = 1,0) = 62,0^\circ\text{C} - 32,5^\circ\text{C} = 29,5^\circ\text{C} \quad \text{Equação 2}$$

$$\rightarrow t_q (\alpha = 0,7) = t_e + (0,7) \cdot t_r = 32,5 + (0,7 \cdot 29,5) = 53,15^\circ\text{C}$$

No caso suposto acima, estimou-se que uma superfície de concreto localizada numa fachada a oeste pode atingir a temperatura de $53,15^\circ\text{C}$ em dias quentes e de céu limpo. Tais estimativas levaram à escolha do valor de $50 \pm 2^\circ\text{C}$ como parâmetro de temperatura elevada neste experimento. Tal escolha deve-se ao objetivo de reproduzir possíveis influências de dias de muito calor e da temperatura elevada dos substratos na cura de argamassas de chapisco aplicadas nestas condições.

Após o período de cura dos chapiscos aplicados, a temperatura no ambiente controlado foi mantida em $23 \pm 2^\circ\text{C}$. A umidade relativa do ar no ambiente foi fixada em $60 \pm 5\%$. Tais condições atendem as especificações de ambiente para cura encontradas em normas relacionadas às argamassas de revestimento, como a NBR

13259 (ABNT, 2005), a NBR 13278 (ABNT, 2005) e NBR 13279 (ABNT, 2005). Todas as amostras receberam o mesmo revestimento um dia após o período de cura, ou seja, três dias após a aplicação dos chapiscos. Os materiais bem, como os procedimentos utilizados, são detalhados nos itens a seguir. As amostras confeccionadas são esquematizadas na Figura 27.

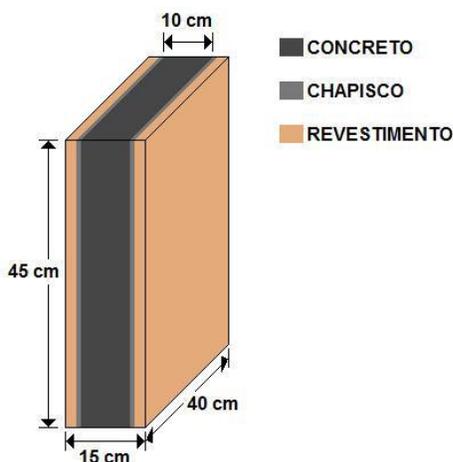


Figura 27: representação esquemática do corpo-de-prova com as camadas de chapisco e revestimento

As variáveis independentes deste experimento e seus níveis estão resumidos na Figura 28.

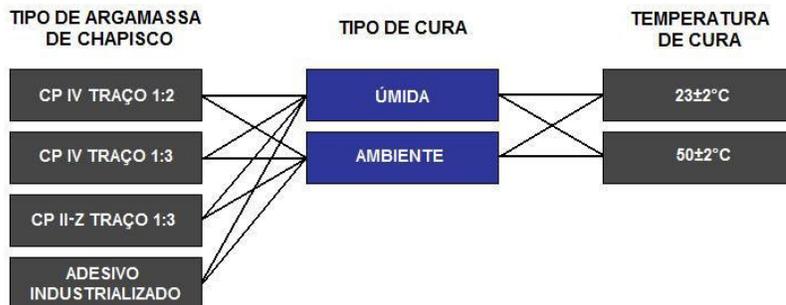


Figura 28: variáveis independentes do programa experimental e seus níveis

A Figura 29 mostra as combinações dos fatores e seus níveis envolvidos no experimento.



Figura 29: combinações das variáveis analisadas no experimento

5.2 MATERIAIS

5.2.1 Concreto (substrato)

O concreto utilizado como substrato reproduz, em materiais constituintes e traço em massa, o concreto produzido por uma grande usina de concreto da cidade de Porto Alegre na época do experimento, com resistência nominal de 35,0 MPa e abatimento nominal de 100 ± 20 mm.

A escolha da faixa de resistência do concreto empregado deve-se à sua crescente utilização em construções atuais da região. O uso de traço e material de usina se justifica na intenção de reproduzir da melhor forma possível, embora misturados em betoneira de eixo inclinado no experimento, os concretos encontrados nestas construções. A ocorrência de descolamentos de revestimentos em concretos com faixas de resistência acima de 30,0 MPa influenciou a escolha do substrato utilizado nos experimentos, por se tratar de uma condição aparentemente propícia para falhas de aderência e carente de mais estudos sobre o assunto.

Os materiais utilizados no concreto, exceto a água, foram coletados diretamente da concreteira que forneceu o traço e são compostos por:

- cimento Portland CP II-Z 32 RS;
- areia média natural quartzosa;
- areia artificial de basalto;
- brita 1 de basalto;
- aditivo polifuncional.

O traço em massa (com os agregados secos do concreto) foi:

- 1,00: 2,38: 2,90: 0,50 (cimento: agregado miúdo: brita 1: água) com 1% de aditivo (em relação à massa do cimento).

As características físicas dos materiais dos substratos de concreto estão relacionados nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11: características físicas dos agregados miúdos empregados na produção do concreto dos substratos

Massa unitária (NBR NM 45:1995)	Areia natural		Areia artificial	
	1,55 g/cm ³		1,60 g/cm ³	
Massa específica (NBR NM 52:2002)	Areia natural		Areia artificial	
	2,65 g/cm ³		2,94 g/cm ³	
GRANULOMETRIA (NBR NM 248/03)				
Peneira (abertura)	% retida		% acumulada	
	natural	artificial	natural	artificial
4,75mm	2	0	2	0
2,36mm	5	4	7	4
1,18mm	10	24	17	28
600µm	29	30	46	58
300µm	37	15	83	73
150µm	14	10	97	83
<150µm	2	17	100	100
Módulo de finura			2,53	2,46
Dimensão máxima característica (mm)			4,75	2,36

Tabela 12: características físicas do agregado graúdo utilizado na produção do concreto dos substratos

Massa unitária (NBR NM 45:1995) = 1,54 g/cm ³		
Massa específica (NBR NM 52:2002) = 2,94 g/cm ³		
GRANULOMETRIA (NBR NM 248/03)		
Peneira (abertura)	% retida	% acumulada
25mm		0
19mm	15	15
12,5mm	61	76
9,5mm	15	91
6,3mm	6	97
4,75mm	0	97
2,36mm	0	97
<2,36mm	3	100
Dimensão máxima característica		25 mm

O cimento CP II-Z usado no concreto do substrato foi o mesmo usado em algumas das argamassas de chapisco. Suas características físicas, químicas e mecânicas são apresentadas nas Tabelas 13 e 14 e Figura 34 no item a seguir.

5.2.2 Chapisco (argamassa de preparação da superfície)

Os traços em volume de 1:3 (considerando a areia úmida com um coeficiente de inchamento de 1,29) foram escolhidos seguindo a indicação de traço para argamassas de chapisco da NBR 13755 (ABNT, 1996). O traço em volume de 1:2 foi escolhido para verificar se o maior teor de CP IV no referido traço equivaleria ou superaria os resultados do CP II-Z com o traço 1:3 (no caso de um desempenho inferior do CP IV em relação ao CP II-Z na aderência nos chapiscos), compensando, nesta hipótese, a menor proporção de clínquer neste cimento. As Tabelas 13 e 14 e a Figura 30 mostram características dos cimentos utilizados nos chapiscos e revestimento do experimento de acordo com ensaios realizados e informações dos fabricantes.

Tabela 13: características físicas e mecânicas dos cimentos utilizados

Ensaio	Método	Resultado	
		CP IV	CP II-Z
Finura peneira nº 200*	NBR 11579:1991	1,8%	8,2%
Início de pega*	NBR NM 65:2002	6h20min	3h35min
Fim de pega*		7h55min	4h05min
Massa específica*	NBR NM 23:2001	2,78	3,06
Resistência à compressão*	NBR 7215:1996	7 dias	27,2 MPa
		28 dias	33,1 MPa
		36,2 MPa	39,1 MPa
Resíduo insolúvel*	NBR NM 22:2004	34,1%	9,2%
Superfície específica Blaine*	NM 76:1998	5760	4790
Diâmetro médio	Granulometria a laser**	10,66 µm	12,09 µm

*ensaio realizado pela Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC)

**ensaio realizado no LACER - UFRGS

Tabela 14: características químicas dos cimentos utilizados no experimento

Compostos	Teor	
	CP IV	CP II-Z
SiO ₂	37,18%	-
Fe ₂ O ₃	4,12%	-
CaO (total)	35,07%	-
CaO (livre)	-	1,71%
Al ₂ O ₃	13,06%	-
MgO	4,66%	5,57%
SO ₃	1,89%	2,87%
K ₂ O	1,38%	-
Na ₂ O	0,17%	-
Perda ao Fogo	3,17%	5,16%

*dados do fabricante

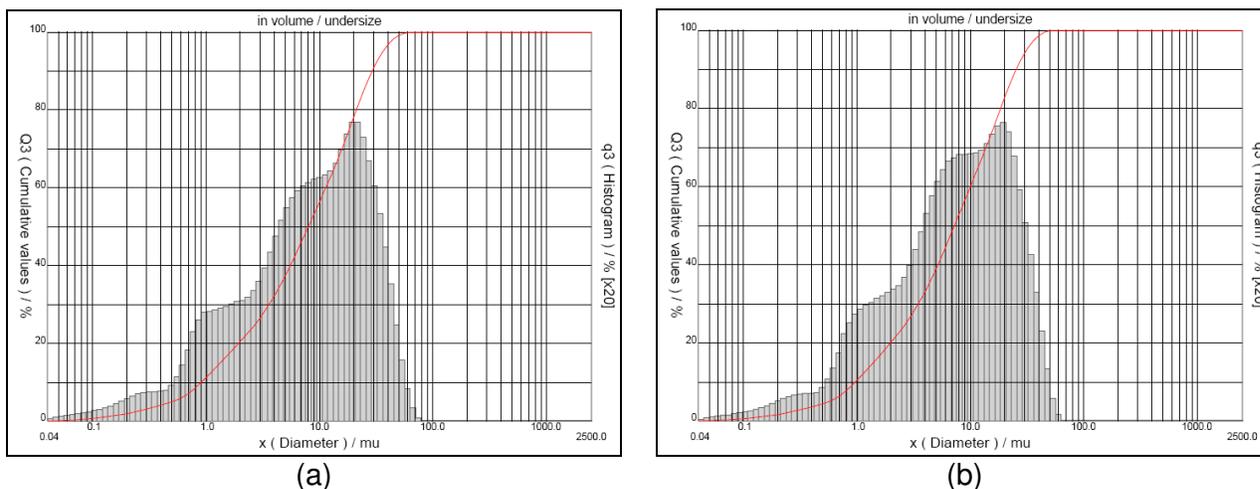


Figura 30: granulometria a laser dos cimentos: (a) CP II-Z e (b) CP IV (ensaio realizado no LACER – UFRGS)

A mesma areia foi utilizada nos três chapiscos convencionais, suas características físicas são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15: características físicas da areia dos chapiscos

Massa unitária (NBR NM 45:1995) = 1,62 g/cm ³		
Massa específica (NBR NM 52:2002) = 2,62 g/cm ³		
GRANULOMETRIA (NBR NM 248/03)		
Peneira (abertura)	% retida	% acumulada
4,75mm	1	1
2,36mm	5	7
1,18mm	10	17
600µm	22	39
300µm	25	64
150µm	32	96
<150µm	4	100
Módulo de finura		2,24
Dimensão máxima (mm)		4,75

A quantidade de água utilizada nos chapiscos convencionais foi definida e fixada através da trabalhabilidade escolhida por pedreiro experiente contratado para execução dos chapiscos e revestimentos do experimento. As relações água/cimento utilizadas nos chapiscos com CP IV e traços 1:2 e 1:3 foram, respectivamente, 1,00 e 1,25 e no chapisco com CP II-Z foi usada a/c de 1,24.

No chapisco industrializado (adesivo) foi empregada uma relação de água/mistura pronta de 0,20, conforme orientação do fabricante, que se trata de uma empresa de grande porte do mercado e encontrada em todas as regiões do Brasil. O produto foi incluído na pesquisa devido ao uso nas obras como solução para melhoria de aderência de chapiscos em concretos de peças estruturais. Também devido à tendência cada vez maior da utilização de argamassas industrializadas nos canteiros, visto sua homogeneidade e praticidade, entre outras características.

5.2.3 Argamassa de Revestimento

Para todo o experimento foi adotada uma única argamassa de revestimento (emboço), repetida em todas as combinações para não caracterizar uma variável no experimento. O traço foi definido a partir da relação aglomerante e agregado de 1:3 em volume (considerando a areia úmida com um coeficiente de inchamento da areia de 1,29), dentro dos parâmetros da NBR 13755 (ABNT, 1996) e NBR 7200 (ABNT, 1998). O cimento utilizado foi o tipo CP IV 32, o mesmo utilizado em parte dos chapiscos convencionais, devido ao seu uso corrente nos revestimentos convencionais. A cal hidratada foi do tipo CH II e a areia média usualmente encontrada no mercado local. As propriedades do cimento CP IV já foram apresentadas no item anterior (Tabelas 13 e 14), as características físicas da areia utilizada nas argamassas de emboço dos revestimentos são apresentadas pela Tabela 16.

Tabela 16: características físicas da areia do revestimento

Massa unitária (NBR NM 45:1995) = 1,55 g/cm ³		
Massa específica (NBR NM 52:2002) = 2,63 g/cm ³		
GRANULOMETRIA (NBR NM 248/03)		
Peneira	% retida	% acumulada
4,75mm	1	1
2,36mm	1	2
1,18mm	2	4
600µm	14	18
300µm	59	77
150µm	21	99
<150µm	1	100
Módulo de finura		2,01
Dimensão máxima (mm)		1,18

A relação (volume) entre cimento Portland e cal foi mantida em 1:1, portanto a argamassa de revestimento foi produzida com um traço em volume de 1:1:6 (cimento CP IV: cal CH-II: areia úmida). A escolha por um teor maior de cimento que o usualmente empregado nos revestimentos comuns deveu-se à intenção de utilizar um material mais resistente que o usual nos painéis analisados. Este propósito procurou reduzir rupturas ocorridas no interior das argamassas de revestimento durante os ensaios de verificação da resistência de aderência. Tais situações, neste experimento, gerariam resultados não conclusivos, visto que o revestimento foi um elemento fixo neste trabalho. A quantidade de água utilizada na argamassa foi definida pelo pedreiro contratado durante os testes prévios do experimento. A Tabela 17 mostra as características da cal CH-II utilizada nas argamassas de emboço dos revestimentos deste experimento.

Tabela 17: características químicas e físicas da cal hidratada utilizada nos revestimentos

Propriedade	Valor (%)
Perda ao fogo	23,25
Resíduo insolúvel	5,73
CO ₂ (Anidrido Carbônico)	2,50
Óxidos totais	93,04
Óxidos não hidratados	10,54
CaO	44,06
MgO	27,35
Umidade	0,58
Densidade	501,68 g/l
Finura (% retida acumulada)	
Peneira 0,600mm	0
Peneira 0,075mm	6,81

* Dados fornecidos pelo fabricante

Com o objetivo de facilitar a identificação das regiões de ruptura dos corpos-de-prova do ensaio de aderência, foi adicionado um corante na argamassa de revestimento na proporção de 3% da massa do cimento. Esta adição permitiu a melhor diferenciação visual da camada de emboço para o chapisco no momento da análise do tipo de ruptura dos resultados de resistência de aderência. O corante utilizado foi um pigmento inorgânico de coloração vermelha definido quimicamente como óxido de ferro (Fe₂O₃).

A Tabela 18 relaciona, de modo geral, os materiais envolvidos no experimento. Para converter o traço em volume para massa, foram definidas massas unitárias dos cimentos de acordo com verificação em analogia à NBR 7251 (ABNT, 1982). Foi considerado nos cálculos um coeficiente de inchamento de 1,29 para 4% de umidade nas areias das argamassas de chapisco e revestimento.

Tabela 18: materiais e proporcionamentos empregados no experimento

ELEMENTO		MATERIAIS	TRAÇO (VOLUME)	TRAÇO (MASSA)		
CONCRETO		CP II-Z 32 RS	-	1:2,38:2,90:0,50 (cimento: agregado miúdo: brita 1: água) 1% de aditivo		
		areia média natural quartzosa				
		areia artificial (basalto)				
		brita 1 (basalto)				
		água				
CHAPISCO		aditivo polifuncional	1:2	1:2,79:1,00 (cimento:areia:água)		
		CP IV 32				
		areia média natural quartzosa				
		água				
		CP IV 1:2			1:3	1:4,19:1,25 (cimento:areia:água)
		CP IV 32				
		areia média natural quartzosa				
		água			1:3	1:3,49:1,24 (cimento:areia:água)
		CP IV 1:3				
		areia média natural quartzosa				
água	-	1:0,20* (mistura:água)				
CP II-Z 1:3						
CP II-Z 32 RS	-	1:0,20* (mistura:água)				
areia média natural quartzosa						
água	1:1:6	1:0,76:8,01:0,74 (cim.:cal:areia:água) 3% de corante				
ADESIVO						
mistura pronta						
água						
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO						
CP IV 32	1:1:6	1:0,76:8,01:0,74 (cim.:cal:areia:água) 3% de corante				
cal hidratada CH II						
areia média natural quartzosa						
água						
corante						

* recomendação do fabricante

Os demais resultados dos ensaios de caracterização dos materiais (concreto, chapiscos e revestimento) são apresentados no item 6.1.

5.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Na preparação das amostras, a mão-de-obra, o material e preparação da superfície dos substratos (concreto), a umidade durante a cura dos chapiscos e revestimento, bem como a argamassa de revestimento foram mantidos fixos.

5.3.1 Preparação dos Substratos

A preparação das amostras teve seu início na confecção dos prismas de concreto utilizados como substrato no experimento. Os materiais do concreto, trazidos da usina, foram misturados em betoneira de eixo inclinado com 120 litros de capacidade de tambor e 80 litros de mistura, da marca “Menegotti”, com rotação de 28 rpm e motor elétrico de 0,33 cv. Para moldagem dos prismas foram utilizados moldes metálicos que receberam óleo mineral como desmoldante antes da concretagem, como mostra a Figura 31. Para evitar diferenças entre as superfícies dos primeiros prismas (fundidos em moldes novos) e dos demais (fundidos com moldes já usados), foram utilizados moldes já utilizados em diversos experimentos, porém, em bom estado.



Figura 31: preparação dos moldes dos prismas

As concretagens ocorreram em quatro etapas, uma por semana, onde dois prismas de concreto eram moldados por vez, sempre no mesmo horário, mesma mão-de-obra e fôrmas. A mistura dos materiais foi realizada com a colocação da brita, cimento e metade da água no tambor da betoneira que era ligada por 2 minutos e desligada para raspagem manual das paredes do tambor. A betoneira era novamente ligada para a colocação gradativa do restante dos materiais e mistura por mais três minutos. Os moldes eram preenchidos com o concreto e adensados com golpes de haste metálica em quatro etapas. A Figura 32 mostra a moldagem dos substratos.

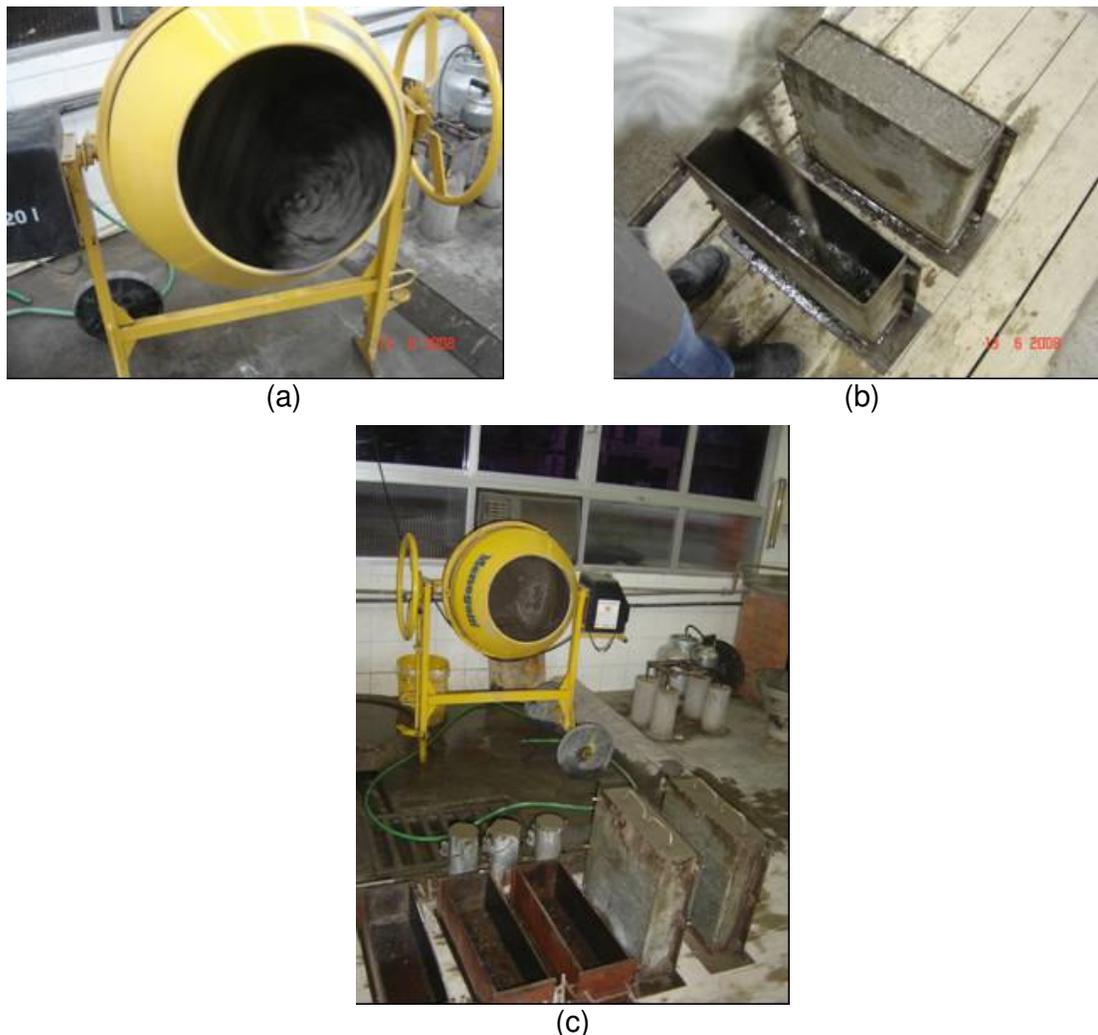


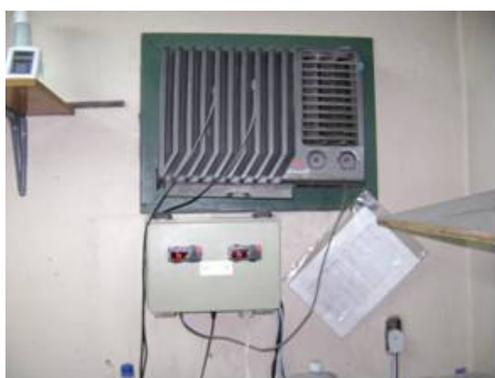
Figura 32: (a) mistura dos materiais em betoneira de eixo vertical, (b) moldagem dos prismas e (c) vista geral dos prismas e corpos-de-prova moldados por concretagem

Depois da desfôrma, 48 horas após a moldagem, os prismas receberam lavagem de sua superfície com água aquecida para remoção de resíduos de desmoldante com o uso de escova com cerdas plásticas. A cura dos substratos foi realizada em câmara úmida com umidade relativa de $95\pm 5\%$ e temperatura de $23\pm 2^\circ\text{C}$, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003).

Três dias antes de completarem 28 dias e receberem as camadas de chapisco, as amostras foram retiradas da câmara úmida e colocadas na sala climatizada para que sua umidade superficial entrasse em equilíbrio com a do ambiente controlado, no caso com uma temperatura de $23\pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar em $60\pm 5\%$. Tais

condições atendem a especificações de ambiente para cura encontradas em normas relacionadas a argamassas de revestimento como a NBR 13259 (ABNT, 2005), a NBR 13278 (ABNT, 2005) e NBR 13279 (ABNT, 2005).

As condições ambientais na sala em questão foram garantidas através de equipamentos ligados a um controle automático, onde eram inseridos os parâmetros de temperatura e umidade. Através de sensores, a condição climática era mantida nos parâmetros especificados, onde um aparelho de ar-condicionado era usado para diminuir a temperatura e também a umidade do ar, um vaporizador garantia o aumento da umidade e dois aquecedores elétricos eram acionados quando necessária a elevação da temperatura no ambiente. A Figura 33 apresenta os equipamentos da sala climatizada utilizados para controle da temperatura e umidade.



(a)



(b)



(c)

Figura 33: equipamentos de controle da sala climatizada: (a) controles e aparelho de ar-condicionado; (b) aquecedores e (c) vaporizador

Aos 28 dias de idade os prismas tiveram as superfícies de teste escovadas com escova de aço para exposição dos poros do concreto, remoção de partículas friáveis e limpeza final antes da aplicação dos chapiscos. A lavagem, a cura e escovação dos prismas são representadas na Figura 34.

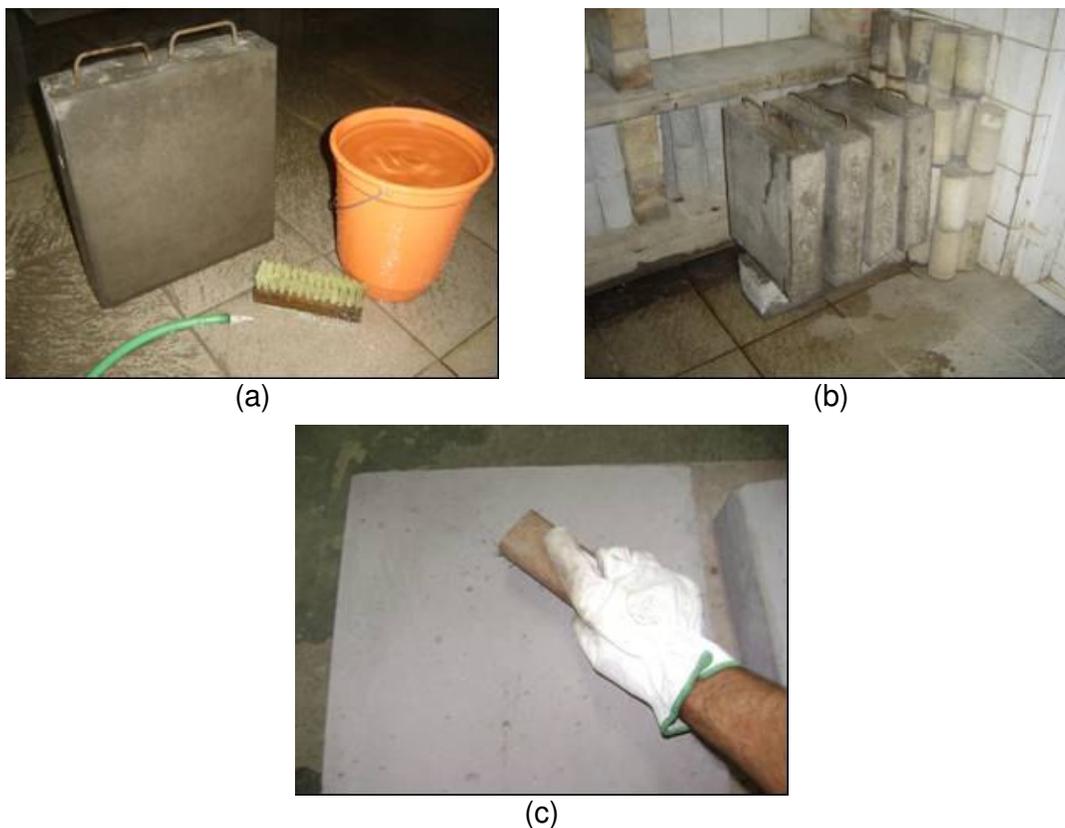


Figura 34: preparo superficial dos substratos de concreto: (a) lavagem após desfôrma com água quente e escova com cerdas plásticas, (b) cura na câmara úmida e (c) preparação dos substratos com escova de aço antes da aplicação dos chapiscos

5.3.2 Preparação e Cura dos Chapiscos

Para aplicação dos quatro tipos de camada de preparo todas as argamassas foram misturadas manualmente pelo mesmo operário, com água e materiais secos fixados, de acordo com o item 7.3.1.2 da NBR 7200 (ABNT, 1998). Os três chapiscos convencionais foram chapados e o chapisco industrializado foi aplicado com

desempenadeira dentada de acordo com a orientação do fabricante. A Figura 35 mostra exemplos dos dois tipos de aplicação dos chapiscos.



Figura 35: (a) aplicação de chapisco convencional e (b) industrializado

Duas horas após a aplicação dos chapiscos, foram iniciados os procedimentos de cura dos mesmos, mantidos durante 48 horas.

A primeira cura realizada foi a manutenção das condições climáticas controladas do ambiente onde estavam as amostras, isto é, os quatro tipos de chapisco ficaram expostos à temperatura de $23\pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar em $60\pm 5\%$.

O segundo grupo de amostras recebeu cura úmida com temperatura em $23\pm 2^\circ\text{C}$. A cura foi realizada com a colocação de manta de não-tecido úmida cobrindo totalmente as amostras. As mantas eram molhadas de 12 em 12 horas quando as amostras também eram umidificadas superficialmente com borrifador de água. O ambiente da sala foi mantido com umidade relativa do ar fixada em $60\pm 5\%$. A Figura 36 apresenta o procedimento de cura úmida do experimento.



Figura 36: (a) umedecimento e (b) cobertura das amostras com manta molhada

O terceiro grupo de painéis recebeu o mesmo tratamento de cura úmida do grupo anterior, porém com temperatura elevada ($50\pm 2^{\circ}\text{C}$). A quarta e última dupla de painéis ficou exposta às condições ambientais da sala com a temperatura elevada, portanto em $50\pm 2^{\circ}\text{C}$. Todos os tipos de procedimento de cura foram realizados durante dois dias e com umidade relativa do ar fixada em $60\pm 5\%$. Na Figura 37 podem-se visualizar imagens da sala climatizada durante o período de cura com temperatura elevada.



Figura 37: cura com temperatura elevada: (a) detalhe do equipamento de controle ambiental e (b) medição

Portanto, cada tipo de cura foi aplicado a quatro painéis, um para cada tipo de chapisco, na seguinte ordem:

- (primeira) cura ambiente com temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- (segunda) cura úmida com temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- (terceira) cura úmida com temperatura de $50\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- (quarta) cura ambiente com temperatura de $50\pm 2^{\circ}\text{C}$.

5.3.3 Preparação dos Revestimentos

Após o período de cura (48 h), para que as superfícies dos painéis pudessem secar superficialmente e equilibrar a temperatura com o ambiente antes de receber a argamassa de revestimento, as amostras ficaram expostas durante um dia ao ambiente controlado em temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $60\pm 5\%$ de umidade relativa do ar. Estas condições ambientais foram mantidas até o término da execução dos revestimentos.

Para garantir a mesma espessura para os revestimentos aplicados (aproximadamente 25mm), além de proteger as amostras, foram utilizados gabaritos em MDF que foram fixados por parafusos aos prismas antes da aplicação da argamassa de revestimento. Estes também receberam uma identificação em cada lado revestido para não haver dúvidas quanto ao tipo de chapisco do painel e quanto à forma de cura. A identificação dos painéis e a fixação dos gabaritos aos prismas podem ser vistas na Figura 38.

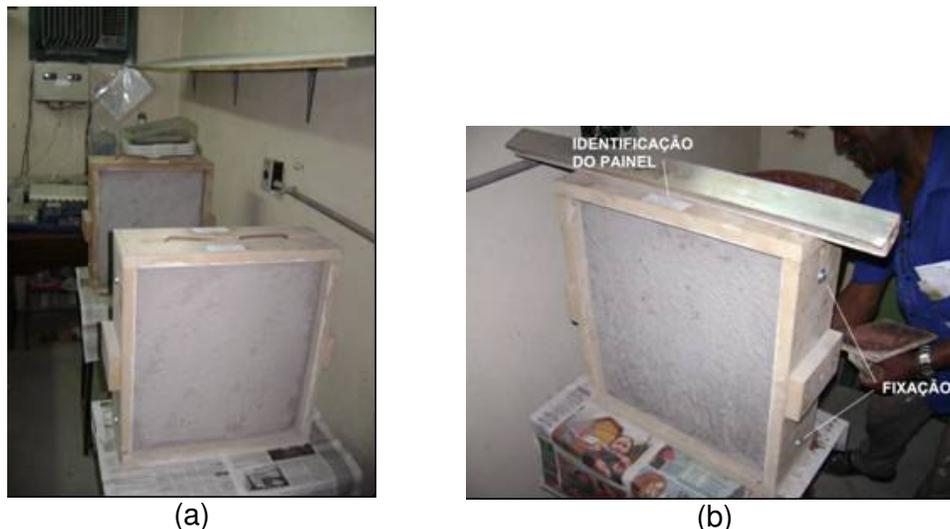


Figura 38: (a) substratos de concreto já posicionados nos gabaritos e (b) detalhes do gabarito e espaçamento disponível para preenchimento com a argamassa de revestimento

Os revestimentos foram preparados em argamassadeira de eixo vertical (marca “Betomaq” modelo MT 40 com capacidade nominal de 40 litros) como recomendado pelo item 7.3.1.1 da NBR 7200 (ABNT, 1998), com mistura de 2 minutos dos materiais secos, colocação da água progressivamente com interrupção para raspagem manual dos cantos e laterais da bacia e mistura final por mais dois minutos. Após a mistura da argamassa, os revestimentos eram aplicados na forma tradicional, do mesmo modo e pelo mesmo pedreiro em todas as amostras. A Figura 39 representa a preparação da argamassa e execução dos revestimentos dos painéis.



Figura 39: argamassa de revestimento: (a) preparação e (b) aplicação

Após a execução dos revestimentos, as amostras ficaram 28 dias na sala climatizada, mantidas as mesmas condições ambientais ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $60\pm 5\%$). Após este período as amostras foram transportadas para preparação e realização dos ensaios de resistência de aderência à tração.

As Figura 40 e 41 apresentam os cronogramas do experimento.

atividade	prismas	semana											
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª
concretagem dos prismas	1 e 2	█											
	3 e 4		█										
	5 e 6			█									
	7 e 8				█								
cura dos prismas	1 e 2	█	█	█	█								
	3 e 4		█	█	█	█							
	5 e 6			█	█	█	█						
	7 e 8				█	█	█	█					
aplicação dos chapiscos, cura e revestimento	1 e 2	█				█							
	3 e 4						█						
	5 e 6							█					
	7 e 8								█				
cura do revestimento	1 e 2					█	█	█	█	█			
	3 e 4						█	█	█	█	█		
	5 e 6							█	█	█	█	█	
	7 e 8									█	█	█	█
ensaios de aderência	1 e 2									█			
	3 e 4										█		
	5 e 6											█	
	7 e 8												█

Figura 40: cronograma semanal das etapas da parte experimental da dissertação

atividade	prismas	1ª semana							2ª semana							3ª semana							4ª semana						
		2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	s	d	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	s	d	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	s	d	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	s	d
preparação e limpeza dos prismas	1 e 2																												
	3 e 4																												
	5 e 6																												
	7 e 8																												
aplicação dos 4 tipos de chapisco	1 e 2																												
	3 e 4																												
	5 e 6																												
	7 e 8																												
cura	ambiente 23±2°C																												
	úmida 23±2°C																												
	úmida 50±2°C																												
	ambiente 50±2°C																												
revestimento	1 e 2																												
	3 e 4																												
	5 e 6																												
	7 e 8																												

Figura 41: cronograma diário das etapas do experimento

5.3.4 Caracterização e Controle dos Materiais

Além da caracterização dos agregados e cimentos utilizados, foram ensaiados os concretos e argamassas produzidas neste experimento. Alguns ensaios tiveram como objetivo a caracterização do material, enquanto que nos ensaios de controle buscou-se verificar a manutenção das propriedades dos elementos fixados neste trabalho.

Para o controle e a caracterização do concreto utilizado na pesquisa foram realizados os seguintes ensaios:

- resistência à compressão do concreto do substrato de acordo com a NBR 5739: Concreto – Ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2007);
- absorção de água por capilaridade do concreto do substrato de acordo com a NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade (ABNT, 1995).

A absorção por capilaridade do concreto foi determinada devido à sua importância na caracterização do material de substrato e devido à sua influência na aderência de

revestimentos. As superfícies de ensaio dos corpos-de-prova para absorção por capilaridade receberam o mesmo tratamento e preparação aplicados aos substratos (prismas) utilizados nos ensaios de aderência. A Figura 42 mostra os ensaios realizados no concreto dos substratos.



Figura 42: ensaio de caracterização do concreto dos substratos: (a) resistência à compressão e (b) absorção por capilaridade

Para controlar a variabilidade dos concretos produzidos em quatro diferentes períodos, levando-se em conta que este é um elemento fixado no experimento, foi realizado o ensaio de resistência à compressão de um exemplar com três corpos-de-prova moldados em cada betonada. A resistência à compressão também serve como parâmetro para caracterizar o concreto devido à sua relação com outras diversas propriedades do material, além de verificar a resistência nominal de 35,0 MPa.

A caracterização e controle dos chapiscos e seus materiais constituintes foi obtida através dos ensaios:

- distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado nos chapiscos convencionais, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003);
- retenção de água da argamassa de chapisco, de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 2005);
- absorção de água por capilaridade das argamassas de chapisco, de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005);

- resistência à compressão e tração na flexão das argamassas de chapisco, de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Para controle e caracterização dos chapiscos foram moldados três corpos-de-prova prismáticos por combinação para verificação da resistência mecânica, que foram curados e ensaiados de acordo com as especificações da NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005).

A argamassa utilizada nos revestimentos dos painéis teve os seguintes ensaios realizados:

- distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado na argamassa de revestimento, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT,2003);
- determinação do índice de consistência, de acordo com a NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência (ABNT, 2005);
- retenção de água da argamassa de revestimento, de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 2005);
- resistência à compressão e tração na flexão da argamassa, de acordo com a NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005).

Para controle dos revestimentos foram ensaiadas as resistências à tração e compressão de três corpos-de-prova por unidade de produção da argamassadeira, uma para cada prisma com dois painéis. Os demais ensaios (granulometria da areia, retenção de água e consistência da argamassa) foram realizados exclusivamente para caracterização do revestimento. A Figura 43 representa alguns dos ensaios de controle e caracterização dos revestimentos.



Figura 43: ensaio de (a) resistência à tração e (b) retenção de água da argamassa de revestimento

5.4 ENSAIOS

5.4.1 Análise dos Efeitos das Variáveis Independentes do Experimento nas Argamassas de Chapisco

Por ser o único componente do sistema de revestimento a sofrer variação no experimento, a camada de chapisco teve corpos-de-prova moldados e ensaiados para analisar a influência das variáveis independentes (traço e tipo de chapisco, cura e temperatura) nas características físicas (capilaridade) e mecânicas (resistência à tração e à compressão). As verificações de absorção capilar e coeficiente de capilaridade (NBR 13259) e da resistência à tração na flexão e compressão (NBR 13279), das argamassas de chapisco ocorreram através da moldagem de seis corpos-de-prova para cada combinação de chapisco, tipo de cura e temperatura. Estes ficaram expostos às mesmas condições climáticas e de cura dos painéis de revestimento durante 28 dias, dentro da sala climatizada, conforme aparece na Figura 44.



Figura 44: corpos-de-prova das argamassas de chapisco submetidos a: (a) cura ambiente e (b) úmida

A Figura 45 representa os ensaios de absorção capilar e resistência à tração na flexão das argamassas de chapisco analisadas.

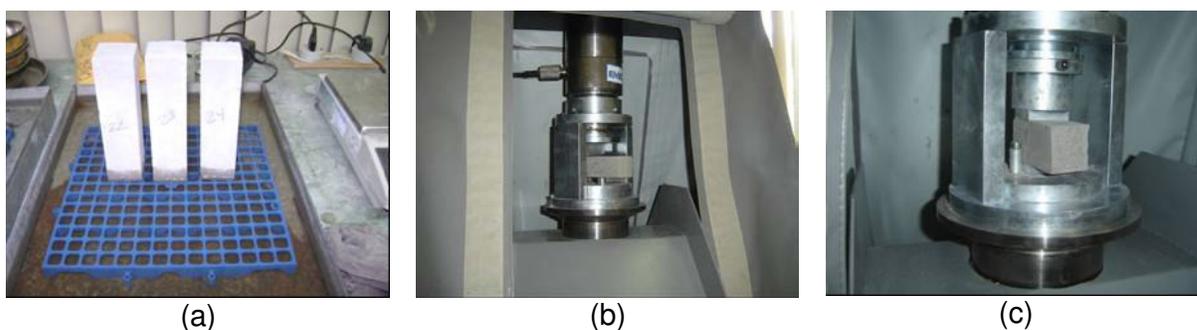


Figura 45: ensaios de (a) absorção capilar e (b) resistência à tração e (c) compressão das argamassas de chapisco

5.4.2 Determinação da Resistência de Aderência

O objetivo principal deste trabalho se baseia na análise da resistência de aderência dos revestimentos dos painéis preparados com as combinações dos fatores. O método de ensaio utilizado para avaliar a resistência de aderência seguiu a NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 1995). Este consiste na medição da tensão necessária para arrancar uma porção do revestimento, após esta ter sido isolada do resto do revestimento através de corte com uma serra de copo

com diâmetro de, aproximadamente, 50 mm. O corte chega até o substrato, formando um fragmento cilíndrico apenas aderido à base numa área igual à sua seção circular. Pastilhas metálicas são coladas às amostras para transferência da carga aplicada pelo equipamento medidor. Ao ocorrer o arrancamento das amostras, torna-se possível identificar, além da carga de ruptura, a região onde ocorreu o colapso, provavelmente a parte mais frágil do sistema de revestimento em relação à aderência à tração.

Para auxiliar na análise da aderência dos sistemas de revestimento, foi realizada uma verificação das extensões de aderência das camadas dos revestimentos. Através da visualização da interface, ampliada e digitalizada em equipamento denominado lupa estereoscópica, pôde-se observar, superficialmente e qualitativamente, o contato chapisco/substrato e chapisco/argamassa de amostras extraídas dos painéis do experimento. Esta verificação pode sugerir o grau de ancoragem do chapisco nas interfaces e favorecer a formulação de hipóteses para os resultados de resistência de aderência. O equipamento utilizado para este propósito foi uma lupa estereoscópica modelo “TA-0124 XS OPTON” juntamente com o software “HDCE-10A”. A Figura 46(a) mostra o uso do equipamento para obtenção das imagens e a Figura 46(b) apresenta um exemplo de imagem obtida por esta técnica.

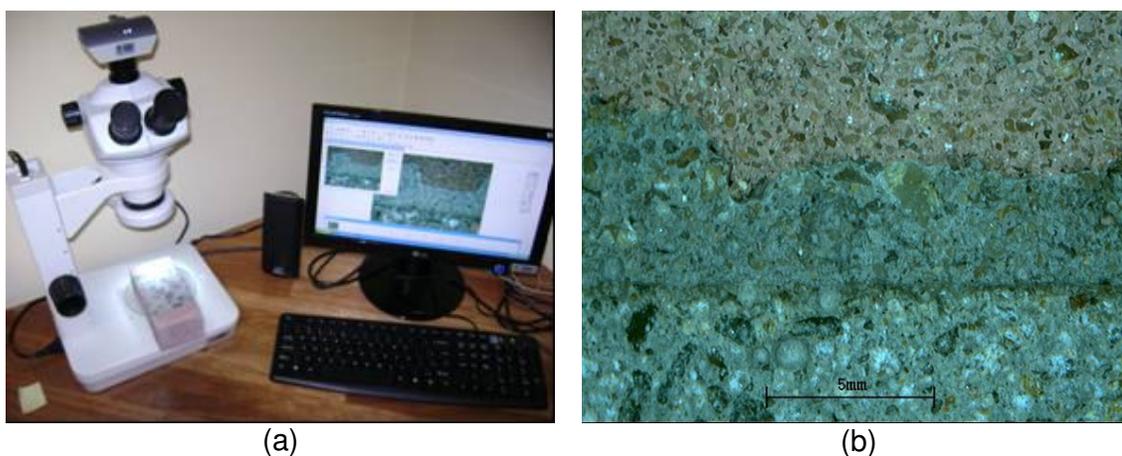


Figura 46: (a) equipamento utilizado para captação das imagens e (b) imagem ampliada (5x) da região da camada de preparo da seção de um dos painéis do experimento obtida por lupa estereoscópica

Passados 28 dias da aplicação dos revestimentos, os prismas foram retirados da sala climatizada para preparação para o ensaio de aderência, a começar pelos furos. Para conseguir obter o máximo de resultados de aderência, atendendo as especificações do método de ensaio, foram realizados 12 furos por painel, totalizando 192 resultados ensaiados de 16 combinações analisadas, como mostra a Tabela 19. Seguindo o cronograma do experimento, em cada dia de teste de aderência foram ensaiados quatro painéis (dois prismas com dois painéis cada), num total de 48 resultados de aderência por dia de ensaio.

Tabela 19: representação esquemática dos resultados de resistência de aderência dos revestimentos aos 28 dias

TEMPERATURA DE CURA	TIPO DE CURA							
	AMBIENTE				ÚMIDA			
	TIPO DE CHAPISCO				TIPO DE CHAPISCO			
	CP IV 1:2	CP IV 1:3	CP II Z 1:3	ADESIVO	CP IV 1:2	CP IV 1:3	CP II Z 1:3	ADESIVO
23±2°C	Ra ₁	Ra ₁₃	Ra ₂₅	Ra ₃₇	Ra ₄₉	Ra ₆₁	Ra ₇₃	Ra ₈₅
	Ra ₂	Ra ₁₄	Ra ₂₆	Ra ₃₈	Ra ₅₀	Ra ₆₂	Ra ₇₄	Ra ₈₆
	Ra ₃	Ra ₁₅	Ra ₂₇	Ra ₃₉	Ra ₅₁	Ra ₆₃	Ra ₇₅	Ra ₈₇
	Ra ₄	Ra ₁₆	Ra ₂₈	Ra ₄₀	Ra ₅₂	Ra ₆₄	Ra ₇₆	Ra ₈₈
	Ra ₅	Ra ₁₇	Ra ₂₉	Ra ₄₁	Ra ₅₃	Ra ₆₅	Ra ₇₇	Ra ₈₉
	Ra ₆	Ra ₁₈	Ra ₃₀	Ra ₄₂	Ra ₅₄	Ra ₆₆	Ra ₇₈	Ra ₉₀
	Ra ₇	Ra ₁₉	Ra ₃₁	Ra ₄₃	Ra ₅₅	Ra ₆₇	Ra ₇₉	Ra ₉₁
	Ra ₈	Ra ₂₀	Ra ₃₂	Ra ₄₄	Ra ₅₆	Ra ₆₈	Ra ₈₀	Ra ₉₂
	Ra ₉	Ra ₂₁	Ra ₃₃	Ra ₄₅	Ra ₅₇	Ra ₆₉	Ra ₈₁	Ra ₉₃
	Ra ₁₀	Ra ₂₂	Ra ₃₄	Ra ₄₆	Ra ₅₈	Ra ₇₀	Ra ₈₂	Ra ₉₄
	Ra ₁₁	Ra ₂₃	Ra ₃₅	Ra ₄₇	Ra ₅₉	Ra ₇₁	Ra ₈₃	Ra ₉₅
	Ra ₁₂	Ra ₂₄	Ra ₃₆	Ra ₄₈	Ra ₆₀	Ra ₇₂	Ra ₈₄	Ra ₉₆
50±2°C	Ra ₉₇	Ra ₁₀₉	Ra ₁₂₁	Ra ₁₃₃	Ra ₁₄₅	Ra ₁₅₇	Ra ₁₆₉	Ra ₁₈₁
	Ra ₉₈	Ra ₁₁₀	Ra ₁₂₂	Ra ₁₃₄	Ra ₁₄₆	Ra ₁₅₈	Ra ₁₇₀	Ra ₁₈₂
	Ra ₉₉	Ra ₁₁₁	Ra ₁₂₃	Ra ₁₃₅	Ra ₁₄₇	Ra ₁₅₉	Ra ₁₇₁	Ra ₁₈₃
	Ra ₁₀₀	Ra ₁₁₂	Ra ₁₂₄	Ra ₁₃₆	Ra ₁₄₈	Ra ₁₆₀	Ra ₁₇₂	Ra ₁₈₄
	Ra ₁₀₁	Ra ₁₁₃	Ra ₁₂₅	Ra ₁₃₇	Ra ₁₄₉	Ra ₁₆₁	Ra ₁₇₃	Ra ₁₈₅
	Ra ₁₀₂	Ra ₁₁₄	Ra ₁₂₆	Ra ₁₃₈	Ra ₁₅₀	Ra ₁₆₂	Ra ₁₇₄	Ra ₁₈₆
	Ra ₁₀₃	Ra ₁₁₅	Ra ₁₂₇	Ra ₁₃₉	Ra ₁₅₁	Ra ₁₆₃	Ra ₁₇₅	Ra ₁₈₇
	Ra ₁₀₄	Ra ₁₁₆	Ra ₁₂₈	Ra ₁₄₀	Ra ₁₅₂	Ra ₁₆₄	Ra ₁₇₆	Ra ₁₈₈
	Ra ₁₀₅	Ra ₁₁₇	Ra ₁₂₉	Ra ₁₄₁	Ra ₁₅₃	Ra ₁₆₅	Ra ₁₇₇	Ra ₁₈₉
	Ra ₁₀₆	Ra ₁₁₈	Ra ₁₃₀	Ra ₁₄₂	Ra ₁₅₄	Ra ₁₆₆	Ra ₁₇₈	Ra ₁₉₀
	Ra ₁₀₇	Ra ₁₁₉	Ra ₁₃₁	Ra ₁₄₃	Ra ₁₅₅	Ra ₁₆₇	Ra ₁₇₉	Ra ₁₉₁
	Ra ₁₀₈	Ra ₁₂₀	Ra ₁₃₂	Ra ₁₄₄	Ra ₁₅₆	Ra ₁₆₈	Ra ₁₈₀	Ra ₁₉₂

Os furos foram realizados com serra de copo diamantada, com diâmetro externo de 60 mm, acoplada a uma furadeira elétrica, produzindo corpos-de-prova com diâmetros aproximados de 54 mm. Para facilitar o manuseio da furadeira, evitar esforços de flexão e cisalhamento durante a realização dos furos e assegurar que o eixo dos furos ficasse normal às superfícies dos painéis, foi utilizado um suporte de madeira, já empregado em outros trabalhos, que firmava a furadeira, restringindo seu movimento na direção dos furos. A Figura 47 mostra a realização dos furos junto com a imagem de um dos painéis do experimento com os furos prontos.



Figura 47: (a) realização dos furos e suporte para apoio da furadeira e (b) painel já preparado

Depois de concluídos todos os furos, formando assim os corpos-de-prova, estes receberam as pastilhas metálicas usadas para acoplamento no equipamento utilizado para aplicar e medir as cargas de resistência de aderência, chamado aderímetro. As pastilhas e o aderímetro utilizados no experimento são apresentados na Figura 48.



Figura 48: (a) pastilhas e (b) aderímetro utilizados no experimento

O equipamento utilizado para medir as cargas de ruptura foi um aderímetro da marca CONTENCO, com visor digital, indicação do carregamento em kgf, memória da carga de ruptura e regulagem da velocidade de carregamento. As pastilhas metálicas com diâmetro de 50 mm foram identificadas e fixadas aos corpos-de-prova através de adesivo epóxi de cura rápida. Para que as pastilhas metálicas não deslizassem do centro dos corpos-de-prova enquanto o adesivo ainda estivesse plástico, pedaços de papel foram posicionados na parte inferior dos furos para sustentar as mesmas. Este procedimento ainda evita que um possível excesso de adesivo escorra para fora da seção do corpo-de-prova. A Figura 49 apresenta o procedimento de colagem das pastilhas.



Figura 49: (a) preparação e (b) pastilhas metálicas prontas para ensaio de aderência

Após o endurecimento da cola, os suportes (pedaços de papel) eram retirados e o aderímetro era acoplado a cada uma das pastilhas, em seqüência de acordo com a

numeração das mesmas. Além do acoplamento à pastilha metálica, o equipamento era preparado para ficar apoiado horizontalmente à superfície dos painéis, através de três braços ajustáveis. O equipamento era então acionado, iniciando o carregamento até a ruptura dos corpos-de-prova, quando a carga máxima, em kilogramas-força (kgf), era registrada no visor digital. Devido ao peso do aderímetro dificultar a operação de ensaio e poder levar à ruptura prematura dos corpos-de-prova por esforços indesejáveis de cisalhamento ou flexão, foi utilizado um suporte metálico com altura ajustável para apoiar o equipamento durante os ensaios. A Figura 50 mostra detalhes da execução do ensaio de aderência.



(a)



(b)

Figura 50: (a) execução do ensaio de aderência com aderímetro e (b) detalhe do acoplamento da pastilha ao equipamento

Para cada resultado de aderência foi analisada e registrada a região da ruptura do corpo-de-prova. Na Figura 51 são visualizadas algumas pastilhas já rompidas e suas seções de ruptura.



Figura 51: exemplos de (a) pastilhas arrancadas e (b) suas seções de ruptura

As regiões de ruptura neste experimento foram divididas conforme a Tabela 20.

Tabela 20: regiões de ruptura do ensaio de aderência do experimento

REGIÕES DE RUPTURA (EXPERIMENTO)
SUBSTRATO (CONCRETO)
INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO
CHAPISCO
INTERFACE CHAPISCO/REVESTIMENTO
REVESTIMENTO

Não ocorreram rupturas na interface cola/revestimento e ruptura na cola neste trabalho. As regiões identificadas na seção de ruptura dos corpos-de-prova eram registradas e tinham sua área estimada em porcentagem. Na Figura 52 são visualizados exemplos das regiões de ruptura observadas nos corpos-de-prova.

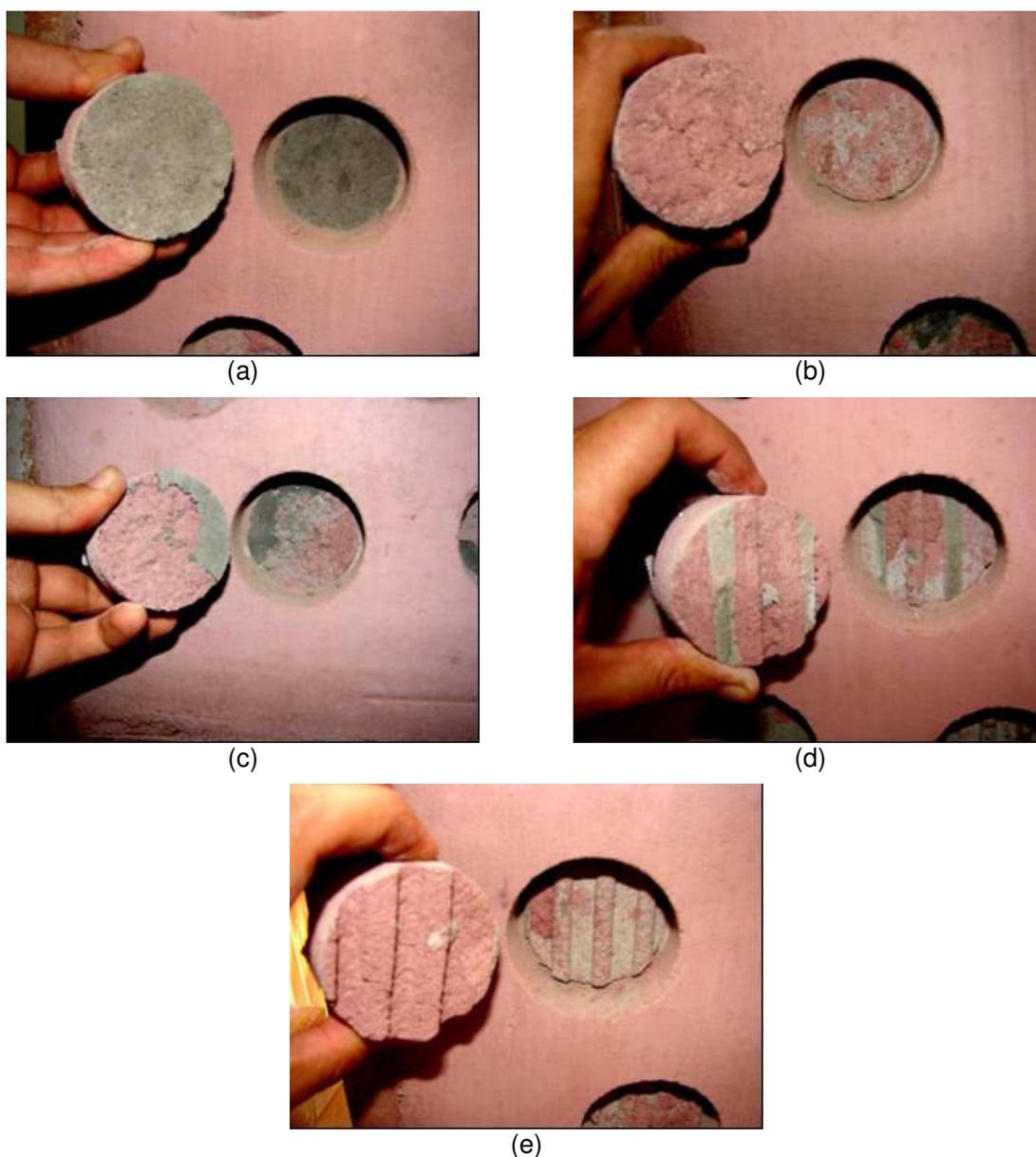


Figura 52: regiões de ruptura após aplicação dos esforços de tração: (a) interface substrato/chapisco, (b) interface chapisco/emboço, (c) parte na interface substrato/chapisco e parte na interface chapisco/emboço, (d) parte no chapisco, parte na interface chapisco/emboço e parte no emboço, (e) parte na interface chapisco/revestimento e parte no revestimento

Nas imagens pode-se perceber claramente, mesmo em tamanho reduzido, a separação das regiões de ruptura localizadas na argamassa de chapisco (cinza) e na argamassa de revestimento (rosada). O uso do corante cumpriu efetivamente sua função de proporcionar maior clareza na definição das camadas do sistema de

revestimento, sem prejudicar sua resistência mecânica, já que nenhum corpo-de-prova foi rompido totalmente na camada da argamassa de revestimento.

Os resultados de resistência de aderência relacionados com os painéis, o chapisco usado, temperatura e tipo de cura possibilitaram a análise principal deste experimento. A identificação e quantificação das regiões de ruptura colaboraram para o entendimento dos resultados como também permitiram conclusões neste trabalho.

5.4.3 Relação dos Ensaios do Experimento

A Tabela 21 mostra um resumo todos os ensaios do experimento.

Tabela 21: relação dos ensaios realizados no experimento

MATERIAL ANALISADO	ENSAIO	MÉTODO DE ENSAIO	OBJETIVO	TOTAL DE RESULTADOS
CONCRETO (SUBSTRATO)	Ensaio de resistência à compressão	NBR 5739 (ABNT, 2007)	CONTROLE E CARACTERIZAÇÃO	24
	Absorção de água por capilaridade	NBR 9779 (ABNT, 1995)	CARACTERIZAÇÃO	3
CHAPISCO	Distribuição granulométrica do agregado dos chapiscos convencionais	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	CARACTERIZAÇÃO	1
	Retenção de água da argamassa de chapisco	NBR 13277 (ABNT, 2005)	CARACTERIZAÇÃO	4
	Absorção e coeficiente de capilaridade	NBR 13259 (ABNT, 2005)	ANÁLISE	48
	Resistência à compressão e tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	ANÁLISE CONTROLE	48 48
REVESTIMENTO	Distribuição granulométrica do agregado utilizado	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	CARACTERIZAÇÃO	1
	Consistência	NBR 13276 (ABNT, 2005)	CARACTERIZAÇÃO	1
	Retenção de água da argamassa	NBR 13277 (ABNT, 2005)	CARACTERIZAÇÃO	1
	Resistência à compressão e tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	CONTROLE E CARACTERIZAÇÃO	24
SISTEMA DE REVESTIMENTO	Resistência de aderência à tração	NBR 13528 (ABNT, 1995)	ANÁLISE	192
	Análise da extensão de aderência	Estereoscopia	ANÁLISE	16

6 RESULTADOS DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

6.1 RESULTADOS DE CONTROLE E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

6.1.1 Resultados de Caracterização e Controle do Substrato

Para caracterização do concreto do substrato, foi realizado um ensaio de absorção por capilaridade de acordo com a NBR 9779 (ABNT, 1995). Os resultados são apresentados pela Tabela 22 e Figura 53.

Tabela 22: valores de absorção por capilaridade (g/cm^2) do concreto dos substratos

	TEMPO				
	3 h	6 h	24 h	48 h	72 h
	ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE (g/cm^2)				
CP 1	0,18	0,27	0,42	0,52	0,58
CP 2	0,16	0,2	0,38	0,48	0,54
CP 3	0,16	0,21	0,37	0,44	0,49
Média	0,16	0,23	0,39	0,48	0,54
Desvio padrão	0,016	0,037	0,029	0,042	0,042

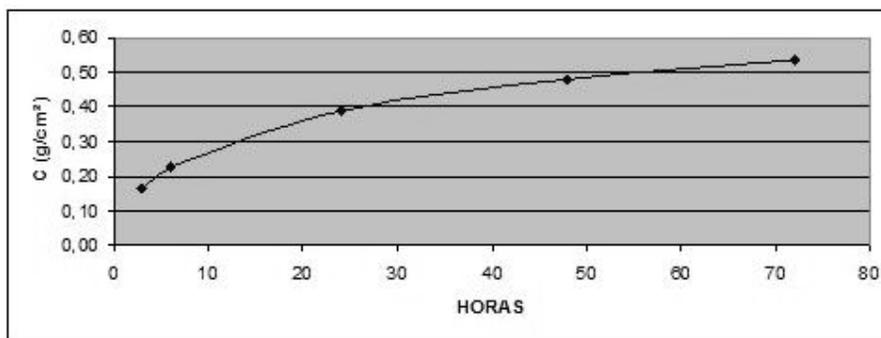


Figura 53: absorção média por capilaridade do concreto dos substratos (ensaio de caracterização)

Para constatar a resistência esperada do concreto dos substratos ($f_c = 35,0$ MPa) e para verificar se não houve alterações significativas nas 4 moldagens, foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos por betonada. Foram ensaiadas as

resistências à compressão dos exemplares aos 28 dias de idade, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007). Os resultados, definidos conforme a NBR 12655 (ABNT, 2006), são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: resistências à compressão dos concretos de substrato

Moldagem	Prismas	Resistência (MPa)
1	1 e 2	35,6
2	3 e 4	35,5
3	5 e 6	35,0
4	7 e 8	35,4

Pode-se perceber que os corpos-de-prova de todas as moldagens atingiram a resistência nominal do concreto de 35,0 MPa.

6.1.2 Resultados de Controle e Caracterização dos Chapiscos

Os resultados de retenção de água das argamassas de chapisco são apresentados na Tabela 25.

Tabela 24: retenção de água das argamassas de chapisco

Tipo de Chapisco	Retenção de Água (%)
CP IV 1:2	72,04
CP IV 1:3	69,41
CP II-Z 1:3	64,30
ADESIVO	98,51

Para avaliar se houveram alterações significativas entre os chapiscos de mesmo tipo aplicados nas 4 execuções dos painéis, foram moldados 3 corpos-de-prova

prismáticos (4x4x16cm) por argamassa preparada em cada etapa. Os resultados são apresentados nas Tabela 25 e 26.

Tabela 25: resultados de controle das argamassas de chapisco quanto as resistências à flexão e compressão aos 28 dias

1ª ETAPA				2ª ETAPA				3ª ETAPA				4ª ETAPA			
CHAPISCO	CP	f _t (MPa)	f _c (MPa)	CHAPISCO	CP	f _t (MPa)	f _c (MPa)	CHAPISCO	CP	f _t (MPa)	f _c (MPa)	CHAPISCO	CP	f _t (MPa)	f _c (MPa)
CP IV 1:2	1	3,40	9,06	CP IV 1:2	13	3,52	9,31	CP IV 1:2	25	3,48	8,75	CP IV 1:2	37	3,38	8,31
			8,69				9,69				8,44				8,05
	2	3,40	9,38		14	3,16	7,25		26	3,38	8,87		38	3,72	9,02
			7,63				8,94				9,27				9,41
	3	3,87	9,75		15	3,05	9,44		27	3,51	10,75		39	3,90	8,23
			10,81				9,25				9,17				6,98
CP IV 1:3	4	2,46	5,38	CP IV 1:3	16	2,46	5,44	CP IV 1:3	28	2,48	6,66	CP IV 1:3	40	2,55	5,80
			5,69				5,75				5,53				6,68
	5	2,23	4,88		17	2,46	5,88		29	2,23	5,72		41	2,18	5,95
			4,75				6,19				5,09				5,81
	6	1,99	5,31		18	2,34	6,38		30	2,18	6,90		42	1,75	3,24
			5,19				5,13				6,78				5,67
CP II-Z 1:3	7	3,05	9,56	CP II-Z 1:3	19	3,16	8,88	CP II-Z 1:3	31	3,55	7,58	CP II-Z 1:3	43	2,80	9,54
			9,38				9,88				8,78				7,97
	8	3,87	8,31		20	3,16	9,19		32	3,49	7,32		44	2,80	8,33
			12,38				8,75				5,60				10,36
	9	3,52	9,1		21	3,52	11,19		33	2,85	12,15		45	3,25	11,49
			10,6				11,31				10,25				9,37
ADESIVO	10	5,63	16,0	ADESIVO	22	5,74	15,5	ADESIVO	34	5,10	14,9	ADESIVO	46	5,02	12,0
			15,9				15,4				14,8				11,8
	11	5,16	13,6		23	5,74	14,6		35	5,82	11,5		47	5,08	16,07
			14,3				13,1				12,8				19,31
	12	5,51	11,3		24	4,92	12,9		36	4,85	14,5		48	5,82	15,2
			9,9				15,38				12,5				15,84

Tabela 26: médias e desvios padrão dos resultados de resistência à tração na flexão e compressão para controle dos chapiscos

ETAPA	CHAPISCO	Resistência à Tração na Flexão (MPa)		Resistência à Compressão (MPa)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
1ª	CP IV 1:2	3,55	0,27	9,22	1,07
	CP IV 1:3	2,23	0,23	5,20	0,34
	CP II-Z 1:3	3,48	0,41	9,90	1,43
	ADESIVO	5,43	0,24	13,50	2,48
2ª	CP IV 1:2	3,24	0,24	8,98	0,88
	CP IV 1:3	2,42	0,07	5,79	0,46
	CP II-Z 1:3	3,28	0,20	9,86	1,14
	ADESIVO	5,47	0,47	14,49	1,17
3ª	CP IV 1:2	3,46	0,07	9,21	0,81
	CP IV 1:3	2,29	0,16	6,11	0,76
	CP II-Z 1:3	3,30	0,39	8,61	2,33
	ADESIVO	5,26	0,50	13,49	1,44
4ª	CP IV 1:2	3,67	0,26	8,33	0,84
	CP IV 1:3	2,16	0,40	5,52	1,17
	CP II-Z 1:3	2,95	0,26	9,51	1,30
	ADESIVO	5,31	0,44	15,02	2,83
TOTAL	CP IV 1:2	3,48	0,25	8,94	0,92
	CP IV 1:3	2,27	0,23	5,66	0,79
	CP II-Z 1:3	3,25	0,34	9,47	1,60
	ADESIVO	5,37	0,38	14,13	2,07

A análise de variância dos resultados não apontou diferença significativa entre as etapas de confecção dos painéis na resistência à tração na flexão e compressão nos chapiscos de mesmo tipo, como mostram as Tabela 27 e 28. O que significa que os tipos de chapisco mantiveram suas características físico-mecânicas sem diferenças relevantes estatisticamente, mesmo quando aplicados em datas diferentes. O que possibilitou a melhor análise apenas dos efeitos da temperatura e tipo de cura em cada tipo de chapisco.

Tabela 27: análise de variância dos resultados de resistência à tração na flexão para controle dos chapiscos

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
ETAPA	3	0,048	0,48	0,7011	Não Significativo
CHAPISCO	3	20,034	198,39	0,0000	Significativo
ETAPA x CHAPISCO	9	0,088	0,87	0,5634	Não Significativo
ERRO	32	0,1010	-	-	-

Tabela 28: análise de variância dos resultados de resistência à compressão para controle dos chapiscos

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
ETAPA	3	0,82	0,39	0,7597	Não Significativo
CHAPISCO	3	291,81	138,75	0,0000	Significativo
ETAPA x CHAPISCO	9	2,25	1,07	0,3955	Não Significativo
ERRO	80	2,1031	-	-	-

Como era previsto, os diferentes tipos de chapisco apresentaram variações entre si nos resultados de tração e compressão, com exceção dos chapiscos “CP IV 1:2” e “CP II-Z 1:3”. As médias de resistência mecânica das argamassas de chapisco são mostradas pela Figura 54 e pelas Tabela 29 e 30.

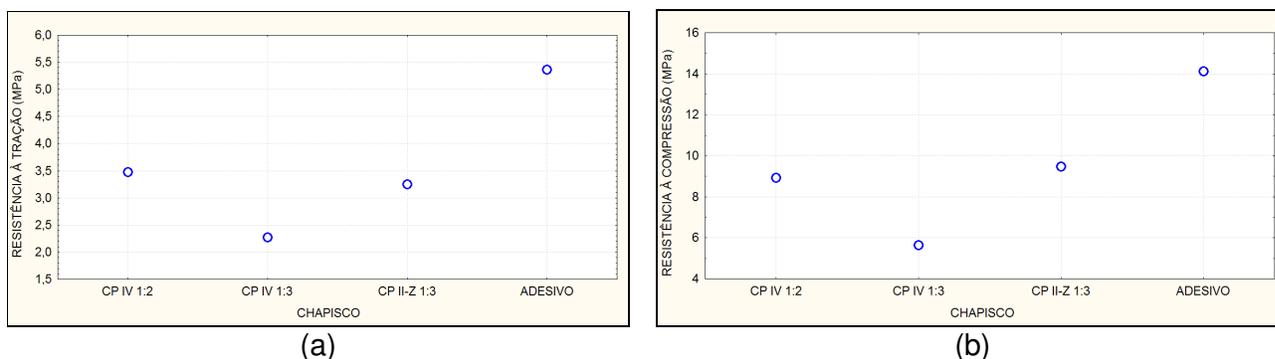


Figura 54: influência do tipo de chapisco na resistência à tração na flexão (a) e compressão (b) das amostras de argamassa de chapisco

Tabela 29: comparação múltipla de médias dos resultados de controle de resistência à tração dos chapiscos pelo teste de Duncan

PROBABILIDADES (TESTE DE DUNCAN)				
TIPO DE CHAPISCO	CP IV 1:2	CP IV 1:3	CP II Z 1:3	ADESIVO
MÉDIA (MPa)	3,48	2,27	3,25	5,37
CP IV 1:2	3,48	-	0,086387	0,000134
CP IV 1:3	2,27	0,000062	-	0,000055
CP II Z 1:3	3,25	0,086387	0,000134	-
ADESIVO	5,37	0,000134	0,000055	0,000062

*Os valores destacados mostram as médias com diferença significativa

Tabela 30: comparação múltipla de médias dos resultados de controle de resistência à compressão dos chapiscos pelo teste de Duncan

PROBABILIDADES (TESTE DE DUNCAN)				
TIPO DE CHAPISCO	CP IV 1:2	CP IV 1:3	CP II Z 1:3	ADESIVO
MÉDIA (MPa)	8,94	5,66	9,47	14,13
CP IV 1:2	8,94	-	0,204332	0,000055
CP IV 1:3	5,66	0,000118	-	0,000049
CP II Z 1:3	9,47	0,204332	0,000055	-
ADESIVO	14,13	0,000055	0,000049	0,000118

*Os valores destacados mostram as médias com diferença significativa

Na Figura 54 e nas Tabela 29 e 30 percebe-se que nos ensaios de controle dos chapiscos aplicados nos painéis do experimento, não foi constatada diferença significativa, quanto às resistências mecânicas, entre o chapisco “CP IV 1:2” e o chapisco “CP II-Z 1:3”, mesmo com teores diferentes de cimento, o que pode ser atribuído aos tipos de cimento empregados.

6.1.3 Caracterização e Controle da Argamassa de Revestimento

A retenção de água da argamassa de revestimento apresentou o valor de 93,65%. Sendo o revestimento das amostras um fator fixo do experimento, foram realizados ensaios de resistência à tração na flexão e compressão para atestar a continuidade das características mecânicas das argamassas de revestimento aplicadas em todos os painéis. Em cada etapa de preparação dos painéis foram necessárias duas misturas de argamassa devido à capacidade da argamassadeira. De todas as misturas, 8 no total, foram moldados três corpos-de-prova prismáticos (4x4x16cm)

para ensaio de resistência à tração na flexão e compressão. A Tabela 31 apresenta os resultados do controle.

Tabela 31: resistências à tração e compressão das argamassas de revestimento produzidas nas 8 misturas distintas

ETAPA	MISTURA	CONSISTÊNCIA (mm)	CP	TRAÇÃO (MPa)	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	
1ª	1	268	7R	1,88	1,99	0,12	6,50	6,71	0,26	
			8R	1,99			6,31			
			9R	2,11			6,75			
	2	275		10R	1,88	1,80	0,07	7,00	6,83	0,63
				11R	1,76			6,75		
				12R	1,76			6,94		
								7,19		
								7,56		
2ª	3	279	13R	1,76	1,91	0,18	6,63	6,39	0,36	
			14R	1,88			6,50			
			15R	2,11			6,13			
	4	275		16R	1,64	1,76	0,12	6,44	6,31	0,65
				17R	1,88			5,81		
				18R	1,76			6,81		
								6,31		
								5,38		
3ª	5	269	19R	1,88	1,98	0,11	6,50	7,05	0,46	
			20R	2,09			6,86			
			21R	1,96			6,86			
	6	277		22R	1,81	1,84	0,03	6,36	6,44	0,73
				23R	1,84			7,15		
				24R	1,88			7,48		
								7,61		
								5,90		
4ª	7	273	25R	2,00	1,99	0,01	7,09	6,66	0,28	
			26R	1,99			6,55			
			27R	1,99			7,43			
	8	276		28R	1,99	1,91	0,10	5,53	7,03	0,19
				29R	1,94			6,12		
				30R	1,80			7,01		
								6,72		
								6,92		

As análises de variância dos resultados de resistência à tração na flexão e compressão estão nas Tabela 32 e 33. Estas mostram que não houve diferença significativa entre as amostras das misturas de argamassa de revestimento, tanto na resistência à tração quanto na compressão dos corpos-de-prova.

Tabela 32: análise de variância dos resultados de tração dos revestimentos

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
MISTURA	7	0,0247	2,2928	0,0803	Não Significativo
ERRO	16	0,0108	-	-	-

Tabela 33: análise de variância dos resultados de compressão dos revestimentos

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
MISTURA	7	0,4892	2,0814	0,0681	Não Significativo
ERRO	40	0,2351	-	-	-

6.2 RESULTADOS DE ANÁLISE DAS ARGAMASSAS DE CHAPISCO (EFEITO DA TEMPERATURA E PROCESSO DE CURA)

6.2.1 Análise da Resistência à Tração e Compressão das Argamassas de Chapisco

Enquanto que algumas amostras dos chapiscos foram ensaiadas para controle e verificação da reprodução eficiente das argamassas nas etapas do experimento, outras amostras foram destinadas para análise dos possíveis efeitos da temperatura e processo de cura na resistência mecânica das argamassas de chapisco. Para isto, cada combinação de fatores do experimento foi representada por amostras prismáticas (4x4x16cm) de argamassas submetidas às mesmas condições de cura dos painéis para posterior ensaio de resistência à tração na flexão e compressão, diferentemente dos corpos-de-prova destinados ao controle da produção das argamassas de chapisco nas etapas do experimento que foram curadas de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Nas Tabela 34 e 35 e Figura 55 são apresentados os resultados de tração na flexão e compressão das amostras submetidas às variações de temperatura e tipo de cura.

Tabela 34: resistência à tração na flexão e compressão das argamassas de chapisco de diferentes traços submetidos a diferentes tipos de cura aos 28 dias

CURA AMBIENTE				CURA ÚMIDA				CURA ÚMIDA				CURA AMBIENTE			
TEMPERATURA 23±2°C				TEMPERATURA 23±2°C				TEMPERATURA 50±2°C				TEMPERATURA 50±2°C			
CHAPISCO	CP	f _t (MPa)	f _c (MPa)	CHAPISCO	CP	f _t (MPa)	f _c (MPa)	CHAPISCO	CP	f _t (MPa)	f _c (MPa)	CHAPISCO	CP	f _t (MPa)	f _c (MPa)
CP IV 1:2	1	3,52	9,31	13	2,70	2,70	9,19	25	3,28	3,28	7,50	37	2,81	2,81	7,81
			9,69				9,44				7,50				6,97
			7,25				8,88				8,13				7,50
CP IV 1:2	2	3,16	8,94	14	2,58	2,58	9,25	26	3,52	3,52	7,38	38	2,81	2,81	7,59
			9,44				8,44				9,31				7,69
			9,25				9,06				7,25				6,81
CP IV 1:3	4	2,46	5,44	16	1,88	1,88	5,56	28	2,34	2,34	5,19	40	1,64	1,64	5,25
			5,75				6,31				5,00				5,09
			5,88				6,06				5,88				5,75
CP IV 1:3	5	2,46	6,19	17	2,34	2,34	5,06	29	2,46	2,46	5,69	41	1,64	1,64	5,56
			6,38				5,25				5,75				5,50
			5,13				6,31				5,25				5,81
CP II-Z 1:3	7	3,16	8,88	19	2,81	2,81	8,56	31	2,34	2,34	9,75	43	1,52	1,52	5,28
			9,88				9,88				9,50				5,19
			9,19				8,94				9,63				5,47
CP II-Z 1:3	8	3,16	8,75	20	2,81	2,81	8,88	32	3,05	3,05	9,13	44	1,64	1,64	4,75
			11,2				8,50				9,50				4,94
			11,3				9,00				9,50				5,94
ADESIVO	10	5,74	15,5	22	3,98	3,98	10,8	34	4,22	4,22	13,4	46	3,40	3,40	10,9
			15,4				10,2				13,7				10,5
			14,6				11,5				12,4				8,00
ADESIVO	11	5,74	13,1	23	4,34	4,34	11,1	35	3,75	3,75	13,4	47	3,05	3,05	8,31
			12,9				11,2				13,4				10,6
			15,4				8,38				13,9				9,47
ADESIVO	12	4,92	15,4	24	3,75	3,75	8,38	36	4,69	4,69	13,9	48	3,16	3,16	9,47

Tabela 35: médias e desvios padrão dos resultados de resistência à tração na flexão e compressão de chapiscos de diferentes traços submetidos a diferentes tipos de cura

CURA	CHAPISCO	Resistência à Tração na Flexão (MPa)		Resistência à Compressão (MPa)	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
AMBIENTE 23°C	CP IV 1:2	3,24	0,24	8,98	0,88
	CP IV 1:3	2,42	0,07	5,79	0,46
	CP II-Z 1:3	3,28	0,20	9,86	1,14
	ADESIVO	5,47	0,47	14,49	1,17
ÚMIDA 23°C	CP IV 1:2	2,93	0,51	9,04	0,35
	CP IV 1:3	2,11	0,23	5,76	0,55
	CP II-Z 1:3	2,70	0,20	8,96	0,49
	ADESIVO	4,02	0,29	10,52	1,14
ÚMIDA 50°C	CP IV 1:2	3,55	0,29	7,84	0,78
	CP IV 1:3	2,38	0,07	5,46	0,36
	CP II-Z 1:3	2,70	0,35	9,50	0,21
	ADESIVO	4,22	0,47	13,38	0,53
AMBIENTE 50°C	CP IV 1:2	2,54	0,47	7,40	0,41
	CP IV 1:3	1,60	0,07	5,49	0,28
	CP II-Z 1:3	1,60	0,07	5,26	0,42
	ADESIVO	3,20	0,18	9,64	1,25
TOTAIS	CP IV 1:2	3,07	0,52	8,32	0,95
	CP IV 1:3	2,13	0,36	5,63	0,42
	CP II-Z 1:3	2,57	0,66	8,40	1,98
	ADESIVO	4,23	0,91	12,01	2,26

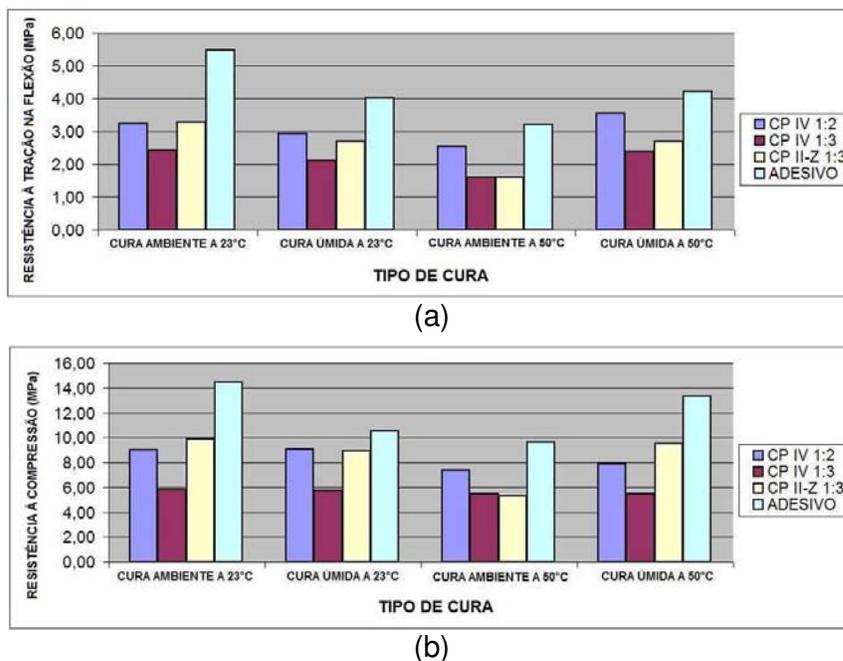


Figura 55: resultados das resistências: (a) à tração e (b) à compressão aos 28 dias

A partir das médias dos resultados (Figura 55), pode-se perceber visualmente uma variação dos resultados de acordo com o material e condições de cura das argamassas de chapisco. Para verificar os efeitos significativos estatisticamente dos materiais, da temperatura e tipo de cura nos corpos-de-prova das argamassas de chapisco, realizaram-se as análises de variância dos resultados de resistência à tração na flexão e compressão, mostradas nas Tabela 36 e 37.

Tabela 36: análise de variância dos resultados de resistência à tração dos chapiscos sujeitos às variações de cura

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
CURA	1	0,2930	3,18	0,0840	Não Significativo
CHAPISCO	3	9,8351	106,76	0,0000	Significativo
TEMPERATURA	1	3,5889	38,96	0,0000	Significativo
CURA x CHAP.	3	0,1915	2,08	0,1226	Não Significativo
CURA x TEMP.	1	8,0750	87,65	0,0000	Significativo
CHAP. x TEMP.	3	0,6569	7,13	0,0008	Significativo
CURA x CHAP. x TEMP	3	0,2678	2,91	0,0497	Significativo
ERRO	32	0,0921	-	-	-

Tabela 37: análise de variância dos resultados de resistência à compressão dos chapiscos sujeitos às variações de cura

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
CURA	1	4,72	8,70	0,0042	Significativo
CHAPISCO	3	164,48	303,38	0,0000	Significativo
TEMPERATURA	1	33,44	61,67	0,0000	Significativo
CURA x CHAP.	3	4,14	7,64	0,0001	Significativo
CURA x TEMP.	1	65,68	121,14	0,0000	Significativo
CHAP. x TEMP.	3	3,15	5,82	0,0012	Significativo
CURA x CHAP. x TEMP	3	21,13	38,97	0,0000	Significativo
ERRO	80	0,5422	-	-	-

Pode-se perceber uma coerência entre os resultados de resistência à tração e compressão das argamassas. Enquanto que na resistência à compressão, todos os fatores foram significativos (inclusive os efeitos das interações), na resistência à tração, apenas o efeito da cura e sua interação com o tipo de chapisco não se mostraram significativos, possivelmente decorrente da variabilidade dos resultados. O efeito do tipo de chapisco nas resistências à tração e compressão pode ser visualizado na Figura 56.

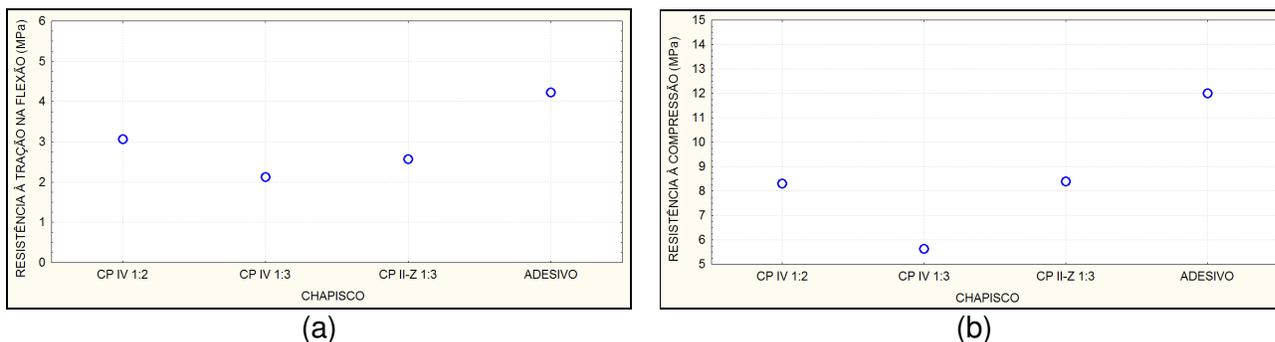


Figura 56: efeito do tipo de chapisco nos resultados de: (a) resistência à tração e (b) compressão das argamassas para todos os tipos de cura

A comparação múltipla de médias de resistência pelo teste de Duncan mostrou que todos os tipos de chapisco apresentaram variações significativas entre si nos resultados de resistência à tração (Tabela 38).

Tabela 38: comparação múltipla de médias das resistências à tração pelo teste de Duncan

PROBABILIDADES (TESTE DE DUNCAN)					
TIPO DE CHAPISCO	CP IV 1:2	CP IV 1:3	CP II Z 1:3	ADESIVO	
	MÉDIA	3,07	2,13	2,57	4,23
CP IV 1:2	3,07	-	0,000062	0,000452	0,000134
CP IV 1:3	2,13	0,000062	-	0,001372	0,000055
CP II Z 1:3	2,57	0,000452	0,001372	-	0,000062
ADESIVO	4,23	0,000134	0,000055	0,000062	-

*Os valores destacados mostram as médias com diferença significativa.

Já nos resultados de resistência à compressão, somente os chapiscos CP IV 1:2 e CP II-Z 1:3 não apresentaram diferença significativa entre si, como mostra a Tabela 39.

Tabela 39: comparação múltipla de médias das resistências à compressão pelo teste de Duncan

PROBABILIDADES (TESTE DE DUNCAN)					
TIPO DE CHAPISCO	CP IV 1:2	CP IV 1:3	CP II Z 1:3	ADESIVO	
	MÉDIA	14,10	10,44	11,63	3,44
CP IV 1:2	14,10	-	0,000118	0,705232	0,000055
CP IV 1:3	10,44	0,000118	-	0,000055	0,000049
CP II Z 1:3	11,63	0,705232	0,000055	-	0,000118
ADESIVO	3,44	0,000055	0,000049	0,000118	-

*Os valores destacados mostram as médias com diferença significativa.

Nas duas verificações (resistência à tração e compressão) ficou claramente evidenciada a maior resistência do chapisco adesivo, a menor resistência do chapisco com CP IV e traço 1:3 (em volume) e a semelhança entre os resultados do chapisco com cimento CP IV e traço 1:2 em volume e o chapisco com CP II-Z. A maior resistência apresentada pelo chapisco adesivo deve-se possivelmente à sua composição, menor quantidade de água na mistura, incorporação de polímeros e alta retenção de água (demonstrada na Tabela 24 no item 6.1.2), além da distribuição granulométrica otimizada.

No experimento realizado por Moura (2007) que verificou a influência de condições de cura (vento e temperatura) de diferentes tipos de chapisco no desempenho de

revestimentos de argamassa aplicados em substrato de concreto, também foi constatada a superioridade dos chapiscos adesivos industrializados sobre os convencionais quando ensaiada a resistência mecânica das argamassas de chapisco. Tal superioridade dos chapiscos adesivos industrializados foi atribuída à sua maior retenção de água, que minimiza a exsudação e evaporação e garantindo uma melhor hidratação do cimento, e atribuída também à presença de polímeros com propriedades adesivas nestas argamassas.

No ensaio de resistência à compressão, mesmo com menor teor de cimento no traço, as argamassas de chapisco “CP II-Z 1:3” mostraram equivalência aos resultados das argamassas “CP IV 1:2”. Ainda foi demonstrado que, tanto na resistência à tração quanto na resistência à compressão, o chapisco com cimento CP II-Z apresentou significativamente melhores resultados de resistência que o composto com CP IV aqui denominado “CP IV 1:3”, embora com o mesmo teor de cimento no traço em volume, o que provavelmente é atribuído ao maior teor de pozolana do cimento CP IV utilizado neste experimento, o qual apresentou 34,1% de resíduo insolúvel enquanto que o CP II-Z empregado apresentou 9,2% de resíduo insolúvel.

A Figura 57 mostra o efeito da cura na resistência à compressão das amostras e também exhibe o efeito da interação do tipo de cura com o tipo de chapisco, onde se percebe que a influência da cura úmida ocorre somente no chapisco com CP II-Z.

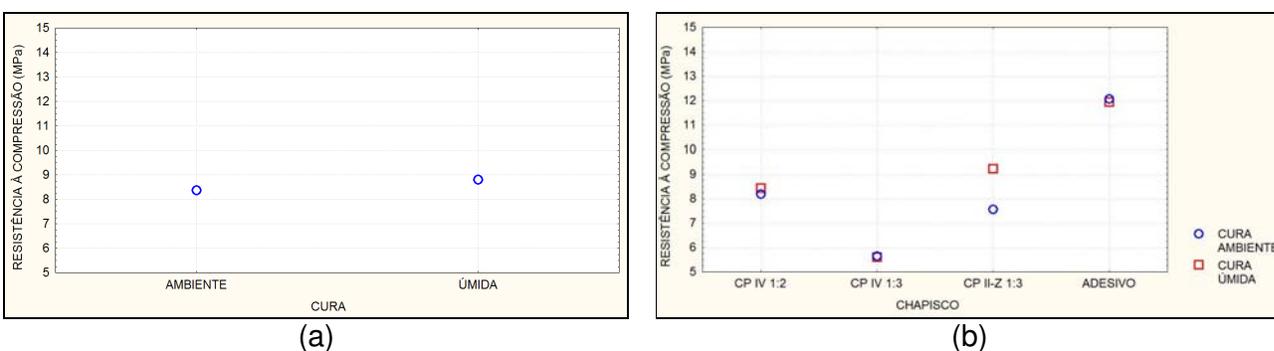


Figura 57: (a) efeito da cura e (b) da interação tipo de cura e chapisco nos resultados de resistência à compressão das argamassas de chapisco

A Figura 57(a) mostra o aumento significativo da resistência à compressão das argamassas de chapisco devido à cura úmida das mesmas, provavelmente devido à melhor hidratação dos cimentos empregados. Resultado que é coerente com o que defendem diversos autores como Sandin (1995), Ioppi (1995), Hassan et al. (2000), Ceotto et al. (2005), Recena (2008), Çakir e Aköz (2008), entre outros.

Na Figura 57(b) percebe-se que apenas a argamassa de chapisco “CP II-Z 1:3” mostrou alteração significativa de resistência devido à cura úmida, o que pode ser atribuído à composição do cimento empregado neste material, com menor teor de pozolana, já que estes utilizaram a mesma areia. Ainda, o chapisco “CP II-Z 1:3” foi o chapisco que apresentou a menor retenção de água (64,3%) em relação aos demais chapiscos convencionais “CP IV 1:2” e “CP IV 1:3”, que apresentaram respectivamente, 72,04% e 69,41%. A não alteração da argamassa (industrializada) de chapisco adesivo frente às condições de cura pode ser atribuída à sua alta retenção de água de 98,51% conforme resultado dos ensaios de caracterização dos materiais deste experimento.

O aumento da temperatura de cura das argamassas de chapisco de 23°C para 50°C reduziu significativamente os valores de resistência das amostras (Figura 58).

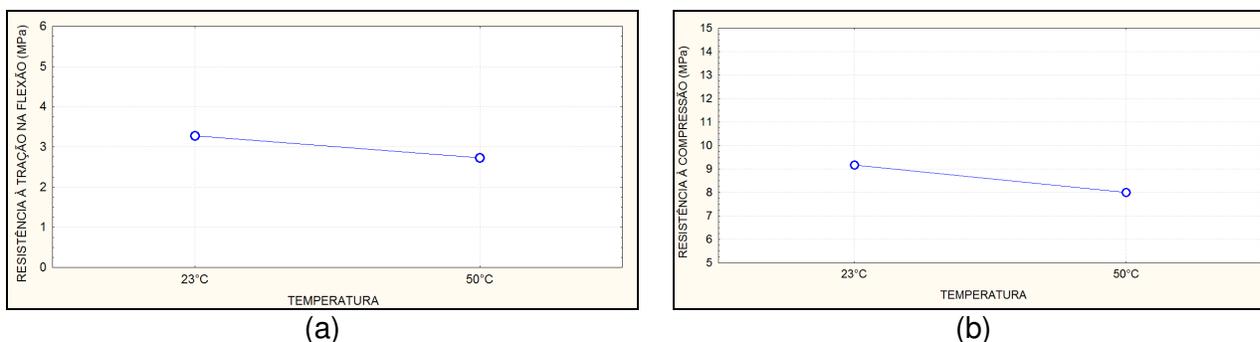


Figura 58: (a) efeito da temperatura de cura nos resultados de resistência à tração e (b) compressão das argamassas

Nos resultados de resistência à tração e compressão os resultados curados na temperatura inferior apresentaram valores médios em torno 20% e 15% superiores, respectivamente. A influência da elevação da temperatura de cura na redução dos resultados mecânicos das argamassas de chapisco já havia sido relatado na

dissertação de mestrado de Moura (2007), que percebeu queda significativa na resistência à tração e compressão das argamassas curadas com temperatura 40°C em comparação com as argamassas curadas a 23°C. Segundo a autora:

“Este comportamento é coerente com os efeitos da temperatura elevada citados por diversos autores, podendo ser estes efeitos a formação de produtos de hidratação mais fracos em função da aceleração do processo pelo calor (NEVILLE, 1997; ISEHARD, 2000) ou a hidratação incompleta, mantendo-se grãos anidros, em função da insuficiência de água em função da evaporação ocasionada pelo calor (LION et al., 2005).”

A interação da temperatura de cura com o tipo de cura mostrou que na cura ambiente, ou seja, sem nenhum cuidado especial, o efeito do aumento de temperatura foi significativamente nocivo à resistência mecânica das argamassas, enquanto que na cura úmida a elevação da temperatura influenciou muito menos e ainda aumentou os valores de resistência, como apresentado na Figura 59.

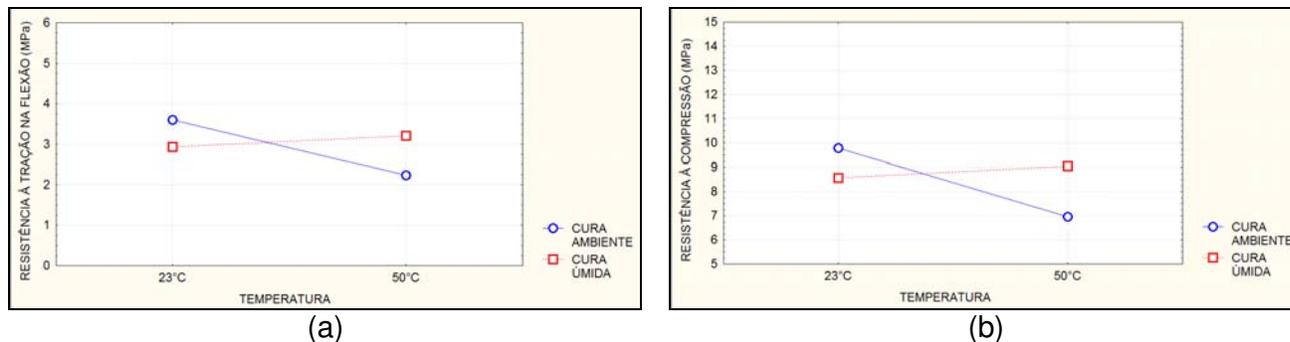


Figura 59: (a) efeito da interação tipo e temperatura de cura nos resultados de resistência à tração e (b) compressão das argamassas

A elevação da temperatura provocou comportamentos diferentes de resistência das argamassas de acordo com o tipo de cura nelas aplicada. Em ambos os ensaios (tração e compressão) percebe-se que, em ordem de grandeza semelhante, a resistência mecânica foi prejudicada pela elevação da temperatura na cura sem umidificação das amostras, enquanto que na cura úmida o mesmo não ocorreu, onde, aparentemente, a resistência até aumentou levemente. Este fato pode ser explicado pela garantia de hidratação do cimento das argamassas pela cura úmida, onde a temperatura elevada, neste caso, pode acelerar as reações do aglomerante.

Estas observações demonstram a importância e influência do tratamento de cura nas propriedades mecânicas das argamassas, ao menos em situações como nos corpos-de-prova prismáticos deste trabalho. As Figura 60 e 61 exibem os efeitos da interação tipo de chapisco e temperatura de cura e interação tipo e temperatura de cura e tipo de chapisco.

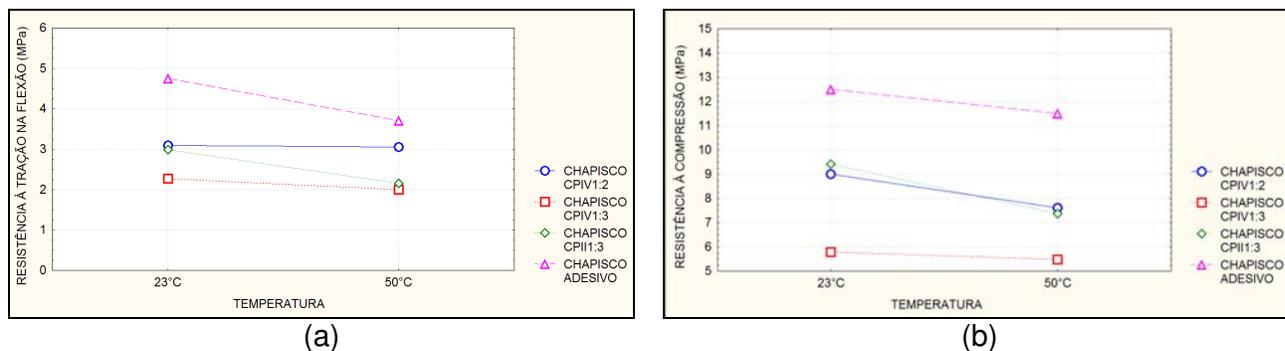


Figura 60: efeito da interação tipo de chapisco e temperatura de cura nos resultados de: (a) resistência à tração e (b) compressão das argamassas

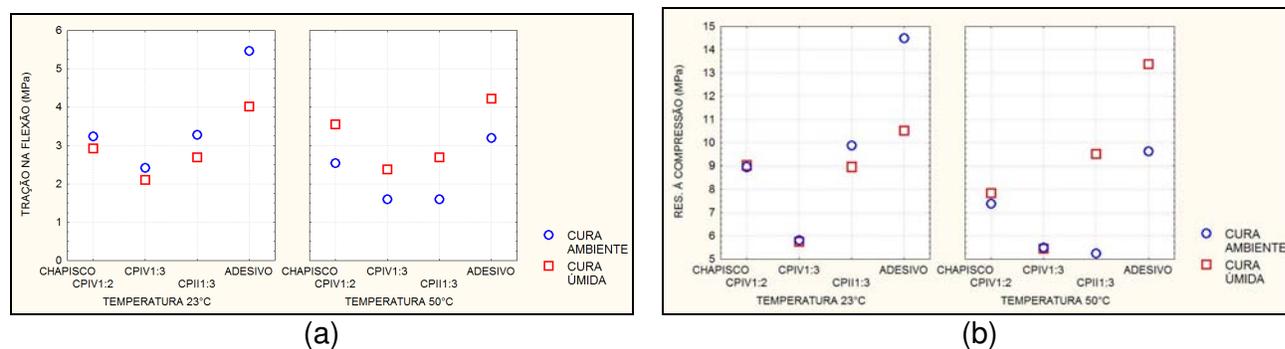


Figura 61: efeito da interação tipo de cura, chapisco e temperatura de cura nos resultados de: (a) resistência à tração e (b) compressão das argamassas

Na Figura 60, principalmente nos resultados de resistência à tração, as argamassas de chapisco adesivo e “CP II-Z” mostraram-se aparentemente mais sensíveis à elevação de temperatura de cura. A Figura 61, principalmente Figura 61(b), mostra que estas argamassas também apresentaram variação mais notável na resistência em relação ao tipo de cura aplicada, onde na cura ambiente a elevação da temperatura provocou queda de resistência, enquanto que na cura úmida, a temperatura elevada surtiu efeito benéfico na resistência. Mostrando que a cura úmida não surtiu efeito nos chapiscos com CP IV, provavelmente devido à

ineficiência do método de cura úmida ou decorrente do período de duração dos cuidados de cura, suficiente para os chapiscos “adesivo” e “CP II-Z 1:3”, porém insuficiente para os chapiscos com CP IV. Estes, por dependerem mais de reações pozolânicas (mais lentas), talvez necessitassem de uma cura mais longa do que apenas dois dias.

6.2.2 Análise de Absorção e Coeficiente de Capilaridade das Argamassas de Chapisco

Além da resistência mecânica, uma análise da absorção de água por capilaridade sobre amostras das argamassas de chapisco de todas as combinações do experimento foi realizada de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005), com a intenção de verificar o efeito do material, temperatura e processos de cura aplicados no coeficiente de capilaridade dos chapiscos. A absorção é uma característica que provavelmente influencia na aderência das argamassas de revestimento e, conseqüentemente, na resistência de aderência dos sistemas de revestimento das amostras do experimento, pois proporciona maior ancoragem da argamassa de emboço aos chapiscos decorrente da penetração de pasta de cimento nos capilares, a chamada microancoragem. Os resultados são mostrados na Tabela 40.

Tabela 40: resultados de absorção por capilaridade

CHAPISCO	CP	m ₀ (g)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)	C (g/dm ² .min ^{1/2})	C médio (g/dm ² .min ^{1/2})	Desvio Padrão
CP IV 1:2 CURA AMBIENTE 50±2 °C	1	450,60	459,15	472,24	0,53	1,35	13,09	14,10	0,88
	2	449,20	458,70	473,25	0,59	1,50	14,55		
	3	437,40	447,00	461,66	0,60	1,52	14,66		
CP IV 1:3 CURA AMBIENTE 50±2 °C	4	462,10	473,12	490,28	0,69	1,76	17,16	17,50	1,13
	5	484,80	496,44	515,20	0,73	1,90	18,76		
	6	479,00	490,33	506,90	0,71	1,74	16,57		
CP II Z 1:3 CURA AMBIENTE 50±2 °C	7	506,30	515,20	530,28	0,56	1,50	15,08	15,36	0,56
	8	497,20	505,90	520,90	0,54	1,48	15,00		
	9	499,30	509,40	525,40	0,63	1,63	16,00		
ADESIVO CURA AMBIENTE 50±2 °C	10	446,90	449,00	451,89	0,13	0,31	2,89	2,94	0,04
	11	443,00	445,10	448,05	0,13	0,32	2,95		
	12	443,10	445,30	448,27	0,14	0,32	2,97		
CP IV 1:2 CURA ÚMIDA 50±2 °C	13	460,00	466,30	475,54	0,39	0,97	9,24	8,66	0,67
	14	461,00	466,40	474,32	0,34	0,83	7,92		
	15	458,30	464,63	473,45	0,40	0,95	8,82		
CP IV 1:3 CURA ÚMIDA 50±2 °C	16	468,10	477,00	490,26	0,56	1,39	13,26	12,11	1,01
	17	461,00	468,41	479,76	0,46	1,17	11,35		
	18	461,30	469,72	481,44	0,53	1,26	11,72		
CP II Z 1:3 CURA ÚMIDA 50±2 °C	19	498,00	503,00	512,11	0,31	0,88	9,11	8,70	0,87
	20	502,50	506,90	514,60	0,27	0,76	7,70		
	21	511,10	516,40	525,70	0,33	0,91	9,30		
ADESIVO CURA ÚMIDA 50±2 °C	22	440,60	442,62	444,86	0,13	0,27	2,24	2,51	0,27
	23	450,10	452,38	454,89	0,14	0,30	2,51		
	24	446,20	448,67	451,45	0,15	0,33	2,78		
CP IV 1:2 CURA ÚMIDA 23±2 °C	25	480,03	485,47	492,93	0,34	0,81	7,46	7,45	0,21
	26	467,66	473,01	480,25	0,33	0,79	7,24		
	27	463,56	469,22	476,88	0,35	0,83	7,66		
CP IV 1:3 CURA ÚMIDA 23±2 °C	28	478,77	485,47	496,04	0,42	1,08	10,57	10,55	0,47
	29	479,46	486,39	497,40	0,43	1,12	11,01		
	30	482,17	488,64	498,72	0,40	1,03	10,08		
CP II Z 1:3 CURA ÚMIDA 23±2 °C	31	489,79	494,45	503,10	0,29	0,83	8,65	8,59	0,55
	32	486,14	490,70	498,71	0,29	0,79	8,01		
	33	493,55	498,00	507,10	0,28	0,85	9,10		
ADESIVO CURA ÚMIDA 23±2 °C	34	455,43	458,31	462,51	0,18	0,44	4,20	4,03	0,19
	35	458,98	461,67	465,72	0,17	0,42	4,05		
	36	461,32	464,00	467,83	0,17	0,41	3,83		
CP IV 1:2 CURA AMBIENTE 23±2 °C	37	459,80	466,00	476,81	0,39	1,06	10,81	11,56	0,75
	38	463,76	470,36	481,92	0,41	1,14	11,56		
	39	462,94	470,17	482,47	0,45	1,22	12,30		
CP IV 1:3 CURA AMBIENTE 23±2 °C	40	463,72	472,32	487,90	0,54	1,51	15,58	16,22	0,58
	41	470,91	479,52	495,89	0,54	1,56	16,37		
	42	474,00	483,19	499,90	0,57	1,62	16,71		
CP II Z 1:3 CURA AMBIENTE 23±2 °C	43	482,52	489,65	503,90	0,45	1,34	14,25	13,86	0,71
	44	480,20	487,50	501,80	0,46	1,35	14,30		
	45	485,72	492,56	505,60	0,43	1,24	13,04		
ADESIVO CURA AMBIENTE 23±2 °C	46	458,40	461,20	465,66	0,18	0,45	4,46	4,28	0,19
	47	448,66	451,26	455,34	0,16	0,42	4,08		
	48	456,57	459,25	463,55	0,17	0,44	4,30		

Onde "A_t" é a absorção por capilaridade no tempo "t" e "C" é o coeficiente de capilaridade.

Os ensaios mostraram visíveis variações entre os fatores e níveis envolvidos no experimento na capilaridade das amostras das argamassas, como mostram as Figura 62 e 63.



Figura 62: exemplo de amostras de diferentes tipos de argamassas de chapisco curadas com umidade a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ após ensaio de absorção por capilaridade

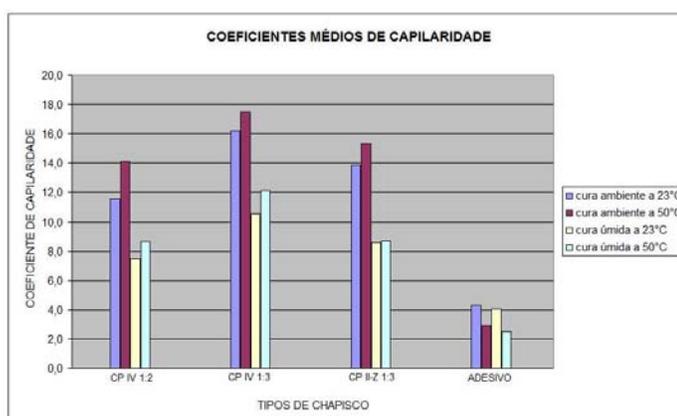


Figura 63: coeficientes médios de capilaridade por tipos de chapisco e cura

Para verificar os efeitos dos fatores envolvidos, foi realizada a análise de variância cujos resultados estão na Tabela 41.

Tabela 41: análise de variância dos resultados de coeficiente de capilaridade

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
CURA	1	206,79	492,93	0,0000	Significativo
CHAPISCO	3	250,53	597,19	0,0000	Significativo
TEMPERATURA	1	5,34	12,73	0,0012	Significativo
CURA x CHAP.	3	20,10	47,91	0,0000	Significativo
CURA x TEMP.	1	1,28	3,04	0,0906	Não Significativo
CHAP. x TEMP.	3	6,44	15,35	0,0000	Significativo
CURA x CHAP. x TEMP.	3	0,52	1,25	0,3082	Não Significativo
ERRO	32	0,4195	-	-	-

A análise de variância apontou como significativos na capilaridade das argamassas os efeitos de todos os fatores (cura, tipo de chapisco e temperatura de cura), como é representado nos gráficos da Figura 64.

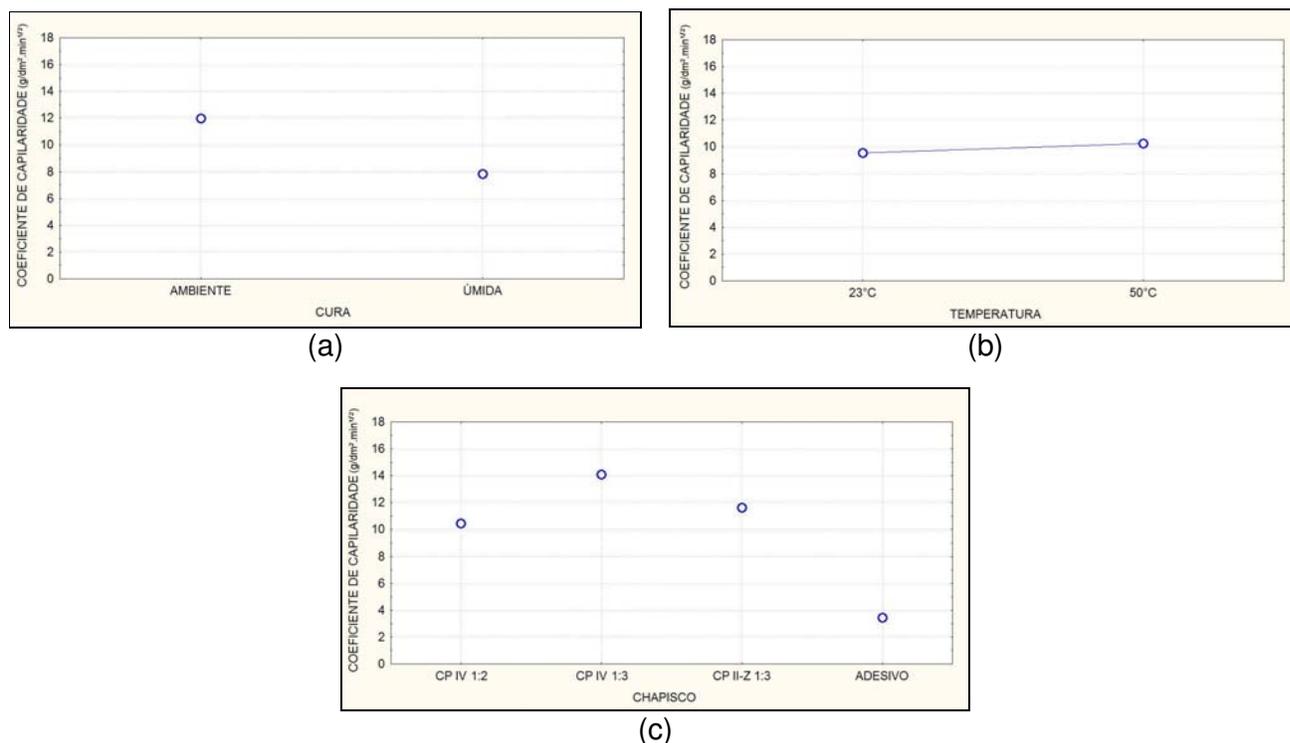


Figura 64: influências: (a) do tipo de cura; (b) da temperatura de cura e (c) tipo de chapisco nos coeficientes de capilaridade das argamassas de chapisco

Percebe-se nas análises acima que as influências da cura úmida e da cura com temperatura de 23°C dos chapiscos geraram menores valores de absorção por capilaridade, o que pode ser atribuído a esperada menor perda de água das argamassas de chapisco para o ambiente durante a cura nestas condições. Percebe-se novamente que a cura úmida das amostras diminui a perda de água das amostras, mas não foi suficiente para amenizar totalmente os efeitos do aumento de temperatura. As influências das curas sem umidificação e com temperatura de 50°C sugeriram a maior formação de vasos capilares através da perda de água das argamassas de chapisco, elevando as absorções por capilaridade.

Para complementar a verificação de influência significativa do tipo de chapisco nos resultados de absorção por capilaridade, uma análise múltipla de médias, segundo o

método de Duncan, foi realizado para verificar a influência do fator tipo de chapisco sobre os valores de capilaridade. O resultado, mostrado na Tabela 42, indicou diferença significativa entre todos os quatro tipos analisados.

Tabela 42: comparação múltipla de médias dos coeficientes de capilaridade pelo teste de Duncan

PROBABILIDADES (TESTE DE DUNCAN)					
TIPO DE CHAPISCO	CP IV 1:2	CP IV 1:3	CP II Z 1:3	ADESIVO	
	MÉDIA	14,10	10,44	11,63	3,44
CP IV 1:2	14,10	-	0,000062	0,000134	0,000055
CP IV 1:3	10,44	0,000062	-	0,000215	0,000134
CP II Z 1:3	11,63	0,000134	0,000215	-	0,000062
ADESIVO	3,44	0,000055	0,000134	0,000062	-

*Os valores destacados mostram as médias com diferença significativa.

Os menores resultados de capilaridade do chapisco adesivo são coerentes com os maiores resultados de resistência mecânica percebidos neste material, já que geralmente argamassas mais resistentes são mais densas e menos porosas. Estas características do chapisco adesivo sugerem que o maior responsável pela aderência das argamassas de emboço aplicadas sobre estas camadas de preparo são os cordões formados no desempenho com desempenadeira dentada, ou seja, a macroancoragem.

A interação dos fatores cura e chapisco aparece representada na Figura 65.



Figura 65: influência do tipo de cura e tipo de chapisco nos coeficientes de capilaridade das argamassas de chapisco

Apenas o chapisco adesivo não apresentou diferença nas capilaridades para os dois tipos de cura, além de demonstrar os menores valores de coeficiente de

capilaridade, enquanto que os chapiscos convencionais se mostraram mais sensíveis à cura ambiente.

A Figura 66 apresenta a interação dos fatores tipo de chapisco e temperatura de cura.

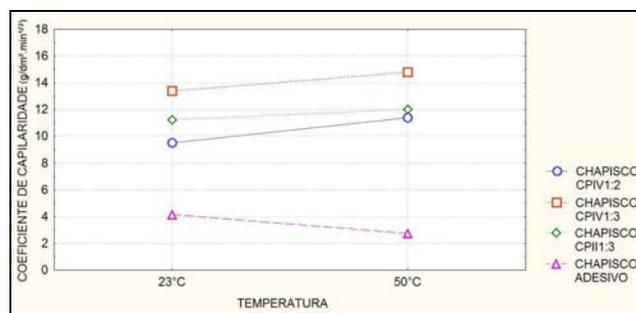


Figura 66: influência da temperatura de cura e tipo de chapisco nos coeficientes de capilaridade das argamassas de chapisco

Percebe-se na Figura 66 que o chapisco adesivo, não somente destoa dos demais, como inverte a influência da elevação da temperatura de cura das argamassas nos resultados, onde a temperatura menor ($23\pm 2^\circ\text{C}$) apresenta os maiores coeficientes de capilaridade. Nos demais chapiscos, este nível do fator temperatura mostrou os menores resultados do parâmetro em questão.

Novamente a argamassa de chapisco “CP II-Z 1:3” mostrou desempenho diferente do chapisco “CP IV 1:3”, embora com mesmo teor de cimento no traço em volume. Também se percebe outra vez uma aparente proximidade nos resultados do “CP II-Z 1:3” e “CP IV 1:2”, mesmo este último contendo maior quantidade de aglomerante no traço em volume.

Nos ensaios físico-mecânicos das argamassas de chapisco pode-se verificar a maior resistência mecânica e menor capilaridade do chapisco adesivo. Também é notável a menor sensibilidade às condições de cura do chapisco adesivo comparado às argamassas de chapiscos convencionais, provavelmente devido aos polímeros presentes na sua composição e que não dependem da hidratação para formação de produtos que irão contribuir na resistência da argamassa.

Porém, tendo como função principal a aderência dos revestimentos, a determinação do desempenho de um chapisco não pode ser concluída sem uma análise da resistência de aderência do sistema de revestimento onde esta camada foi inserida.

6.3 RESULTADOS DA ANÁLISE DE ADERÊNCIA

6.3.1 Resistência de Aderência à Tração

O total dos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração dos painéis do experimento (Figura 67) é apresentado na Tabela 43.



Figura 67: ensaio de resistência de aderência à tração na flexão do experimento

Tabela 43: resultados dos ensaios de resistência de aderência

TEMPERATURA 23±2°C				TEMPERATURA 23±2°C				TEMPERATURA 50±2°C				TEMPERATURA 50±2°C			
CURA AMBIENTE				CURA ÚMIDA				CURA ÚMIDA				CURA AMBIENTE			
CHAPISCO	CP	Ra (MPa)	Locais de Ruptura*	CHAPISCO	CP	Ra (MPa)	Locais de Ruptura*	CHAPISCO	CP	Ra (MPa)	Locais de Ruptura*	CHAPISCO	CP	Ra (MPa)	Locais de Ruptura*
CP IV 1:2	1	0,32	2 e 4	CP IV 1:2	49	0,00	2	CP IV 1:2	97	0,11	4	CP IV 1:2	145	0,11	2 e 4
	2	0,09	4		50	0,00	2		98	0,06	4		146	0,10	2, 4 e 5
	3	0,32	2, 4 e 5		51	0,21	2, 4 e 5		99	0,05	4		147	0,18	2 e 4
	4	0,14	2 e 4		52	0,00	2 e 3		100	0,10	4 e 5		148	0,02	2 e 4
	5	0,06	4		53	0,00	2 e 3		101	0,00	4 e 5		149	0,03	2 e 4
	6	0,35	2, 4 e 5		54	0,03	2, 4 e 5		102	0,05	4		150	0,02	4
	7	0,08	2, 4 e 6		55	0,01	2, 3 e 4		103	0,02	4 e 5		151	0,00	4
	8	0,22	4		56	0,03	2 e 3		104	0,00	4 e 5		152	0,00	4
	9	0,11	4		57	0,03	2 e 4		105	0,04	4		153	0,04	4
	10	0,16	2 e 4		58	0,21	4 e 5		106	0,02	4 e 5		154	0,08	2, 4 e 5
	11	0,04	4 e 5		59	0,10	2, 4 e 5		107	0,00	4		155	0,08	2 e 4
	12	0,32	4 e 5		60	0,07	2 e 4		108	0,06	4 e 5		156	0,04	4
CP IV 1:3	13	0,36	2 e 4	CP IV 1:3	61	0,00	2 e 4	CP IV 1:3	109	0,05	2 e 5	CP IV 1:3	157	0,02	4 e 5
	14	0,13	2 e 4		62	0,14	4 e 5		110	0,04	2, 3, 4 e 5		158	0,00	2
	15	0,04	2 e 4		63	0,13	4 e 5		111	0,07	4 e 5		159	0,00	2
	16	0,24	2 e 4		64	0,00	2 e 4		112	0,00	2, 3 e 4		160	0,12	2
	17	0,30	2 e 4		65	0,00	2		113	0,05	2, 3 e 4		161	0,24	2, 4 e 5
	18	0,26	2 e 4		66	0,38	4 e 5		114	0,00	2, 3 e 4		162	0,11	2 e 4
	19	0,03	2 e 4		67	0,00	2		115	0,00	2 e 3		163	0,03	2, 4 e 5
	20	0,05	2 e 4		68	0,02	2 e 4		116	0,04	2, 3 e 4		164	0,03	2, 4 e 5
	21	0,07	2 e 4		69	0,00	2 e 4		117	0,00	2, 3 e 4		165	0,03	2, 4 e 5
	22	0,08	2		70	0,00	2		118	0,02	2 e 4		166	0,12	2 e 4
	23	0,16	2 e 4		71	0,02	2 e 4		119	0,00	2		167	0,02	4
	24	0,24	2 e 4		72	0,01	2 e 4		120	0,00	2 e 4		168	0,03	2 e 4
CP II Z 1:3	25	0,26	2 e 4	CP II Z 1:3	73	0,50	4 e 5	CP II Z 1:3	121	0,11	4	CP II Z 1:3	169	0,14	2 e 4
	26	0,11	2 e 4		74	0,43	4 e 5		122	0,16	4 e 5		170	0,15	2 e 4
	27	0,19	4		75	0,34	4 e 5		123	0,22	4 e 5		171	0,10	2 e 4
	28	0,14	2 e 4		76	0,08	2, 4 e 5		124	0,05	4		172	0,15	4 e 5
	29	0,14	2, 4 e 5		77	0,04	2, 4 e 5		125	0,22	4		173	0,24	2 e 4
	30	0,22	2, 4 e 5		78	0,27	3, 4 e 5		126	0,08	4 e 5		174	0,09	2 e 4
	31	0,15	2 e 4		79	0,12	4 e 5		127	0,04	4 e 5		175	0,03	4
	32	0,35	2 e 4		80	0,31	2, 4 e 5		128	0,02	4 e 5		176	0,06	2, 4 e 5
	33	0,20	2 e 4		81	0,39	4 e 5		129	0,03	4 e 5		177	0,08	2 e 4
	34	0,14	2 e 4		82	0,11	4 e 5		130	0,02	4 e 5		178	0,06	2 e 4
	35	0,03	4 e 5		83	0,05	4		131	0,03	4		179	0,02	2, 4 e 5
	36	0,18	4 e 5		84	0,24	4		132	0,04	4 e 5		180	0,08	4 e 5
ADESIVO	37	0,71	3, 4 e 5	ADESIVO	85	0,11	4 e 5	ADESIVO	133	0,07	4 e 5	ADESIVO	181	0,05	4 e 5
	38	0,27	3, 4 e 5		86	0,80	4 e 5		134	0,20	4 e 5		182	0,23	3, 4 e 5
	39	0,14	3, 4 e 5		87	0,34	4 e 5		135	0,16	4 e 5		183	0,30	3, 4 e 5
	40	0,13	4 e 5		88	0,69	4 e 5		136	0,29	4 e 5		184	0,10	4 e 5
	41	0,53	3, 4 e 5		89	0,09	4 e 5		137	0,16	3, 4 e 5		185	0,16	3, 4 e 5
	42	0,52	3, 4 e 5		90	0,14	4 e 5		138	0,17	3, 4 e 5		186	0,44	3 e 4
	43	0,31	4 e 5		91	0,20	4 e 5		139	0,29	4 e 5		187	0,14	3, 4 e 5
	44	0,39	3 e 4		92	0,01	4 e 5		140	0,30	4 e 5		188	0,27	3, 4 e 5
	45	0,23	3 e 4		93	0,31	4 e 5		141	0,14	4 e 5		189	0,06	3, 4 e 5
	46	0,38	2, 3 e 4		94	0,38	4 e 5		142	0,15	3, 4 e 5		190	0,08	2, 3, 4 e 5
	47	0,13	4 e 5		95	0,58	4 e 5		143	0,24	3, 4 e 5		191	0,14	3 e 4
	48	0,23	3 e 4		96	0,27	4 e 5		144	0,32	3, 4 e 5		192	0,50	3, 4 e 5

*Locais de Ruptura: 1) SUBSTRATO; 2) INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO; 3) CHAPISCO; 4) INTERFACE CHAPISCO/EMBOÇO; 5) EMBOÇO

As médias, os desvios-padrão e as variâncias dos resultados são apresentados na Tabela 44 e Figura 68.

Tabela 44: médias, desvios-padrão e variâncias das resistências de aderência

TIPO DE CHAPISCO	TEMPERATURA 23±2°C						TEMPERATURA 50±2°C					
	CURA AMBIENTE			CURA ÚMIDA			CURA ÚMIDA			CURA AMBIENTE		
	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	VAR.	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	VAR.	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	VAR.	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	VAR.
CP IV 1:2	0,18	0,1161	1,35E-02	0,06	0,0776	6,02E-03	0,04	0,0371	1,38E-03	0,06	0,0525	2,76E-03
CP IV 1:3	0,16	0,1118	1,25E-02	0,06	0,1138	1,30E-02	0,02	0,0266	7,06E-04	0,06	0,0715	5,12E-03
CP II Z 1:3	0,19	0,0806	6,50E-03	0,24	0,1593	2,54E-02	0,09	0,0779	6,07E-03	0,10	0,0614	3,77E-03
ADESIVO	0,33	0,1833	3,36E-02	0,33	0,2485	6,18E-02	0,21	0,0793	6,28E-03	0,20	0,1463	2,14E-02

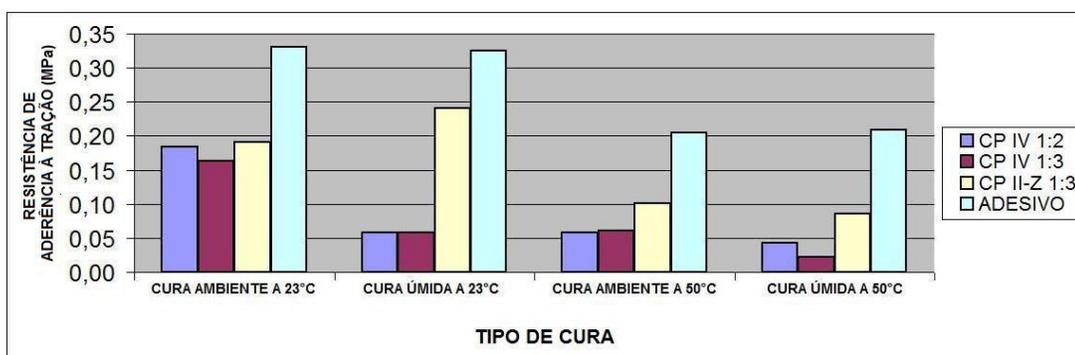


Figura 68: médias de resistência de aderência

Percebe-se uma queda nos valores de resistência de aderência nos revestimentos com chapiscos com CP IV entre a cura ambiente e a cura úmida, principalmente a 23°C, o que não ocorreu nas demais argamassas. A análise de variância destes resultados está na Tabela 45.

Tabela 45: análise de variância dos resultados de aderência

EFEITO	GDL	MQ	F	p	SIGNIFICÂNCIA
CURA	1	0,0425	3,096	0,0802	Não Significativo
CHAPISCO	3	0,3715	27,055	0,0000	Significativo
TEMPERATURA	1	0,4243	30,903	0,0000	Significativo
CURA x CHAP.	3	0,0289	2,105	0,1013	Não Significativo
CURA x TEMP.	1	0,0086	0,626	0,4298	Não Significativo
CHAP. x TEMP.	3	0,0096	0,699	0,5536	Não Significativo
CURA x CHAP. x TEMP.	3	0,0202	1,469	0,2247	Não Significativo
ERRO	176	0,0137	-	-	-

Nesta análise foram considerados significativos apenas os efeitos da temperatura de cura e do tipo de chapisco. O método de cura úmida das camadas de chapisco

utilizado neste experimento não se mostrou significativo nos resultados de aderência dos revestimentos, possivelmente devido ao método empregado (mantas de cura umedificadas) não ter amenizado perdas excessivas de água para o ambiente, o que prejudica a hidratação do cimento dos chapiscos aplicados, principalmente na temperatura elevada (50 °C).

Porém os resultados dos painéis com chapisco de cimento CP II-Z mostram um pequeno aumento na aderência decorrente da cura úmida na temperatura de 23 °C. Esta diferença percebida nos chapiscos convencionais pode ser explicada pela maior quantidade de pozolana encontrada no cimento CP IV, maior que no cimento CP II-Z. No cimento com maior teor de pozolana (CP IV), o período de cura úmida (2 dias) pode ter sido insuficiente para beneficiar as reações pozolânicas, que são mais lentas, prejudicando o ganho de resistência destes materiais.

Ainda deve-se observar que, nos corpos-de-prova prismáticos ensaiados, os resultados das argamassas de chapisco mostraram comportamentos completamente diferentes dos observados nos chapiscos aplicados nos painéis. Nos moldes metálicos usados, a menor superfície exposta ao ambiente e a maior quantidade de argamassa dos corpos-de-prova permitiram que a cura úmida fosse eficiente na tarefa de manter a umidade necessária para a hidratação dos cimentos das argamassas de chapisco, melhorando sua resistência mecânica.

Outra diferença importante entre as curas úmidas dos corpos-de-prova e a dos painéis foi a posição da manta sobre os dois tipos de amostra. Enquanto que na cura úmida dos corpos-de-prova, as mantas saturadas eram mantidas sobre as amostras na posição horizontal, nos painéis chapiscados a manta cobria os chapiscos verticalmente. A manta saturada e mantida horizontalmente sobre os corpos-de-prova manteve a umidade por muito mais tempo que nos painéis, onde a posição vertical permitiu que a água absorvida pela manta escorresse pela ação da gravidade. As duas curas úmidas são mostradas na Figura 44(b), cura dos corpos-de-prova prismáticos, e Figura 36(b), cura dos painéis.

Nos painéis, a pequena espessura das camadas de chapisco (aproximadamente 3 mm) somada ao endurecimento mais lento dos chapiscos com CP IV devido ao

maior teor de pozolana, podem ter causado um enfraquecimento destas camadas e de suas interfaces com o substrato ou argamassa de revestimento, ao possibilitar retração e aumento da porosidade na camada decorrente de sucessiva absorção e evaporação de água durante a cura úmida.

No chapisco adesivo não se percebe alteração significativa nos resultados de aderência devido ao tipo de cura (úmida ou ambiente), apenas devido à temperatura de cura. Este comportamento pode ser explicado por características próprias de argamassas modificadas com polímeros (caso do chapisco adesivo) como a formação de uma película polimérica na superfície externa, que pode ter amenizado a perda de água da argamassa, e a parcela de resistência mecânica atribuída à resina polimérica que não depende de hidratação para o endurecimento do material.

O efeito das temperaturas de cura nos resultados de aderência, considerado significativo, pode ser observado na Figura 69.

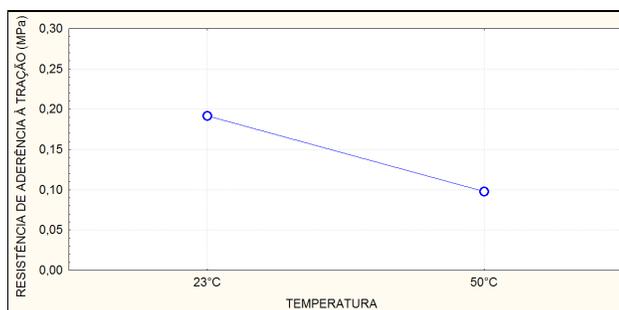


Figura 69: efeito da temperatura na resistência de aderência

A temperatura de cura das camadas de chapisco das amostras mostrou efeito significativo nos resultados de resistência de aderência à tração do experimento. Mesmo ocorrendo em 48 horas, entre a aplicação das argamassas de chapisco e o revestimento dos painéis com argamassa de emboço, a temperatura do ambiente da câmara climatizada neste período se mostrou significativamente influente nos resultados de aderência dos painéis do experimento. Foi constatada a redução de 0,19 MPa para 0,10 MPa nos resultados médios de aderência dos revestimentos das amostras ao elevar a temperatura ambiente de 23°C para 50°C durante a cura das

camadas de chapisco, o que significa uma queda de 47,3%, quase a metade da resistência média obtida com cura a 23 °C.

A queda na resistência de aderência dos revestimentos com chapiscos curados a 50 °C foi coerente com os resultados de resistência à tração e compressão dos corpos-de-prova prismáticos moldados destes chapiscos que também evidenciaram queda de resistência significativa entre os materiais curados a 23 °C e os curados a 50 °C. O efeito negativo do aumento de temperatura durante a cura das argamassas de chapisco na aderência destas a substratos de concreto também foi observado no trabalho de Moura (2007), onde a autora afirma que este comportamento é resultado da secagem do material (argamassa de chapisco) ocorrer juntamente com a aceleração da sua hidratação, o que acaba formando produtos mais frágeis nesta camada devido à inibição da reação de hidratação. Na Figura 70 pode-se observar a diferença dos resultados de aderência dos revestimentos aplicados com os quatro tipos de camadas de preparo (chapiscos) deste experimento.

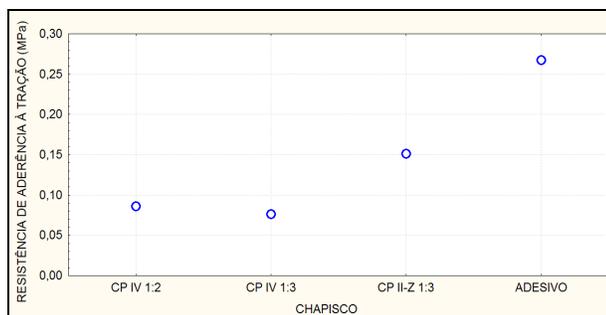


Figura 70: efeito dos tipos de chapisco na resistência de aderência

A Tabela 46 mostra os resultados da análise múltipla de médias pelo método de Duncan.

Tabela 46: comparação múltipla de médias dos resultados de aderência

PROBABILIDADES (TESTE DE DUNCAN)					
TIPO DE CHAPISCO		CP IV 1:2	CP IV 1:3	CP II Z 1:3	ADESIVO
	MÉDIA	0,0858 MPa	0,0761 MPa	0,1512 MPa	0,2672 MPa
CP IV 1:2	0,0858 MPa	-	0,683014	0,006301	0,000011
CP IV 1:3	0,0761 MPa	0,683014	-	0,002404	0,000003
CP II Z 1:3	0,1512 MPa	0,006301	0,002404	-	0,000010
ADESIVO	0,2672 MPa	0,000011	0,000003	0,000010	-

*Os valores destacados mostram as médias com diferença significativa

Através da comparação múltipla de médias, observa-se que os chapiscos com cimento CP IV não apresentaram diferença significativa entre si, porém estes foram considerados significativamente menos resistentes que os chapiscos com CP II-Z e o chapisco adesivo industrializado. Percebe-se ainda que os chapiscos convencionais não atenderam a resistência mínima exigida pela NBR 13749 (ABNT, 1996) para revestimentos internos (0,20 MPa) e que nenhuma das resistências médias de aderência do experimento atingiram o limite mínimo para revestimentos externos (0,30 MPa).

Mesmo com menor consumo de cimento do que o “CP IV 1:2”, o chapisco com cimento CP II-Z (traço 1:3 em volume) apresenta significativamente maior resultado, mostrando, neste trabalho, uma queda na aderência no uso de CP IV em chapiscos, provavelmente devido à sua menor resistência mecânica e ao maior teor de resíduos presentes neste cimento (como apresentado no item 5.2.2). Os resultados são compatíveis com as afirmações de Thomaz (2001) citado por Silva et al. (2009), que recomenda na preparação de chapiscos evitar a utilização de cimento Pozolânico (CP IV) pois, como o chapisco é aplicado em camada fina, ocorre rápida evaporação da água de amassamento, não havendo tempo para as reações de hidratação da pozolana.

O chapisco adesivo, industrializado e aplicado com desempenadeira dentada, apresentou resistência de aderência significativamente superior aos demais chapiscos, possivelmente devido à sua composição, com aditivos que lhe proporcionam propriedades adesivas e/ou forma de aplicação que aumenta a extensão de aderência deste material ao substrato de concreto.

A superioridade dos resultados de aderência dos revestimentos com chapisco adesivo também podem estar relacionada à sua resistência mecânica, significativamente maior que a resistência das demais argamassas de chapisco, como foi verificado nos ensaios de resistência à tração e compressão dos corpos-de-prova prismáticos destes materiais. Novamente, os resultados do chapisco adesivo foram coerentes com o experimento de Moura (2007), onde ocorreu a vantagem significativa dos resultados de aderência dos revestimentos com chapiscos adesivos industrializados em relação aos revestimentos com chapisco convencional. Neste trabalho citado também houve coerência entre os resultados de aderência e os resultados de resistência à flexão e compressão dos corpos-de-prova moldados destas argamassas.

Outra explicação para os resultados superiores do chapisco adesivo pode ser encontrada no método de aplicação por meio de desempenadeira, onde a pressão exercida pode ser favorável à fixação e extensão de aderência com o substrato. Silva et al. (2007) estudaram, entre outros fatores, a influência do método de aplicação de chapisco com aditivo à base de resina acrílica, e relataram resultados de aderência significativamente superiores através da aplicação dos chapiscos com desempenadeira.

6.3.2 Resumo dos Resultados dos Ensaios de Análise

A Figura 71 apresenta uma relação de gráficos, onde os pontos unidos em círculos vermelhos não são considerados diferentes significativamente. Pode-se visualizar os resultados considerados significativos dos ensaios mecânicos e de absorção por capilaridade realizados nos corpos-de-prova e de aderência dos painéis revestidos.

De modo geral, percebe-se a maior resistência mecânica do chapisco adesivo e a maior resistência de aderência dos painéis onde este foi aplicado, enquanto que nos ensaios de absorção este material apresentou os menores valores, o que já era esperado devido, entre outros, à sua composição com polímeros. Entre os chapiscos convencionais, percebe-se a semelhança entre os resultados dos chapiscos aqui denominados “CP IV 1:2” e “CP II-Z” nos ensaios dos corpos-de-prova, o que não se

repete nos resultados de aderência dos painéis, onde os revestimentos com chapisco com CP II-Z mostraram valores maiores significativamente.

No fator temperatura, fica claro o efeito do aumento de temperatura em todas análises, reduzindo as resistências e aumentando a absorção por capilaridade. No fator tipo de cura, percebe-se que a cura úmida dos chapiscos elevou a resistência mecânica e reduziu a capilaridade dos corpos-de-prova.

Nas interações dos fatores, nota-se, entre outras coisas, a baixa influência do tipo de cura na argamassa de chapisco adesivo, a sua grande influência nos chapiscos convencionais. Na interação tipo e temperatura de cura nos ensaios de resistência mecânica, pode-se observar que a cura úmida não beneficiou, até mesmo reduziu, os resultados na temperatura de 23°C, porém aumentou significativamente a resistência das argamassas de chapisco na cura à 50°C.

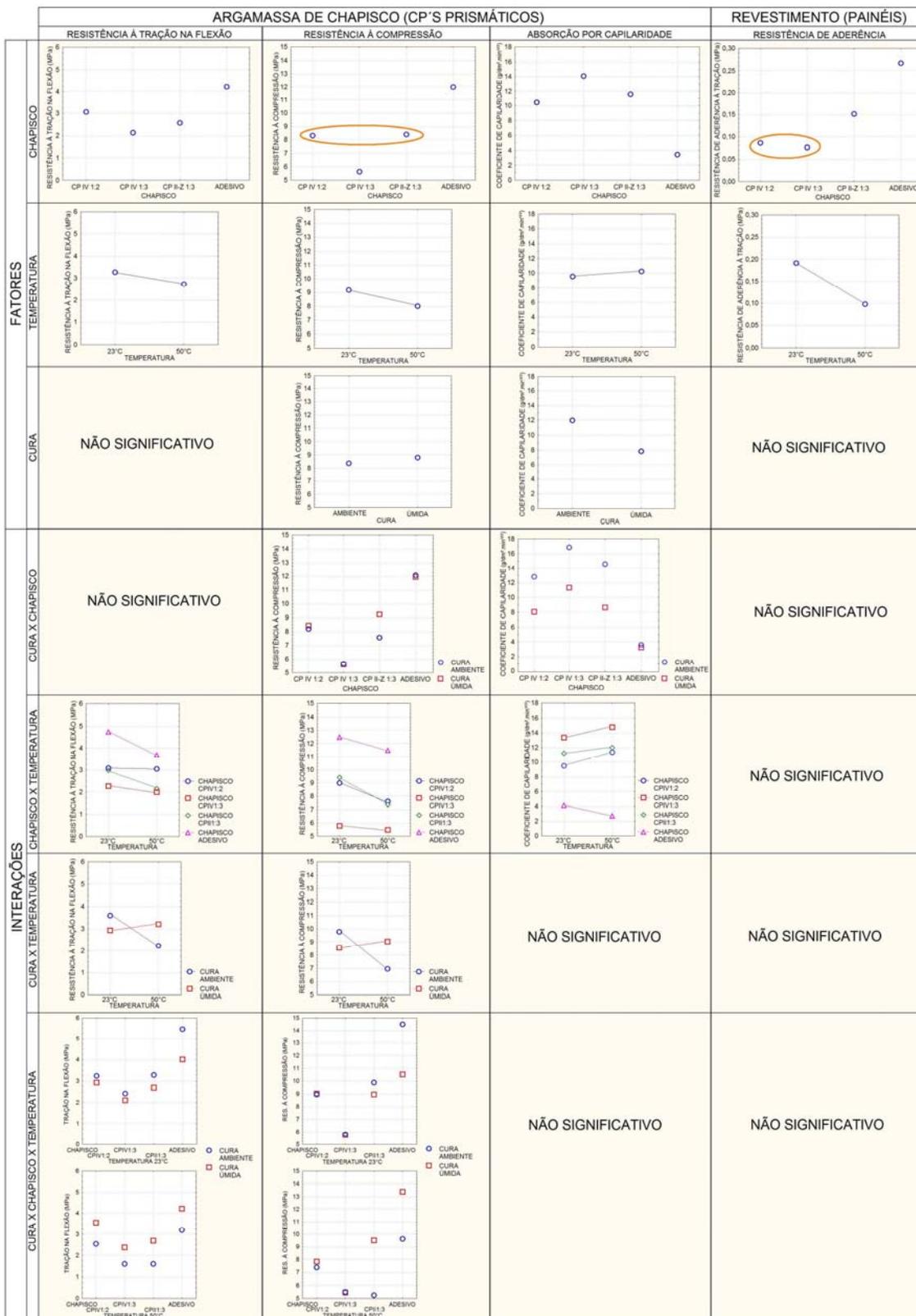


Figura 71: resumos dos resultados de análise

6.3.3 Análise das Regiões de Ruptura

As regiões de ruptura ocorridas nos ensaios de aderência foram registradas no decorrer dos arrancamentos. Nos colapsos ocorridos em mais de uma região, para cada tipo de ruptura, estimou-se aproximadamente a porcentagem da área da superfície rompida dos corpos-de-prova. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 47.

Tabela 47: regiões de rupturas ocorridas nos ensaios do experimento

TEMPERATURA DE CURA	TIPO DE CURA	CHAPISCO	REGIÕES DE RUPTURA (% média da área da seção dos cps)				
			SUBSTRATO (CONCRETO)	INTERFACE SUBSTRATO/ CHAPISCO	CHAPISCO	INTERFACE CHAPISCO/ REVESTIMENTO	REVESTIMENTO
23±2 °C	AMBIENTE	CP IV 1:2	0%	7%	0%	85%	8%
		CP IV 1:3	0%	38%	0%	62%	0%
		CP II-Z 1:3	0%	22%	0%	74%	4%
		ADESIVO	0%	1%	12%	78%	9%
23±2 °C	ÚMIDA	CP IV 1:2	0%	67%	7%	21%	5%
		CP IV 1:3	0%	64%	0%	34%	2%
		CP II-Z 1:3	0%	13%	0%	58%	30%
		ADESIVO	0%	0%	0%	61%	39%
50±2 °C	ÚMIDA	CP IV 1:2	0%	0%	0%	92%	8%
		CP IV 1:3	0%	51%	25%	21%	3%
		CP II-Z 1:3	0%	0%	0%	91%	9%
		ADESIVO	0%	0%	5%	51%	43%
50±2 °C	AMBIENTE	CP IV 1:2	0%	13%	0%	85%	1%
		CP IV 1:3	0%	50%	0%	45%	5%
		CP II-Z 1:3	0%	28%	0%	69%	3%
		ADESIVO	0%	1%	20%	68%	12%

Devido à elevada resistência mecânica do concreto dos prismas, em comparação com os materiais utilizados nos revestimentos deste trabalho, não ocorreram colapsos na região do substrato. Ao relacionar os tipos de ruptura ocorridos com os fatores do experimento obteve-se a Tabela 48 e as Figura 72 a 74.

Tabela 48: análise das rupturas por fator do experimento

FATOR	NÍVEL	OCORRÊNCIA DO TIPO DE RUPTURA				
		SUBSTRATO (CONCRETO)	INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO	CHAPISCO	INTERFACE CHAPISCO/REVESTIMENTO	REVESTIMENTO
TEMPERATURA DE CURA	23±2°C	0,0%	26,5%	2,4%	59,0%	12,1%
	50±2°C	0,0%	18,0%	6,2%	65,2%	10,6%
TIPO DE CURA	AMBIENTE	0,0%	20,1%	4,0%	70,6%	5,4%
	ÚMIDA	0,0%	24,4%	4,7%	53,6%	17,3%
CHAPISCO	CP IV 1:2	0,0%	21,9%	1,7%	70,7%	5,7%
	CP IV 1:3	0,0%	50,9%	6,3%	40,4%	2,4%
	CP II-Z 1:3	0,0%	15,7%	0,1%	72,7%	11,5%
	ADESIVO	0,0%	0,4%	9,3%	64,6%	25,7%

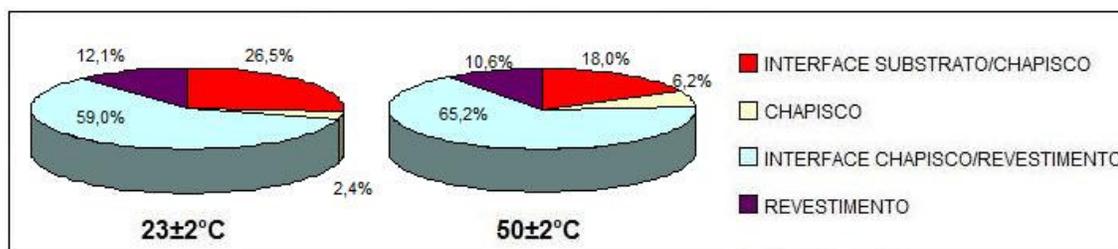


Figura 72: tipos de ruptura de acordo com o fator temperatura de cura

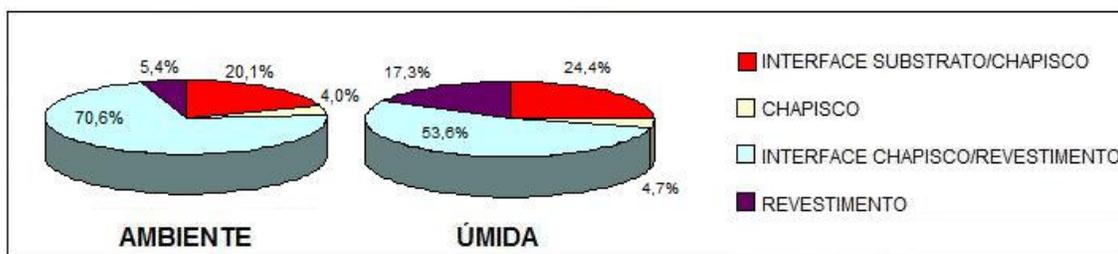


Figura 73: tipos de ruptura de acordo com o fator tipo de cura

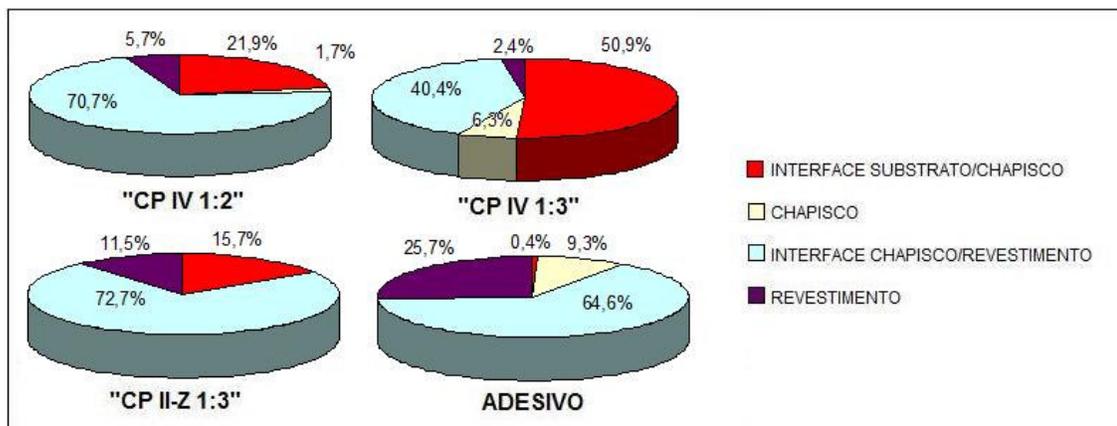


Figura 74: tipos de ruptura de acordo com o fator tipo de chapisco

Os painéis onde se utilizou o chapisco adesivo, além de apresentarem valores de resistência de aderência significativamente superiores, praticamente não apresentaram rupturas na interface substrato/chapisco (0,4%), o que demonstra vantagem deste material na aderência ao substrato de concreto do experimento. No trabalho de Pretto (2007), que comparou, entre outros fatores, a resistência de aderência de tipos de chapisco aplicados a painéis de concreto estrutural com diferentes resistências e tratamentos superficiais, também não houve constatação de rupturas na interface entre o chapisco adesivo (industrializado) utilizado e os substratos de concreto.

Comparando-se os tipos de ruptura com as resistências médias de aderência dos painéis através do fator tipo de chapisco, nota-se que quanto menores os resultados de aderência maiores foram as freqüências de ruptura na interface substrato/chapisco, como mostra a Tabela 49.

Tabela 49: média de resistência de aderência e ocorrência de ruptura na interface concreto/chapisco dos tipos de chapisco do experimento

TIPO DE CHAPISCO	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA MÉDIA (MPa)	OCORRÊNCIA DE RUPTURA NA INTERFACE SUBSTRATO (CONCRETO)/CHAPISCO
CP IV 1:3	0,08	50,9%
CP IV 1:2	0,09	21,9%
CP II-Z 1:3	0,15	15,7%
ADESIVO	0,27	0,4%

Na Tabela 50 são apresentadas a porcentagem de ocorrência e médias de resistência de aderência atribuídas aos locais de ruptura. Os valores de resistência foram ponderados para os tipos de ruptura de acordo com a participação na superfície de colapso dos corpos-de-prova.

Tabela 50: ocorrência e média de resistência de aderência dos tipos de ruptura do experimento

TIPO DE RUPTURA	OCORRÊNCIA	MÉDIA PONDERADA DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (MPa)	OCORRÊNCIA DE VALORES $\geq 0,20$ MPa	OCORRÊNCIA DE VALORES $\geq 0,30$ MPa
interface chapisco/arg. revest.	62,1%	0,15	28,8%	13,3%
interface substrato/chapisco	22,2%	0,07	10,4%	4,0%
argamassa de revestimento	11,3%	0,27	55,4%	36,1%
chapisco	4,3%	0,16	37,3%	18,7%
substrato	0,0%	-	-	-

Pode-se perceber a grande ocorrência de colapsos nas interfaces, principalmente na interface entre as argamassas de chapisco e emboço. Porém, foi na interface substrato de concreto/argamassa de chapisco que ocorreram os menores valores médios de resistência, o que também foi observado na pesquisa do capítulo 4. Para ilustrar estes resultados, a Tabela 50 apresenta a quantificação da ocorrência de resultados, para cada tipo de ruptura, que atendem às exigências da NBR 13749 (ABNT, 1996) para resistência de aderência de revestimentos internos e tetos ($\geq 0,20$ MPa) e de revestimentos externos ($\geq 0,30$ MPa) de argamassa. Se percebe que foi nas interfaces que ocorreram menos resultados satisfatórios de acordo com a norma, principalmente na interface substrato de concreto/chapisco.

A Figura 75 mostra os valores médios de aderência atribuídos aos tipos de ruptura ocorridos no experimento e nos ensaios de campo pesquisados.

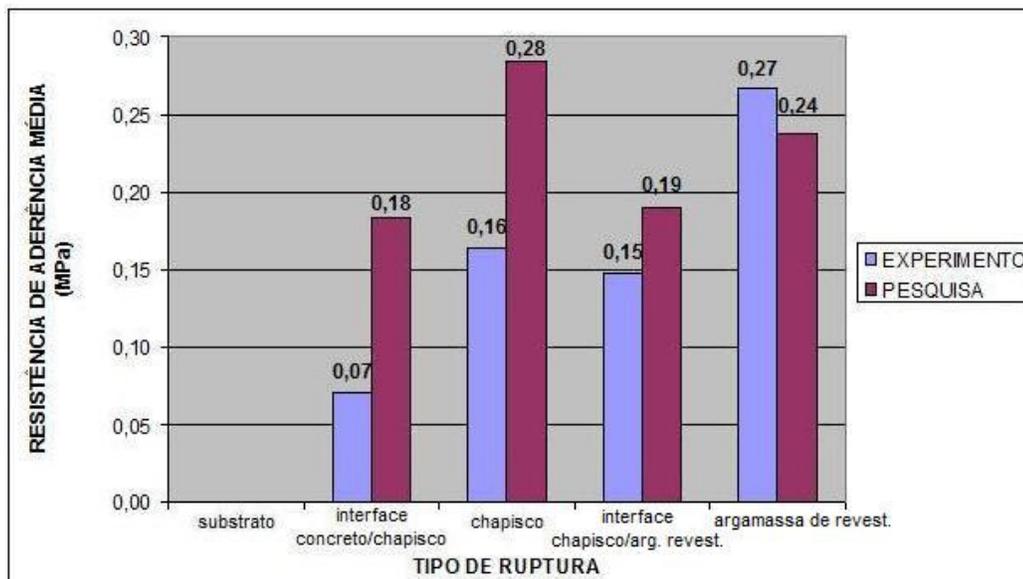


Figura 75: comparação das médias de aderência por tipo de ruptura em revestimentos sobre substrato de concreto

Observando as rupturas na interface concreto/chapisco por faixa de resistência, percebe-se uma relação dos colapsos nesta interface com resultados inferiores de aderência, tanto no experimento realizado quanto na pesquisa que analisou resultados de aderência de ensaios de campo, sugerindo que estas interfaces seriam os elos mais frágeis e problemáticos nos sistemas de revestimento aplicados em substratos de concreto analisados. Na Figura 76 estão representadas as ocorrências de ruptura na interface concreto/chapisco por faixa de resistência de aderência dos revestimentos do experimento e da pesquisa do capítulo 4 deste trabalho, mostrando a maior concentração de ocorrência das rupturas entre o substrato de concreto e chapisco nos resultados com os menores valores de resistência de aderência.

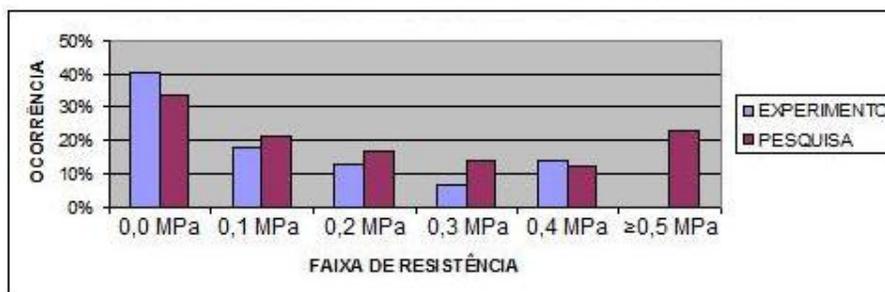


Figura 76: ocorrência de rupturas na interface substrato de concreto/argamassa de chapisco por faixas de resistência de aderência

A não ocorrência de ruptura na interface concreto/chapisco nos resultados do experimento na maior faixa de resistência pode ser atribuída ao fato de que praticamente todos os valores desta importância ocorreram nos painéis com chapisco adesivo, que apresentou inexpressiva quantidade de colapsos nesta interface (0,4%).

6.3.4 Análise da Extensão de Aderência

Para complementar a análise e compreensão dos resultados de aderência dos painéis ensaiados, foram coletadas imagens que permitem a ampliação de detalhes das interfaces interessantes às conclusões deste experimento.

Através da digitalização e ampliação de imagens obtidas de fragmentos obtidos por corte dos painéis, é possível apreciar alguns detalhes das ligações entre o substrato de concreto, as camadas de preparação (chapiscos) e a argamassa de revestimento. Em cada imagem é possível visualizar uma escala marcando 5mm para noção de grandeza da ampliação.

A Figura 77 mostra as interfaces das camadas do revestimento dos painéis preparados com chapiscos “CP IV 1:2” e seus tipos de cura.

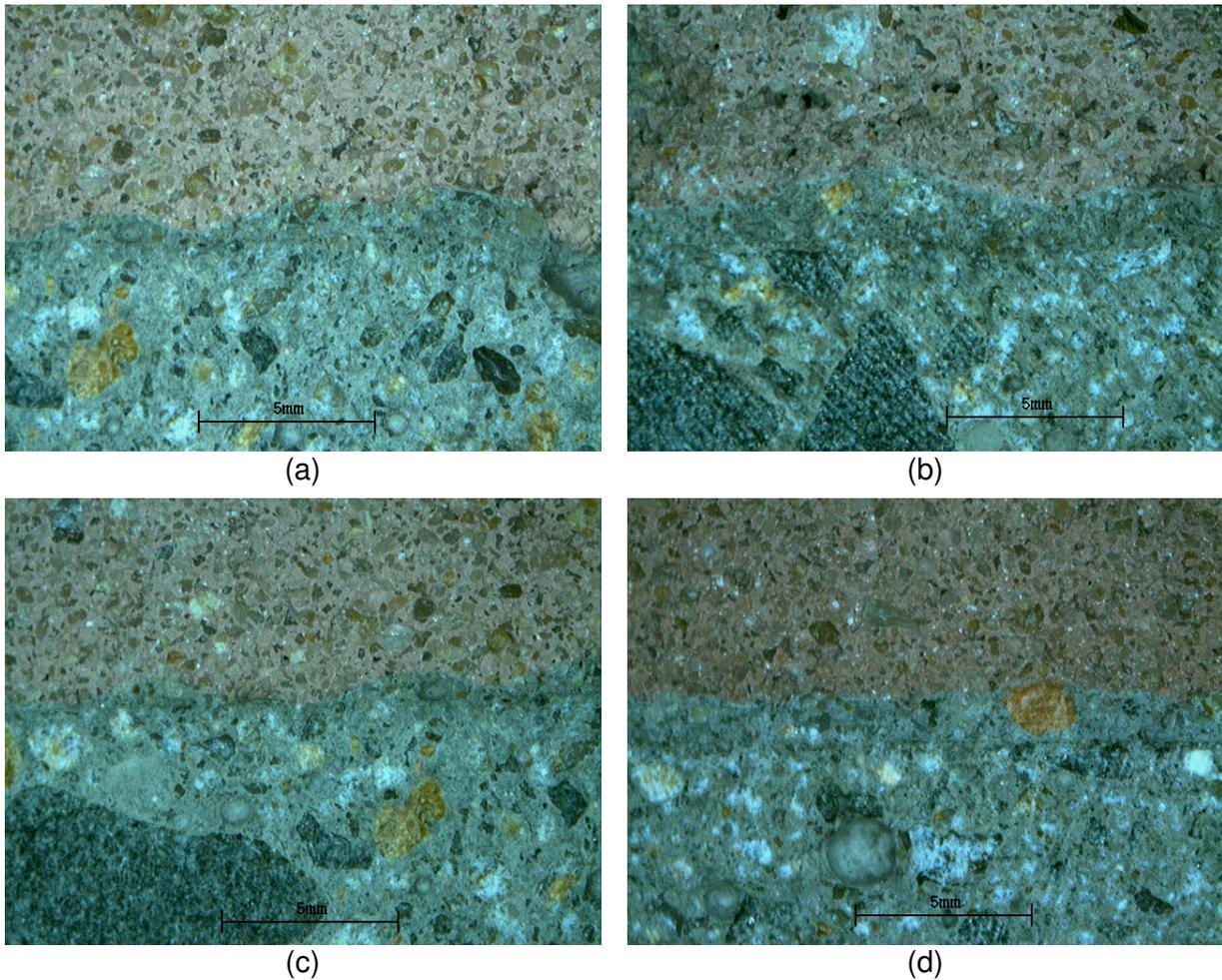


Figura 77: ampliação (5x) de fragmentos dos painéis com chapisco “CP IV 1:2”: (a) curado ao ambiente a 23 °C; (b) curado ao ambiente a 50 °C; (c) cura úmida a 23 °C e (d) cura úmida a 50 °C

Na Figura 78, mostra-se as interfaces das camadas dos painéis preparados com chapisco “CP IV 1:3” nos quatro tipos de cura.

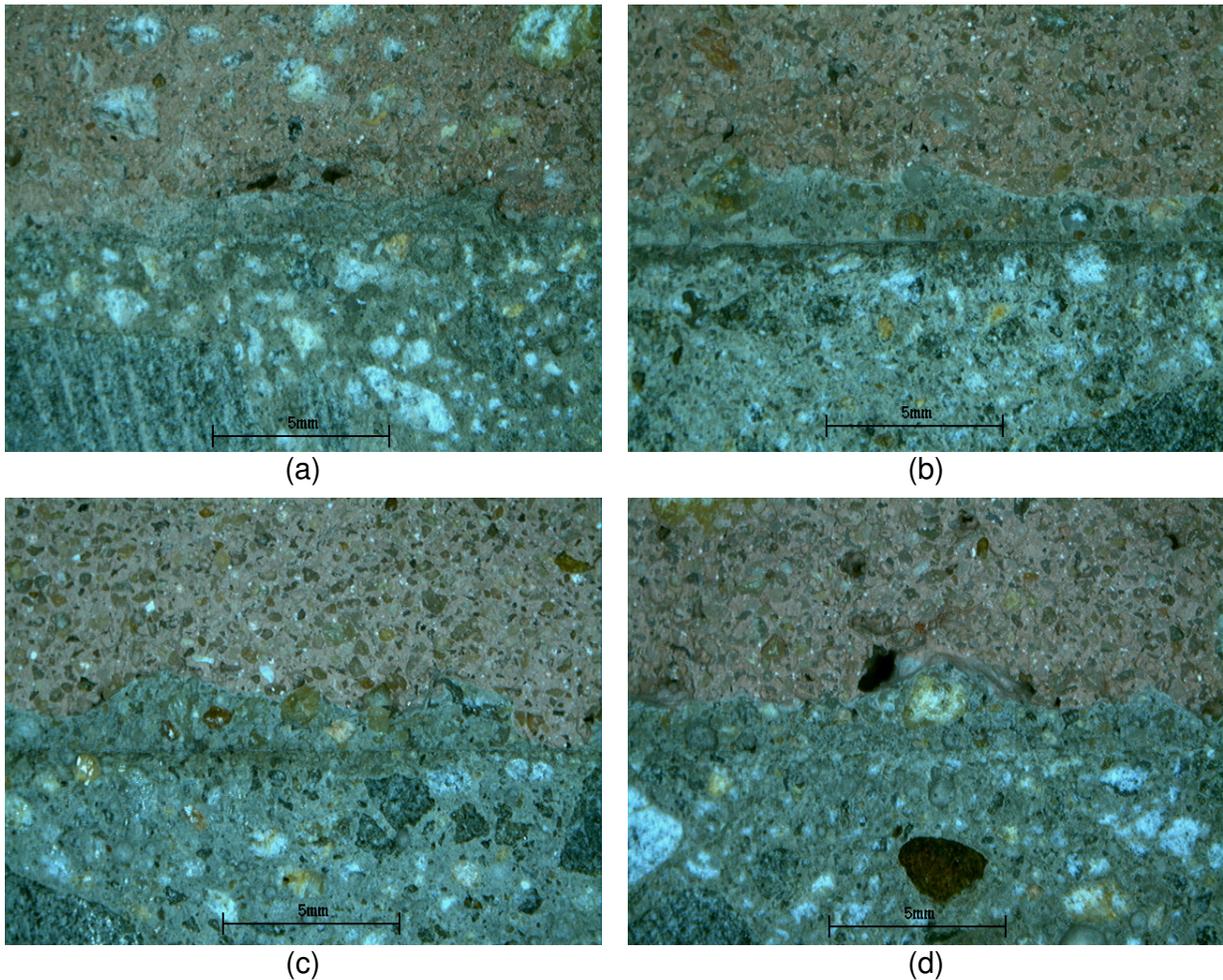


Figura 78: ampliação (5x) de fragmentos dos painéis com chapisco “CP IV 1:3”: (a) curado ao ambiente a 23 °C; (b) curado ao ambiente a 50 °C; (c) cura úmida a 23 °C e (d) cura úmida a 50 °C

A Figura 79 apresenta detalhes das ligações entre as camadas dos revestimentos dos painéis com chapisco “CP II-Z 1:3” e seus respectivos tipos de cura.

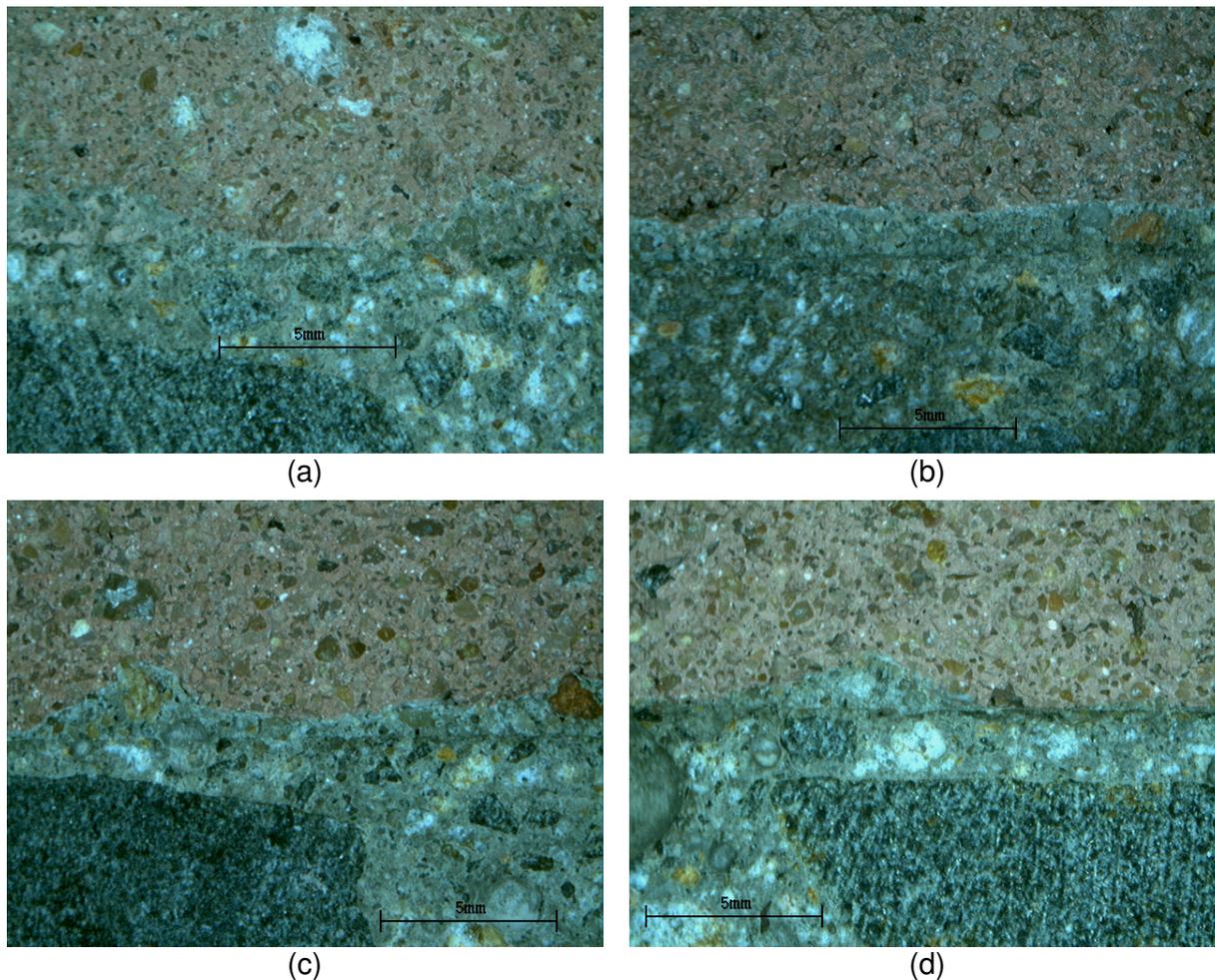


Figura 79: ampliação (5x) de fragmentos dos painéis com chapisco “CP II-Z 1:3”: (a) curado ao ambiente a 23°C; (b) curado ao ambiente a 50°C; (c) cura úmida a 23°C e (d) cura úmida a 50°C

As Figura 77 a 79 representam o que se percebeu na maior parte das seções dos fragmentos obtidos por corte dos painéis do experimento. Nestas seções, notou-se a predominância de bom contato entre as camadas do revestimento, porém percebe-se em geral a pequena espessura da camada de preparo. Esta pode ser uma possível causa do baixo desempenho dos chapiscos convencionais neste experimento, já que uma espessura insuficiente da camada de preparo pode prejudicar a formação de uma ligação mais resistente para a melhoria da aderência das camadas a serem aplicadas.

A pequena espessura destas camadas deve-se à trabalhabilidade das argamassas de chapisco determinada pelo pedreiro contratado para execução dos revestimentos. Segundo ele, devido à baixa absorção e, conseqüentemente, à pouca adesão inicial dos chapiscos convencionais ao substrato de concreto, foi necessário preparar argamassas mais fluidas, chapadas em finas camadas, pois as argamassas mais consistentes formariam camadas mais grossas e correriam o risco de escorregar na superfície dos substratos devido ao seu peso.

A Figura 80 mostra grandes falhas percebidas pontualmente na ligação entre a superfície do substrato, as camadas de preparo e de argamassa de revestimento que podem ser justificadas por diversos problemas como a falta de energia de lançamento da argamassa na sua aplicação. Tais defeitos pontuais provavelmente tenham sido um dos motivos da grande variabilidade dos resultados dos ensaios de resistência de aderência, onde falhas localizadas têm grande influência nos resultados, devido à pequena seção dos corpos-de-prova (diâmetro de 50mm).

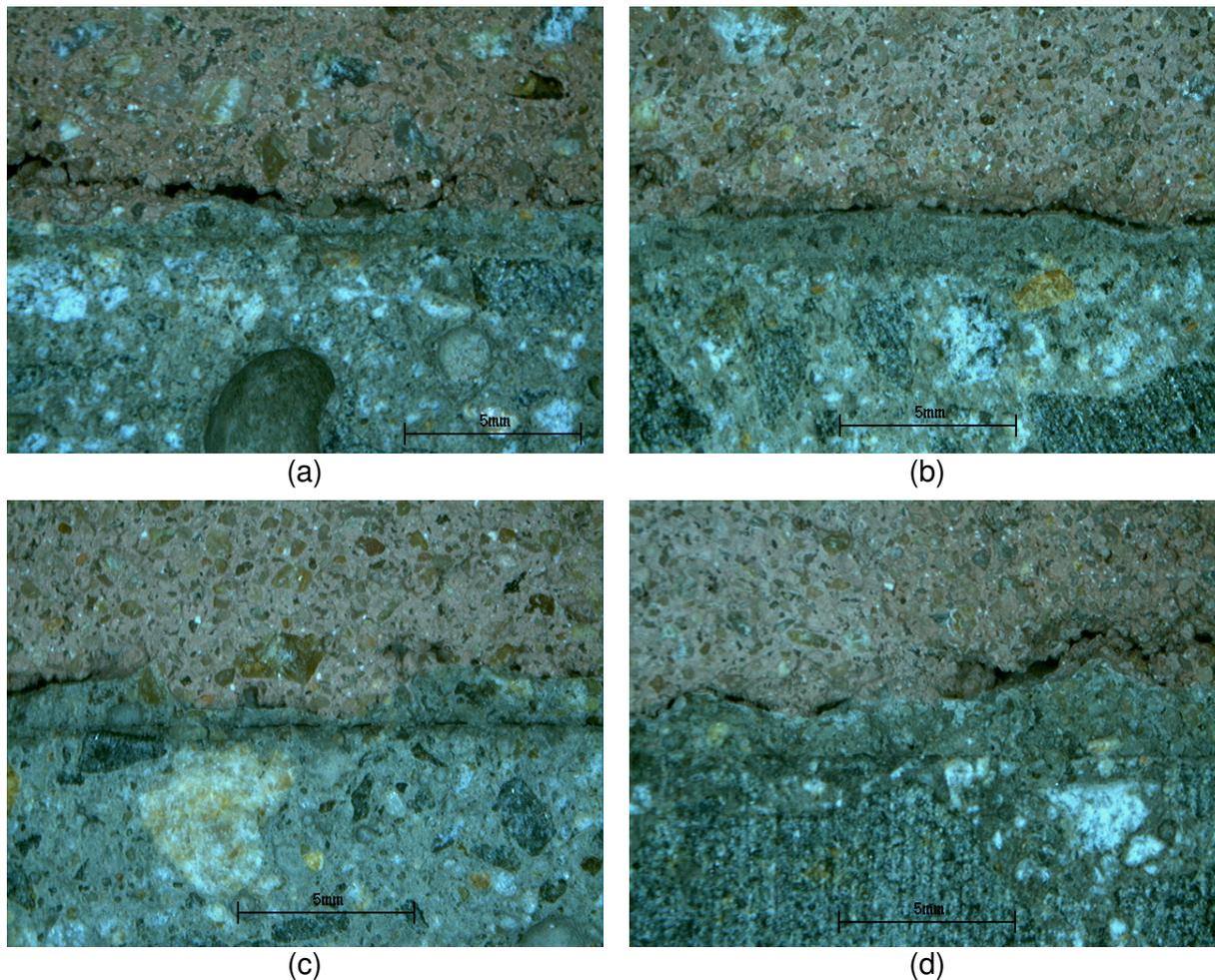


Figura 80: detalhes ampliados (5x) de falhas de aderência: (a) “CP IV 1:2” curado ao ambiente a 23 °C; (b) “CP IV 1:2” curado ao ambiente a 50 °C; (c) “CP IV 1:2” com cura úmida a 23 °C e (d) “CP II-Z 1:3” curado ao ambiente a 50 °C

A Figura 81 apresenta fotografias mostrando exemplos do contato entre as camadas constituintes dos revestimentos dos painéis com chapisco adesivo aplicado com desempenadeira, uma por tipo de cura do chapisco.

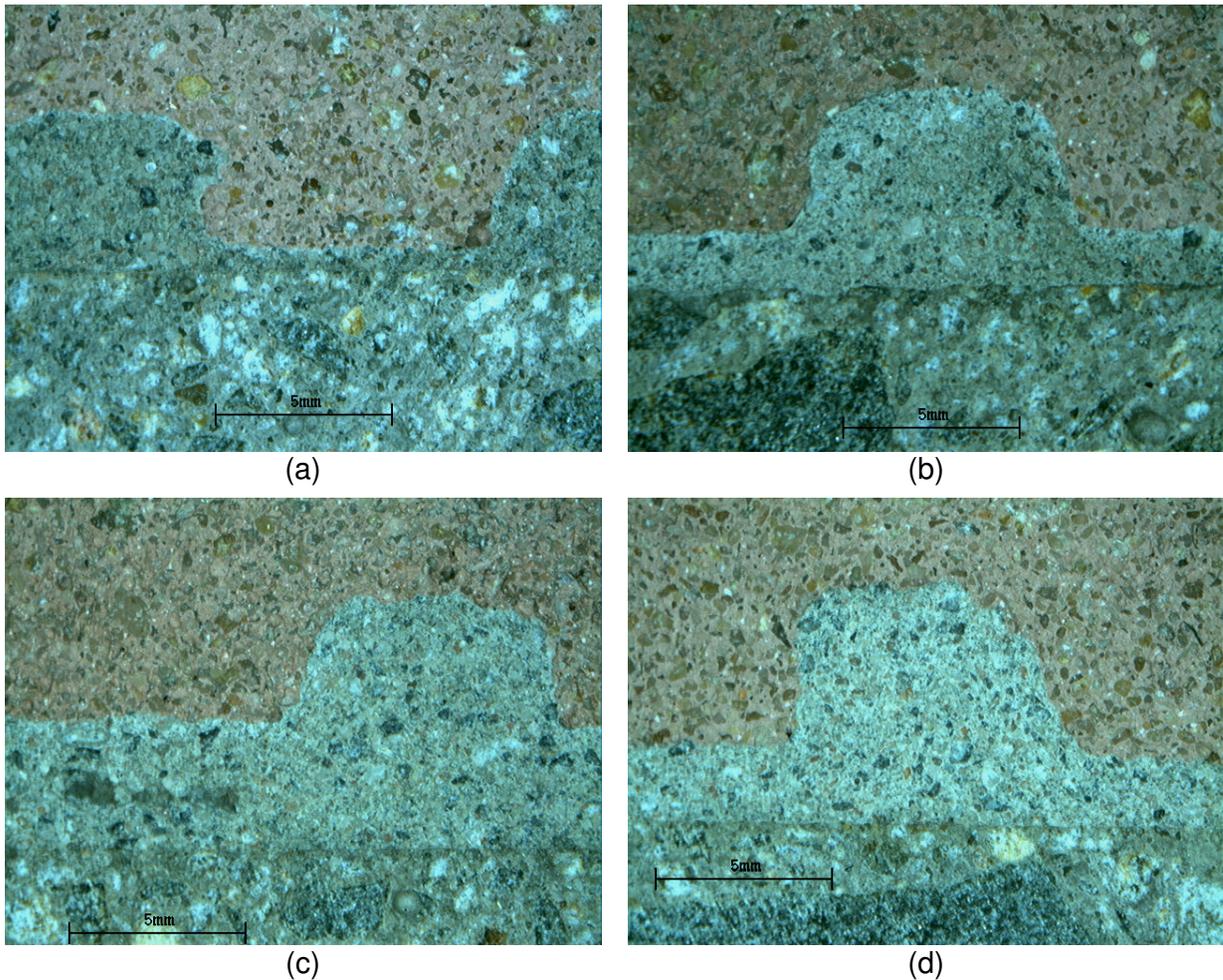


Figura 81: ampliação (5x) de fragmentos dos painéis com chapisco adesivo: (a) curado ao ambiente a 23 °C; (b) curado ao ambiente a 50 °C; (c) cura úmida a 23 °C e (d) cura úmida a 50 °C

Nestas imagens se percebe a boa extensão de aderência entre o revestimento e esta camada de preparo. A Figura 82 mostra detalhe, ampliado em 20 x, de uma interface entre chapisco adesivo e argamassa de revestimento.

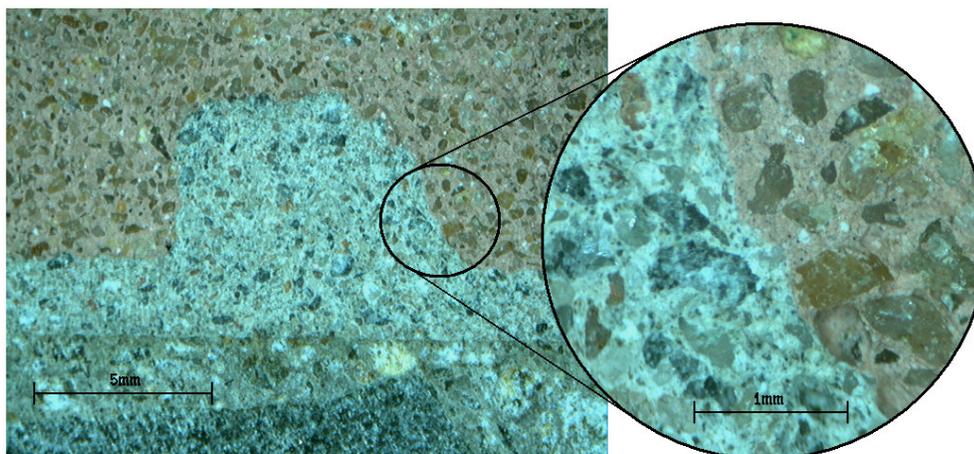


Figura 82: detalhe (aumento de 5 x e 20 x) de interface entre chapisco adesivo e argamassa de revestimento

Percebe-se também que a geometria dos cordões do chapisco adesivo forma uma área de contato com o emboço muito maior que os chapiscos convencionais, lembrando que todas as imagens estão na mesma escala, revelando uma vantagem deste tipo de material no que se refere à macroancoragem da argamassa de revestimento à camada de preparo. Com o objetivo de apenas ilustrar esta maior área de contato na interface chapisco/emboço dos chapiscos adesivos, duas imagens ampliadas de chapisco convencional e duas de chapisco adesivo foram usadas de exemplo e tiveram o comprimento da interface em questão quantificada (em escala), com uso do software AUTOCAD 2004, para comparação. A medição do comprimento, na verdade, refere-se à medição de uma linha desenhada a olho sobre a imagem, na tentativa de definir (grosseiramente) a interface argamassa de chapisco/argamassa de emboço (revestimento). A Figura 83 ilustra o procedimento.

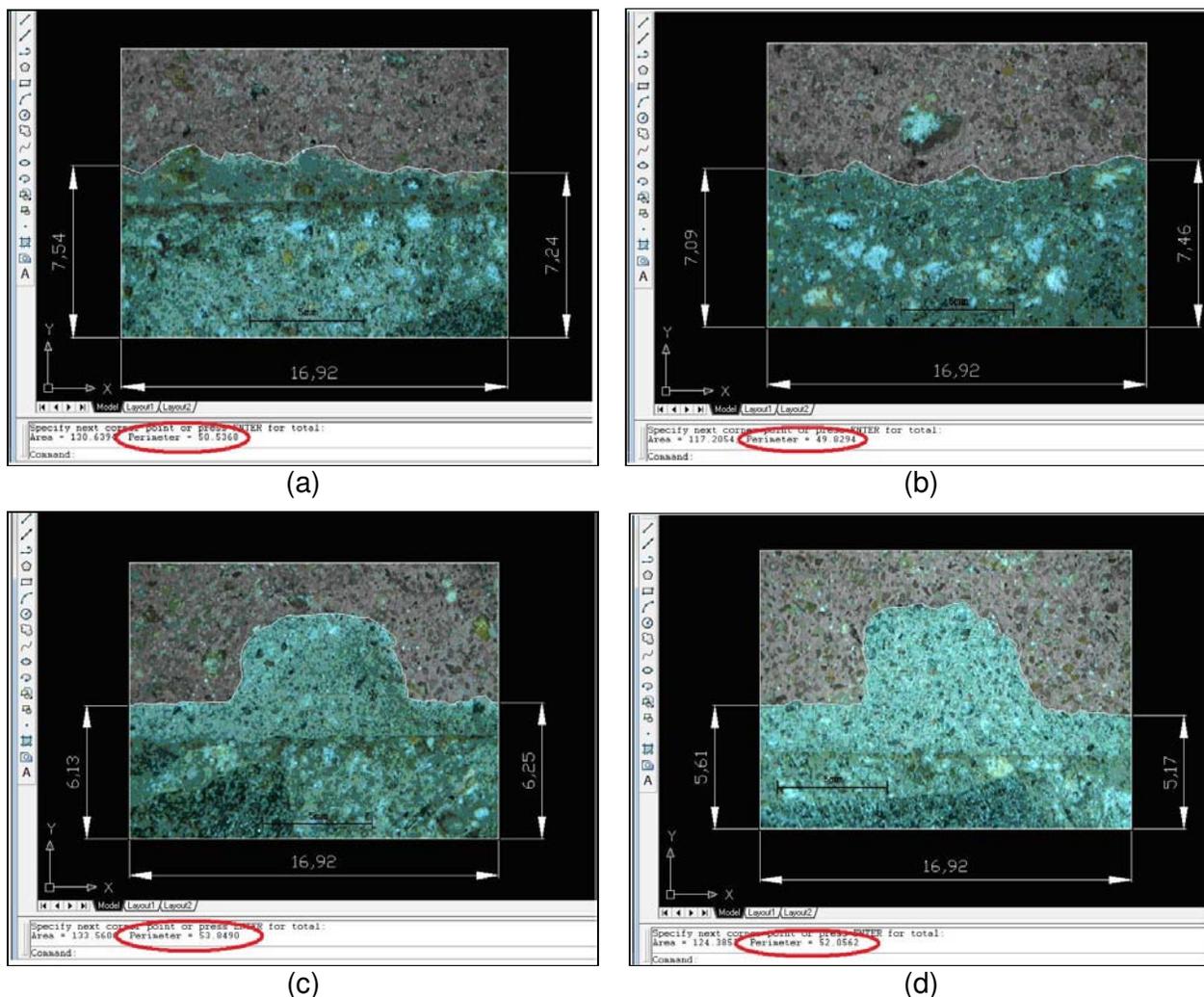


Figura 83: marcação e medição de perímetro (destacado) para determinação em escala do comprimento, em mm, da interface chapisco/emboço: (a) “CP IV 1:3” cura ambiente a 50°C; (b) “CP IV 1:3” cura úmida a 50°C; (c) chapisco adesivo cura ambiente a 50°C e (d) chapisco adesivo cura úmida a 50°C

Nas Equações 3 a 6 é realizado o cálculo do comprimento das interfaces de acordo com as imagens da Figura 83.

$$\text{CP IV 1:3 cura ambiente a } 50^{\circ}\text{C: } 50,54 - (16,92 + 7,54 + 7,24) = 18,84 \text{ mm} \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{CP IV 1:3 cura úmida a } 50^{\circ}\text{C: } 49,83 - (16,92 + 7,09 + 7,46) = 18,36 \text{ mm} \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{Adesivo cura ambiente a } 50^{\circ}\text{C: } 53,85 - (16,92 + 6,13 + 6,25) = 24,55 \text{ mm} \quad \text{Equação 5}$$

$$\text{Adesivo cura úmida a } 50^{\circ}\text{C: } 52,06 - (16,92 + 5,61 + 5,17) = 24,36 \text{ mm} \quad \text{Equação 6}$$

O comprimento somado das interfaces dos chapiscos adesivos (48,9 mm) foi aproximadamente 30% superior ao comprimento somado dos chapiscos convencionais do exemplo (37,2 mm), o que reforça a idéia de maior superfície de contato proporcionada pelos chapiscos desempenados para aplicação das argamassas de revestimento.

Estas observações, somadas aos resultados superiores de resistência mecânica da argamassa de chapisco adesivo e sua composição com aditivos de propriedade adesiva ao concreto, podem auxiliar na explicação dos maiores resultados de aderência ocorridos neste experimento.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi a verificação de possíveis influências da variação de condições de cura de diferentes argamassas de chapisco na resistência de aderência de revestimentos de argamassas aplicados em substratos de concreto estrutural. Para gerar resultados quantitativos que possibilitassem a verificação de efeitos significativos destes fatores foi realizado um experimento que proporcionou algumas observações sobre o tema em questão.

No experimento realizado, a temperatura de cura dos chapiscos foi considerada significativamente influente nos resultados de aderência. A variação de 23°C para 50°C durante o período de cura dos chapiscos resultou em queda de aproximadamente 50% nos resultados de resistência de aderência dos revestimentos de argamassa aplicados nos painéis confeccionados neste trabalho. Esta observação demonstra a importância da temperatura na cura das camadas de preparo e, conseqüentemente, a importância de cuidados que possam minimizar estes efeitos deletérios à resistência de aderência de revestimentos de argamassa.

Dos quatro tipos analisados de camada de preparo, o chapisco adesivo foi o material que apresentou os melhores resultados de aderência nos painéis ensaiados. Também foi o tipo de chapisco que obteve os maiores valores de resistência mecânica quando moldado em corpos-de-prova prismáticos, devido, provavelmente, à sua composição, menor quantidade de água na mistura e aditivos. Os revestimentos confeccionados sobre esta argamassa industrializada demonstraram resistências de aderência de 76,7% a 251,6% superiores aos chapiscos convencionais usados neste experimento.

Nas amostras confeccionadas neste trabalho, o chapisco adesivo apresentou, devido ao seu método de aplicação, uma superfície de interface entre chapisco e emboço superior a mesma interface nos chapiscos convencionais (chapados), o que deve contribuir para a maior aderência verificada nos painéis com este chapisco. Ainda foi constatado que este tipo de camada de preparo praticamente não apresentou ruptura na interface com o substrato de concreto (0,4% de ocorrência), o

que sugere a ótima aderência desta natureza de material a substratos pouco porosos como o concreto estrutural aqui representado.

Nos resultados mecânicos e de absorção dos corpos-de-prova moldados, os chapiscos convencionais se mostraram mais sensíveis às condições de cura que o chapisco adesivo, sugerindo que o desempenho destes chapiscos (convencionais) é mais dependente dos tratamentos de cura que o chapisco adesivo usado neste trabalho. Entre os tipos de chapiscos convencionais, foi significativa a diferença dos cimentos utilizados nestas camadas nos resultados de aderência de todo o sistema de revestimento de argamassa. Mesmo sendo produzido com menor teor de cimento e os mesmos agregados, o chapisco com CP II-Z 32 RS (traço 1:3 em volume) mostrou resultados de aderência significativamente superiores aos chapiscos preparados com CP IV 32 e traço 1:2 em volume, sugerindo uma desvantagem do uso de cimentos CP IV em camadas de preparo sobre concreto. Nos resultados dos ensaios mecânicos das argamassas de chapisco, o chapisco com CP II-Z apresentou melhores resultados que o chapisco com CP IV e mesmo traço em volume.

Na comparação dos resultados dos chapiscos curados ao ambiente com os que receberam cura úmida, não foi possível perceber diferenças significativas nos resultados de aderência dos revestimentos, o que se deve à possível inadequação do método de cura úmida das camadas de preparo (chapiscos) utilizado neste experimento. Possivelmente este método não alcançou o objetivo de amenizar a perda excessiva de água dos chapiscos para o ambiente, o que pode ter prejudicado a hidratação do cimento empregado, principalmente na cura a 50 °C.

No caso dos painéis que receberam chapiscos com CP IV a cura úmida representou queda da resistência de aderência, possivelmente devido a algum dano causado pela água aplicada sobre estes chapiscos e relacionado ao crescimento mais lento da resistência destes materiais devido ao maior teor de pozolana. Nestes painéis, a pequena espessura das camadas de chapisco (aproximadamente 3 mm) somada ao endurecimento mais lento, podem ter causado um enfraquecimento destas camadas e de suas interfaces com o substrato ou argamassa de revestimento, ao possibilitar

retração e aumento da porosidade na camada decorrente de sucessiva absorção e evaporação de água durante a cura úmida.

Porém, nos ensaios realizados nas amostras prismáticas das argamassas de chapisco (absorção por capilaridade e resistência à tração e compressão) foram percebidas alterações significativas devidas à cura úmida. Nestas amostras a cura úmida obteve efeito, como o aumento significativo dos resultados de resistência à compressão e a melhoria nos resultados das amostras curadas a 50°C.

Esta diferença entre o efeito das curas úmidas dos corpos-de-prova e dos painéis pode ser atribuída à pequena espessura das camadas de chapisco em comparação aos corpos-de-prova moldados, o que aumenta bastante a perda de água para o ambiente. Também deve-se considerar a influência da posição da manta sobre os dois tipos de amostra, onde nos painéis chapiscados a manta cobria os chapiscos verticalmente, permitindo que a água absorvida pela manta escorresse pela ação da gravidade. Nos corpos-de-prova, as mantas saturadas eram mantidas sobre as amostras na posição horizontal, retendo a umidade por muito mais tempo que os painéis.

Para embasar e justificar a importância do tema deste trabalho, realizou-se uma pesquisa em cima de dados de ensaios de resistência de aderência à tração realizados nos últimos dez anos em edificações e obras no estado do Rio Grande do Sul, por laboratório especializado em materiais de construção. Nesta pesquisa foi possível perceber que o substrato de concreto estrutural (geralmente vigas, pilares e fundos de lajes) apresenta significativamente menores valores de aderência em revestimentos de argamassa em comparação com os substratos de alvenaria. Ainda percebe-se nos revestimentos aplicados sobre concreto uma relação entre resultados com baixos valores de resistência de aderência e rupturas ocorridas no contato (interface) da argamassa de chapisco com o substrato de concreto, comportamento que se repetiu nos resultados do experimento realizado neste trabalho.

As observações anotadas neste trabalho buscaram, principalmente, alertar a importância de cuidados dispensados nos revestimentos de argamassa aplicados

em substratos de concreto, bem como motivar e auxiliar novas pesquisas e experimentos que venham a melhorar o entendimento técnico sobre o tema.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao iniciar um experimento como o realizado neste trabalho, pouco se imagina a quantidade de dúvidas e idéias relacionadas que podem surgir ao longo das atividades como planejamento e ensaios. Estas dúvidas e sugestões muitas vezes podem auxiliar no desenvolvimento de outros experimentos com propósitos semelhantes, o que acaba indiretamente complementando os trabalhos anteriores. Uma sugestão de trabalho seria uma análise mais profunda na influência da temperatura na cura dos chapiscos, analisando, por exemplo, o efeito de radiação direta de luz artificial, simulando a luz solar, e qual a influência do bloqueio ou atenuação desta na resistência de aderência de revestimentos de argamassa.

A outra sugestão deste trabalho seria a análise do desempenho de chapiscos adesivos aplicados em substratos de concreto de diferentes coeficientes de capilaridade e/ou absorvidade. O propósito deste tema seria verificar se a ligação deste tipo de chapisco aos substratos de concreto recebe a colaboração da microancoragem ou esta boa resistência de aderência é apenas atribuída às suas propriedades adesivas.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, J. A. S. **Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano**. Artigo 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, 2007.

AROZTEGUI, José Miguel. **DESEMPENHO TÉRMICO DE JANELAS: Contribuição para o estudo de uma regulamentação de conforto térmico natural nos edifícios**. Porto Alegre: Curso de pós-graduação em engenharia civil, UFRGS, 1984.

AFRIDI, M. U. K.; OHAMA Y.; IQBAL, M. Zafar; DEMURA, K. Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars. **Cement and Concrete Research**, n. 33, p. 1715-1721. 2003.

AFRIDI, M. U. K.; OHAMA Y.; IQBAL, M. Zafar; DEMURA, K. Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars. **Cement and Concrete Composites**, n. 17, p. 113-118. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7200**: Execução de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 12655**: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **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.

_____. **NBR 13.479**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13755**: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **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, 2005.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BALLESTER, P.; HIDALGO, A.; MÁRMOL, I.; MORALES, J.; SÁNCHEZ, L. Effect of brief heat-curing on microstructure and mechanical properties in fresh cement based mortars. **Cement and Concrete Research**, n. 39, p. 573–579. 2009.

BOLORINO, Heloísa; CINCOTTO, Maria Alba. **A INFLUÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO NAS ARGAMASSAS**. Artigo 2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Salvador, 1997.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Descolamento de Revestimentos de Argamassa Aplicados sobre Estruturas de Concreto – Estudos de casos brasileiros**. Artigo 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, 2007.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo; JUCÁ, Tatiana. **ESTUDO DE CASOS DE DESCOLAMENTO DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA APLICADO SOBRE ESTRUTURA DE CONCRETO**. Artigo 6º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005.

CARASEK, Helena; SCARTEZINI, Luís Maurício Bessa. **EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA MISTA**. Artigo 3º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Vitória, 1999.

CANDIA, Mario Collantes; FRANCO, Luiz Sérgio. **Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de**

Argamassa. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo: EPUSP, 1998.

CEOTTO, L. H.; BANDUCK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de Argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação.** Porto Alegre: ANTAC, 2005. 96 p.

COSTA, E.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.; ALMEIDA, S. **Avaliação do Método de Ensaio Brasileiro para Medida da Resistência de Aderência à Tração de Revestimentos de Argamassa.** Artigo 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, 2007.

ÇAKIR, Ö.; AKÖZ, F. Effect of curing conditions on the mortars with and without GGBFS. **Construction and Building Materials**, n. 22, p. 308–314. 2008.

GASPAR, P. L.; COLEN, I. F.; BRITO, J. **Técnicas de Diagnóstico e Classificação de Anomalias por Perda de Aderência em Rebocos.** Artigo 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, 2007.

GOTO, Seishi; ROY, Della M. The effect of w/c ratio and curing temperature on the permeability of hardened cement paste. **Cement and Concrete Research**, n. 11, p. 575-579. 1981.

HASSAN, K.E.; ROBERY, P.C.; AL-ALAWI, L. Effect of hot-dry curing environment on the intrinsic properties of repair materials. **Cement e Concrete Composites**. n. 22, p. 453-458. 2000.

<<http://www.geobrasil.com.br/geotexteis-geotextil-curacreto.htm>> Acesso em: 26 de junho de 2009 às 23h.

IOPPI, P. R. **Estudo da aderência de argamassas de revestimentos em substratos de concreto.** 1995. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; BREZEZINSKI, Débora Elisiane; COLLATTO, Décio. **INFLUÊNCIA DO TIPO E PREPARO DE SUBSTRATO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO E NA DISTRIBUIÇÃO DE POROS DE UMA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA.** Artigo 7º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, 2007.

MACEDO, Deyse; RIBEIRO, Pedro; MACHADO, Gustavo; CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo. **INFLUÊNCIA DO TEMPO ENTRE A APLICAÇÃO DO CHAPISCO ROLADO E A EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA NA ADERÊNCIA DO SISTEMA.** Artigo 7º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, 2007.

MALTASI, Y.; MARCHAND, J. INFLUENCE OF CURING TEMPERATURE ON CEMENT HIDRATION AND MECHANICAL STRENGTH DEVELOPMENT OF FLY ASH MORTARS. **Cement and Concrete Research**, n. 27, p. 1009-1020. 1997.

MESSLER, Robert W. **Joining of materials and structures**. Butterworth-Heinemann, 2004.

MIRZA, Wajahat H.; AL-NOURY, Soliman I.; AL-BEDAWI, Waleed H. Temperature Effect on Strength of Mortars and Concrete Containing Blended Cements. **Cement and Concrete Composites**, n. 13, p. 197-202. 1991.

MOURA, Cristiane Borges. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco**. Dissertação (mestrado em engenharia civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007. 173p.

NAKAKURA, Elza; MUNHOZ, Flavio A. C.; BATTAGIN, Arnaldo. **EVOLUÇÃO DA ADERÊNCIA EM SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA**. Artigo 8º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Curitiba, 2009.

OHAMA, Yoshihiko. Polymer-based Admixtures. **Cement and Concrete Composites**, n. 20, p. 189-212. 1998.

OLIVEIRA, Nikaelle Moraes de; CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo. **ESTUDO DE DESEMPENADEIRAS ALTERNATIVAS PARA APLICAÇÃO DO CHAPISCO COLANTE**. Artigo 8º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Curitiba, 2009.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. 2004. 242p. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília.

PASCAL, S.; ALLICHE, A.; PILVIN, Ph. Mechanical behavior of polymer modified mortars. **Materials Science and Engineering A**, n. 380, p. 1-8. 2004.

PEREIRA, Paulo César; CARASEK, Helena; FRANCINETE JR., Paulo. **INFLUÊNCIA DA CURA NO DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS COM ARGAMASSAS INORGÂNICAS**. Artigo 6º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005.

POLITO, Giulliano; JUNIOR, Antônio Neves de Carvalho; BRANDÃO, Paulo Roberto Gomes. **CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA INTERFACE ARGAMASSA MISTA / BLOCO CERÂMICO**. Artigo 8º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Curitiba, 2009.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa**. 2007. 180 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

PRETTO, Márcia Elisa Jacondino; PAGNUSSAT, Daniel Tregnago; BONIN, Luis Carlos; MASUERO, Angela Borges. **ANÁLISE DA RUGOSIDADE DE SUBSTRATOS DE CONCRETO COM DIFERENTES TRATAMENTOS**

SUPERFICIAIS, UTILIZANDO SCANNER TRIDIMENSIONAL A LASER. Artigo 8º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Curitiba, 2009.

RAMEZANIANPOUR, A. A.; MALHOTRA, V. M. Effect of Curing on the Compressive Strength, Resistance to Chloride-Ion Penetration and Porosity of Concretes Incorporating Slag, Fly Ash or Silica Fume. **Cement e Concrete Composites**, n. 17, p. 125-133. 1995.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.

REVISTA TÉCNICA. Artigo 32761. Disponível em:
<<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/88/artigo32761-1.asp>> Acesso em: 18 de abril de 2008.

RIBEIRO, Fabiana A.; CARDOSO, Francisco F.; BARROS, Mercia M.S.B. **CONTRIBUIÇÃO DA INDÚSTRIA DE ARGAMASSA PARA A CADEIA PRODUTIVA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Artigo 6º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005.

RIBEIRO, L. C.; LOPES, R.P. N. **As Argamassas na Antiguidade Greco-Romana: usos, definições e traduções.** Artigo 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, 2007.

RIVERO, Roberto O. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural.** Porto Alegre: Ed. D. C. Luzzato, UFRGS, 1985.

SANDIN, K. Mortars for Masonry and Rendering: choice and application. **Building Issues**, Lund, Sweden: Lund University, v. 7, n. 3, p. 03-18. 1995.

SCARTEZINI, Luís Maurício; CARASEK, Helena. **FATORES QUE EXERCEM INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSAS.** Artigo 5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, São Paulo, 2003.

SILVA, V. S. **ADERÊNCIA DE CHAPISCOS EM CONCRETOS ESTRUTURAIS – MELHORIA DA MICROESTRUTURA DA ZONA DE INTERFACE PELA ADIÇÃO DA SÍLICA DA CASCA DE ARROZ.** 2004. 229 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, Vanessa Silveira; GOMES, Adailton de Oliveira; MARQUES, Paulo Diego Prates; NERY, Roberta Almeida. **ADERÊNCIA DE CHAPISCOS COM ADITIVOS À BASE DE RESINA ACRÍLICA EM CONCRETOS ESTRUTURAIS.** Artigo 8º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, 2007.

SILVA, Vanessa S.; LIBÓRIO, Jefferson B.L. **AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SÍLICA EXTRAÍDA DA CASCA DE ARROZ NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS E CHAPISCOS.** Artigo 5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, São Paulo, 2003.

TAN, Kefeng; GJORV, Odd E. PERFORMANCE OF CONCRETE UNDER DIFFERENT CURING CONDITIONS. **Cement and Concrete Research**, n. 26, p. 355-361. 1996.

TEMOCHE-ESQUIVEL, Juan F.; RIBEIRO, Fabiana A.; BARROS, Mércia M. B.; SABBATINI, Fernando H. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO DO EMBOÇO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO CERÂMICO EXTERNO**. Artigo 6º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005.

APÊNDICE

Apêndice 1: Resultados dos ensaios de resistência de aderência do experimento

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO														
DATA (28d)	AMOSTRA	CP	Carga (kgf)	Carga (N)	DIÂMETRO (mm)		ÁREA (mm ²)	Resistência (MPa)	Espessura (mm)	Forma Ruptura* (%)				
					1º	2º				1	2	3	4	5
04/12/2008	CP IV 1:2 CURA AMBIENTE TEMPERATURA 23±2°C	1	76	745,3	54,4	54,5	2327,37	0,32	24		20		80	
		2	21	205,9	54,1	54,3	2306,05	0,09	24				100	
		3	75	735,5	54,3	54,3	2314,56	0,32	23		5		80	15
		4	33	323,6	54,3	54,4	2318,83	0,14	24		20		80	
		5	14	137,3	54,2	54,4	2314,56	0,06	24				100	
		6	83	814,0	54,3	54,4	2318,83	0,35	25		30		40	30
		7	18	176,5	54,3	54,2	2310,30	0,08	24		5		70	25
		8	53	519,8	54,2	54,3	2310,30	0,22	23				100	
		9	27	264,8	54,1	54,4	2310,30	0,11	25				100	
		10	39	382,5	54,3	54,4	2318,83	0,16	23		5		95	
		11	9	88,3	54,1	54,2	2301,79	0,04	23				90	10
		12	75	735,5	54,3	54,3	2314,56	0,32	22				80	20
	13	84	823,8	54,0	54,4	2306,05	0,36	25		40		60		
	14	31	304,0	54,3	54,4	2318,83	0,13	25		50		50		
	15	10	98,1	54,4	54,3	2318,83	0,04	26		35		65		
	16	56	549,2	54,4	54,4	2323,10	0,24	26		30		70		
	17	71	696,3	54,5	54,5	2331,65	0,30	26		30		70		
	18	62	608,0	54,4	54,6	2331,65	0,26	27		50		50		
	19	8	78,5	54,3	54,5	2323,10	0,03	28		20		80		
	20	11	107,9	54,3	54,3	2314,56	0,05	27		20		80		
	21	16	156,9	54,2	54,1	2301,79	0,07	27		25		75		
	22	20	196,1	54,5	54,3	2323,10	0,08	26		100				
	23	37	362,9	54,3	54,2	2310,30	0,16	27		30		70		
	24	56	549,2	54,4	54,3	2318,83	0,24	27		30		70		
	25	62	608,0	54,4	54,2	2314,56	0,26	25		25		75		
	26	27	264,8	54,6	54,3	2327,37	0,11	24		20		80		
	27	45	441,3	54,2	54,3	2310,30	0,19	25				100		
	28	34	333,4	54,4	54,3	2318,83	0,14	23		40		60		
	29	34	333,4	54,2	54,2	2306,05	0,14	23		10		80	10	
	30	51	500,2	54,3	54,1	2306,05	0,22	25		10		70	20	
	31	36	353,1	54,2	54,0	2297,55	0,15	25		50		50		
	32	83	814,0	54,1	54,2	2301,79	0,35	26		60		40		
	33	47	460,9	54,6	54,4	2331,65	0,20	27		30		70		
	34	34	333,4	54,2	54,3	2310,30	0,14	26		20		80		
	35	6	58,8	54,2	54,3	2310,30	0,03	26				90	10	
	36	42	411,9	54,3	54,4	2318,83	0,18	27				90	10	
	37	167	1637,8	54,1	54,1	2297,55	0,71	27			10	75	15	
	38	63	617,8	54,5	54,0	2310,30	0,27	26			20	70	10	
	39	32	313,8	54,0	54,3	2301,79	0,14	26			15	80	5	
	40	31	304,0	54,3	54,2	2310,30	0,13	23				95	5	
	41	124	1216,1	54,2	54,3	2310,30	0,53	24			30	30	40	
	42	123	1206,3	54,2	54,2	2306,05	0,52	27			20	70	10	
	43	72	706,1	54,3	54,2	2310,30	0,31	22				90	10	
	44	93	912,1	54,3	54,4	2318,83	0,39	24			10	90		
	45	54	529,6	54,3	54,2	2310,30	0,23	25			10	90		
	46	89	872,8	54,3	54,5	2323,10	0,38	22		10	20	70		
	47	31	304,0	54,4	54,3	2318,83	0,13	23				90	10	
	48	54	529,6	54,3	54,2	2310,30	0,23	24			10	90		

*Formas de Ruptura:

- 1) SUBSTRATO; 2) INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO; 3) CHAPISCO;
- 4) INTERFACE CHAPISCO/REBOCO; 5) REBOCO.

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO														
DATA (28d)	AMOSTRA	CP	Carga (kgf)	Carga (N)	DIÂMETRO (mm)		ÁREA (mm ²)	Resistência (MPa)	Espessura (mm)	Forma Ruptura* (%)				
					1 ^º	2 ^º				1	2	3	4	5
12/12/2008	CP IV 1:2 CURA ÚMIDA TEMPERATURA 23±2°C	49		0,0	54,2	54,3	2310,30	0,00	28		100			
		50		0,0	54,2	54,1	2301,79	0,00	26		100			
		51	50	490,4	54,1	54,0	2293,30	0,21	26		20		50	30
		52		0,0	54,2	54,2	2306,05	0,00	27		70	30		
		53		0,0	54,2	54,3	2310,30	0,00	27		80	20		
		54	6	58,8	54,0	54,1	2293,30	0,03	28		70		20	10
		55	3	29,4	54,3	54,2	2310,30	0,01	27		70	10	20	
		56	8	78,5	54,1	54,1	2297,55	0,03	28		80	20		
		57	8	78,5	54,1	54,2	2301,79	0,03	26		95		5	
		58	49	480,5	54,4	54,0	2306,05	0,21	28				85	15
	59	23	225,6	54,4	54,2	2314,56	0,10	28		70		20	10	
	60	16	156,9	54,2	54,4	2314,56	0,07	29		50		50		
	61		0,0	54,2	54,0	2297,55	0,00	22		90		10		
	62	32	313,8	54,0	54,1	2293,30	0,14	23				95	5	
	63	30	294,2	54,2	54,3	2310,30	0,13	23				95	5	
	64		0,0	54,2	54,0	2297,55	0,00	24		50		50		
	65		0,0	54,2	54,3	2310,30	0,00	23		100				
	66	90	882,6	54,2	54,1	2301,79	0,38	23				90	10	
	67		0,0	54,3	54,4	2318,83	0,00	23		100				
	68	4	39,2	54,2	54,1	2301,79	0,02	23		85		15		
	69	1	9,8	54,0	54,2	2297,55	0,00	23		90		10		
	70		0,0	54,2	54,4	2314,56	0,00	23		100				
	71	4	39,2	54,1	54,3	2306,05	0,02	22		60		40		
	72	2	19,6	54,2	54,2	2306,05	0,01	23		95		5		
	73	118	1157,2	54,2	54,2	2306,05	0,50	24				30	70	
	74	102	1000,3	54,2	54,2	2306,05	0,43	24				50	50	
	75	81	794,4	54,5	54,2	2318,83	0,34	25				70	30	
	76	18	176,5	54,2	54,5	2318,83	0,08	26		65		5	30	
	77	10	98,1	54,1	54,3	2306,05	0,04	26		80			20	
	78	63	617,8	54,1	54,3	2306,05	0,27	26			5	60	35	
	79	29	284,4	54,4	54,2	2314,56	0,12	26				60	40	
	80	72	706,1	54,2	54,3	2310,30	0,31	27		5		75	20	
	81	93	912,1	54,2	54,3	2310,30	0,39	27				60	40	
82	25	245,2	54,4	54,2	2314,56	0,11	27				80	20		
83	12	117,7	54,3	54,3	2314,56	0,05	28				100			
84	57	559,0	54,1	54,2	2301,79	0,24	27				100			
85	25	245,2	54,2	54,3	2310,30	0,11	23				80	20		
86	188	1843,7	54,4	54,2	2314,56	0,80	23				15	85		
87	80	784,6	54,1	54,3	2306,05	0,34	23				70	30		
88	162	1588,7	54,2	54,1	2301,79	0,69	22				40	60		
89	20	196,1	54,1	54,1	2297,55	0,09	23				70	30		
90	33	323,6	54,0	54,1	2293,30	0,14	22				70	30		
91	47	460,9	54,2	54,0	2297,55	0,20	22				80	20		
92	2	19,6	54,2	54,0	2297,55	0,01	21				70	30		
93	73	715,9	54,3	54,3	2314,56	0,31	21				60	40		
94	90	882,6	54,4	54,2	2314,56	0,38	21				60	40		
95	135	1323,9	54,2	54,1	2301,79	0,58	21				40	60		
96	64	627,6	54,3	54,0	2301,79	0,27	21				80	20		

*Formas de Ruptura:

- 1) SUBSTRATO; 2) INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO; 3) CHAPISCO;
- 4) INTERFACE CHAPISCO/REBOCO; 5) REBOCO.

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO														
DATA (28d)	AMOSTRA	CP	Carga (kgf)	Carga (N)	DIÂMETRO (mm)		ÁREA (mm ²)	Resistência (MPa)	Espessura (mm)	Forma Ruptura* (%)				
					1º	2º				1	2	3	4	5
18/12/2008	CP IV 1:2 CURA ÚMIDA TEMPERATURA 50±2°C	97	27	264,8	54,3	54,1	2306,05	0,11	22				100	
		98	13	127,5	54,1	54,1	2297,55	0,06	22				100	
		99	12	117,7	54,2	54,2	2306,05	0,05	21				100	
		100	23	225,6	54,2	54,0	2297,55	0,10	23				80	20
		101	0	0,0	54,1	54,2	2301,79	0,00	23				70	30
		102	12	117,7	54,2	54,2	2306,05	0,05	23				100	
		103	5	49,0	54,2	54,3	2310,30	0,02	24				80	20
		104		0,0	54,2	54,1	2301,79	0,00	24				90	10
		105	10	98,1	54,1	54,0	2293,30	0,04	23				100	
		106	5	49,0	54,1	54,2	2301,79	0,02	25				90	10
	107		0,0	54,2	54,4	2314,56	0,00	25				100		
	108	13	127,5	54,1	54,0	2293,30	0,06	25				95	5	
	109	11	107,9	54,1	54,4	2310,30	0,05	28		85			15	
	110	10	98,1	54,1	54,2	2301,79	0,04	28		50	20	20	10	
	111	17	166,7	54,2	54,0	2297,55	0,07	27				95	5	
	112		0,0	54,3	54,2	2310,30	0,00	28		20	60	20		
	113	12	117,7	54,4	54,2	2314,56	0,05	28		60	20	20		
	114	0	0,0	54,2	54,0	2297,55	0,00	27		40	50	10		
	115		0,0	54,2	54,1	2301,79	0,00	27		50	50			
	116	10	98,1	54,2	54,2	2306,05	0,04	26		40	20	40		
	117	0	0,0	54,1	54,2	2301,79	0,00	27		10	80	10		
	118	4	39,2	54,3	54,3	2314,56	0,02	25		70		30		
	119		0,0	54,3	54,2	2310,30	0,00	26		100				
	120	0	0,0	54,0	54,2	2297,55	0,00	27		90		10		
	121	27	264,8	54,3	54,3	2314,56	0,11	22				100		
	122	39	382,5	54,4	54,3	2318,83	0,16	23				90	10	
	123	53	519,8	54,3	54,3	2314,56	0,22	25				60	40	
	124	12	117,7	54,2	54,2	2306,05	0,05	24				100		
	125	53	519,8	54,4	54,1	2310,30	0,22	24				100		
	126	18	176,5	54,1	54,1	2297,55	0,08	25				90	10	
	127	9	88,3	54,2	54,2	2306,05	0,04	26				90	10	
	128	4	39,2	54,4	54,4	2323,10	0,02	25				90	10	
	129	6	58,8	54,3	54,1	2306,05	0,03	27				90	10	
	130	5	49,0	54,3	54,3	2314,56	0,02	28				90	10	
	131	8	78,5	54,3	54,4	2318,83	0,03	27				100		
	132	9	88,3	54,4	54,2	2314,56	0,04	28				90	10	
	133	17	166,7	54,2	54,2	2306,05	0,07	23				90	10	
	134	46	451,1	54,1	54,3	2306,05	0,20	23				60	40	
	135	37	362,9	54,2	54,2	2306,05	0,16	24				70	30	
	136	69	676,7	54,3	54,2	2310,30	0,29	24				40	60	
	137	38	372,7	54,3	54,3	2314,56	0,16	23			10	30	60	
	138	41	402,1	54,2	54,3	2310,30	0,17	25			10	70	20	
	139	70	686,5	54,4	54,5	2327,37	0,29	22				50	50	
	140	71	696,3	54,4	54,4	2323,10	0,30	23				40	60	
141	33	323,6	54,3	54,3	2314,56	0,14	23				50	50		
142	35	343,2	54,0	54,1	2293,30	0,15	22			20	40	40		
143	57	559,0	54,1	54,2	2301,79	0,24	22			20	50	30		
144	75	735,5	54,3	54,2	2310,30	0,32	22			5	25	70		

*Formas de Ruptura:

- 1) SUBSTRATO; 2) INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO; 3) CHAPISCO;
- 4) INTERFACE CHAPISCO/REBOCO; 5) REBOCO.

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO															
DATA (28d)	AMOSTRA	CP	Carga (kgf)	Carga (N)	DIÂMETRO (mm)		ÁREA (mm ²)	Resistência (MPa)	Espessura (mm)	Forma Ruptura* (%)					
					1º	2º				1	2	3	4	5	
25/12/2008	CP IV 1:2 CURA AMBIENTE TEMPERATURA 50±2°C	145	25	245,2	54,3	54,3	2314,56	0,11	27		10		90		
		146	24	235,4	54,4	54,2	2314,56	0,10	26		15		80	5	
		147	42	411,9	54,4	54,3	2318,83	0,18	26		25		75		
		148	5	49,0	54,2	54,0	2297,55	0,02	26		10		90		
		149	8	78,5	54,2	54,0	2297,55	0,03	24		50		50		
		150	5	49,0	54,3	54,2	2310,30	0,02	24					100	
		151	0	0,0	54,2	54,2	2306,05	0,00	24					100	
		152		0,0	54,2	54,2	2306,05	0,00	23					100	
		153	9	88,3	54,3	54,2	2310,30	0,04	23					100	
		154	20	196,1	54,3	54,3	2314,56	0,08	23		30		60	10	
		155	18	176,5	54,3	54,2	2310,30	0,08	23		20		80		
		156	9	88,3	54,2	54,1	2301,79	0,04	23					100	
	CP IV 1:3 CURA AMBIENTE TEMPERATURA 50±2°C	157	4	39,2	54,3	54,1	2306,05	0,02	24				80	20	
		158		0,0	54,4	54,3	2318,83	0,00	24		100				
		159		0,0	54,4	54,4	2323,10	0,00	24		100				
		160	28	274,6	54,2	54,3	2310,30	0,12	26		100				
		161	56	549,2	54,1	54,3	2306,05	0,24	25		50		40	10	
		162	25	245,2	54,3	54,3	2314,56	0,11	25		80		20		
		163	6	58,8	54,2	54,1	2301,79	0,03	27		15		75	10	
		164	6	58,8	54,0	54,1	2293,30	0,03	27		15		70	15	
		165	7	68,6	54,2	54,1	2301,79	0,03	27		40		50	10	
		166	29	284,4	54,2	54,4	2314,56	0,12	29		50		50		
	CP II-Z 1:3 CURA AMBIENTE TEMPERATURA 50±2°C	167	5	49,0	54,4	54,2	2314,56	0,02	29				100		
		168	6	58,8	54,3	54,4	2318,83	0,03	29		50		50		
		169	32	313,8	54,2	54,5	2318,83	0,14	26		60		40		
		170	36	353,1	54,3	54,4	2318,83	0,15	26		90		10		
		171	24	235,4	54,3	54,2	2310,30	0,10	27		80		20		
		172	36	353,1	54,2	54,3	2310,30	0,15	25				95	5	
		173	57	559,0	54,3	54,1	2306,05	0,24	25		30		70		
		174	20	196,1	54,3	54,1	2306,05	0,09	25		5		95		
175		8	78,5	54,4	54,2	2314,56	0,03	25				100			
176		14	137,3	54,2	54,4	2314,56	0,06	23		10		80	10		
177		19	186,3	54,3	54,2	2310,30	0,08	24		15		85			
178		15	147,1	54,4	54,4	2323,10	0,06	23		40		60			
ADESIVO CURA AMBIENTE TEMPERATURA 50±2°C	179	5	49,0	54,2	54,3	2310,30	0,02	24		10		80	10		
	180	20	196,1	54,2	54,3	2310,30	0,08	24				90	10		
	181	13	127,5	54,4	54,4	2323,10	0,05	22				90	10		
	182	54	529,6	54,2	54,3	2310,30	0,23	23			35	60	5		
	183	70	686,5	54,3	54,4	2318,83	0,30	22			35	60	5		
	184	23	225,6	54,2	54,2	2306,05	0,10	23				85	15		
	185	37	362,9	54,4	54,2	2314,56	0,16	24			25	70	5		
	186	103	1010,1	54,2	54,2	2306,05	0,44	24			40	60			
	187	32	313,8	54,3	54,2	2310,30	0,14	24			5	65	30		
	188	64	627,6	54,4	54,2	2314,56	0,27	26			20	70	10		
	189	13	127,5	54,2	54,2	2306,05	0,06	25			5	90	5		
	190	19	186,3	54,2	54,5	2318,83	0,08	28		10	20	50	20		
191	34	333,4	54,4	54,3	2318,83	0,14	27			30	70				
192	117	1147,4	54,4	54,1	2310,30	0,50	27			20	40	40			

*Formas de Ruptura:

- 1) SUBSTRATO; 2) INTERFACE SUBSTRATO/CHAPISCO; 3) CHAPISCO;
- 4) INTERFACE CHAPISCO/REBOCO; 5) REBOCO.