

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Anderson Augusto Müller

**AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE
CHAPISCO SOBRE SUBSTRATO DE CONCRETO**

Porto Alegre
dezembro 2010

ANDERSON AUGUSTO MÜLLER

**AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE
CHAPISCO SOBRE SUBSTRATO DE CONCRETO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero
Co-orientador: Daniel Tregnago Pagnussat

Porto Alegre
dezembro 2010

ANDERSON AUGUSTO MÜLLER

**AVALIAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE CHAPISCO
SOBRE SUBSTRATO DE CONCRETO**

Porto Alegre, dezembro de 2010

Prof.a. Angela Borges Masuero
Dr.a. pela UFRGS
Orientadora

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat
MSc. pela UFRGS
Co-orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (UCS)
MSc. pela UFRGS

Giselle Reis Antunes
MSc. pela UnB

Roberto Sukster
MSc. pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Antonio e Silvia Müller,
minha irmã Candida e minha namorada Karine. Que
durante todo Curso de Graduação estiveram do meu lado
me apoiando e incentivando.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos responsáveis, ou para alguns, os culpados, pelo que sou hoje, que sempre me apoiaram, incentivaram e me ensinaram princípios, meus pais Antonio e Silvia. Quero deixar registrado aqui também minha gratidão aos meus avós Almiro e Maria Weiss, que sempre fizeram questão de estar presentes na vida dos seus netos, de fato são pessoas especiais. Minha irmã Candida, apesar de ela ter roubado meu espaço, sempre que necessário estava disponível para me ajudar, valeu Néni.

Quero fazer um agradecimento especial para Karine, pelo incentivo e compreensão durante este trabalho, tenho certeza de que não foi fácil me aguentar.

À minha orientadora e amiga Professora Angela Borges Masuero, não apenas por ter me orientado neste trabalho, mas sim por toda dedicação e paciência ao longo de boa parte da graduação.

Ao Professor Daniel Tregnago Pagnussat, por todo apoio, amizade e colaboração em minha formação e neste trabalho.

Agradecer também à Luciana Cordeiro, que sempre esteve disponível para colaborar no que fosse preciso.

À Carina, dividindo espaço e idéias, e colaborando muito no desenvolvimento experimental do trabalho.

À Juliana Senisse sempre disposta a ajudar, e a discutir sobre qualquer assunto.

Ao Professor Bonin pelas idéias e discussões pertinentes, ajudando bastante em clarear as idéias.

Ao Mauro, amigo e colega, pela força no laboratório, apesar do bico, ajudou muito. Também aos bolsistas do Norie, Marlon, Raquel, Patrícia, Camila, Pricila e ao Almeidinha. Sem esquecer dos malas do laboratório, Gilmar e o Airton.

Agradecer também a EGL, que através do Roberto Sukster colaborou com materiais e transporte quando necessário.

Também à todos, mesmo que não citados, mas colaboraram de alguma forma.

Se for fazer alguma coisa, procure fazer bem feito, ou nem
comece!

Autor desconhecido

RESUMO

MÜLLER, A. A. **Avaliação da Aderência dos Diferentes Tipos de Chapisco Sobre Substrato de Concreto**. 2010. 74 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O sistema de revestimento de argamassa é uma tecnologia construtiva que há séculos vem sendo empregada. Em função da variabilidade dos materiais e da mão de obra utilizada, observa-se a incidência de manifestações patológicas como, principalmente, fissuração e descolamentos por deficiência de aderência. Neste contexto, este trabalho buscou avaliar a influência da camada de chapisco, na resistência de aderência de revestimentos aplicados sobre substratos de concreto. Após a aplicação dos diferentes tipos de chapisco utilizados (desempenado, convencional e rolado), sobre substrato de concreto com resistência a compressão de 35 MPa, utilizado em três diferentes condições (seco, úmido e saturado), foram realizados os ensaios de aderência do chapisco a partir do ensaio descrito pela NBR 13528/2010. Todos os chapiscos estudados tiveram resultados satisfatórios, atingindo a resistência à tração mínima exigida pela Norma. Os melhores resultados foram obtidos com o chapisco rolado, desempenado e lançado com colher, respectivamente. A saturação do substrato levou a uma redução na resistência de aderência à tração de todos os tipos de chapiscos estudado.

Palavras-chave: resistência de aderência à tração; sistema de revestimento de argamassa; chapisco; substrato de concreto; NBR 13528.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama das etapas da pesquisa	16
Figura 2: representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa de cimento e cal e blocos cerâmicos	20
Figura 3: formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco	23
Figura 4: características dos substratos de aplicação do revestimento	27
Figura 5: superfície de concreto preparada com chapisco desempenado, para aumentar a rugosidade, gerou uma menor extensão de aderência	27
Figura 6: aplicação do chapisco lançado com colher	32
Figura 7: aplicação do chapisco desempenado	33
Figura 8: aplicação do chapisco rolado	33
Figura 9: superfície com aplicação de chapisco lançado com colher	34
Figura 10: superfície com aplicação de chapisco desempenado	35
Figura 11: superfície com aplicação de chapisco rolado	36
Figura 12: principais características da argamassa, nos estados fresco e endurecido	38
Figura 13: modelo de aderência da argamassa ao substrato	41
Figura 14: fissuração da argamassa por retração na secagem, argamassa com alto e baixo teor de cimento	42
Figura 15: matriz experimental	45
Figura 16: nomenclatura utilizada para a identificação dos corpos de prova	46
Figura 17: remoção do fundo de fôrma que garantiu uma base homogênea	48
Figura 18: cura submersa dos substratos	48
Figura 19: substratos em ambiente controlado de secagem	49
Figura 20: processo manual de escovação do substrato	49
Figura 21: processo de saturação do substrato	50
Figura 22: processo de umedecimento do substrato	50
Figura 23: aplicação do chapisco lançado com colher	56
Figura 24: rolo e bandeja utilizados para a aplicação do chapisco rolado	56
Figura 25: aplicação do chapisco com placa na horizontal	57
Figura 26: aplicação do chapisco desempenado	57
Figura 27: espaçamento de 50 mm entre arrancamentos	58
Figura 28: aderímetro digital	58
Figura 29: umidade e temperatura de início e fim de ensaio	62
Figura 30: rupturas possíveis no programa experimental	62

Figura 31: efeito isolado do tipo de chapisco na resistência de aderência à tração	67
Figura 32: resistência de aderência à tração em função da umidade do substrato	68
Figura 33: interação entre o tipo de chapisco com o tratamento superficial da base	69
Figura 34: interação entre o tipo de chapisco com a condição de umidade do substrato .	70
Figura 35: interação entre a condição de umidade e tratamento superficial do substrato	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: resistência potencial de aderência à tração	22
Quadro 2: limites de resistência de aderência à tração (R_a) para emboço e camada única	22
Quadro 3: imagens das superfícies de concreto com diferentes tratamentos	29
Quadro 4: distribuição dos ensaios	47
Quadro 5: caracterização do cimento utilizado	51
Quadro 6: caracterização da areia utilizada na confecção do concreto	52
Quadro 7: caracterização da areia (chapisco)	52
Quadro 8: caracterização do agregado graúdo	53
Quadro 9: proporcionamento do concreto utilizado na confecção dos substratos	54
Quadro 10: proporções utilizadas nas argamassas dos chapiscos	55
Quadro 11: resultados de resistência à compressão dos concretos utilizados como substrato	59
Quadro 12: resultados de resistência à tração na flexão e à compressão segundo a NBR 13279/2005	61
Quadro 13: resistência de aderência à tração e forma de ruptura de cada condição, para o chapisco lançado com colher, convencional (C)	63
Quadro 14: resistência de aderência à tração e forma de ruptura de cada condição, para o chapisco rolado (R)	64
Quadro 15: resistência de aderência à tração e forma de ruptura de cada condição, para o chapisco desempenado (D)	65
Quadro 16: análise de variância da resistência de aderência à tração	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVO DO TRABALHO	13
2.2.1 Objetivo principal	13
2.2.2 Objetivos secundários	13
2.3 HIPÓTESES	14
2.4 PRESSUPOSTOS	14
2.5 PREMISSAS	15
2.6 DELIMITAÇÕES	15
2.7 LIMITAÇÕES	15
2.8 DELINEAMENTO DA PESQUISA	15
3 SISTEMA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	18
3.1 ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA AOS SUBSTRATOS	19
3.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	22
3.3 BASE OU SUBSTRATO	24
3.4 CAMADA DE PREPARO (CHAPISCO)	30
3.4.1 Chapisco lançado com colher	33
3.4.2 Chapisco desempenado	35
3.4.3 Chapisco rolado	36
3.5 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	37
3.5.1 Propriedades das argamassas no estado fresco	38
3.5.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido	43
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL	45
5.1 METODOLOGIA	46
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	51
5.2.1 Cimento	51
5.2.2 Areia (concreto)	51
5.2.3 Areia (chapisco lançado com colher)	52
5.2.4 Agregado graúdo	52
5.2.5 Água	53

5.2.6 Argamassa para chapiscos desempenado e rolado	53
5.3 PRODUÇÃO DOS SUBSTRATOS DE CONCRETO	53
5.3.1 Dosagem dos materiais para a confecção do concreto	53
5.3.2 Moldagem das placas utilizadas como substrato	54
5.4 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA O CHAPISCO	54
5.5 APLICAÇÃO DO CHAPISCO	55
5.5.1 Chapisco lançado com colher	56
5.5.2 Chapisco rolado	56
5.5.3 Chapisco desempenado	57
5.6 ENSAIO DE ADERÊNCIA	58
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
6.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS	59
6.1.1 Resistência à compressão do concreto	59
6.1.2 Resistência à compressão e à tração na flexão das argamassas dos chapiscos.	60
6.2 RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA	61
6.3 ANÁLISES DOS RESULTADOS	66
7 CONCLUSÕES FINAIS	72
REFERENCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

O sistema de revestimento de argamassa em paredes e tetos representa uma das técnicas mais aplicadas atualmente em obras de edificações. Apesar de ser uma técnica bastante antiga e difundida, tem apresentado diferentes e expressivas manifestações patológicas. Dentre elas destacam-se as seguintes:

- a) aparecimento de fissuras;
- b) descolamento por aderência insuficiente;
- c) manchamento;
- d) biodeterioração.

Contribuindo para esta situação, o desenvolvimento de concretos de maior desempenho, elevou a resistência mecânica reduzindo a porosidade dos mesmos, contribuindo para uma maior incidência de aderência deficiente entre substrato e revestimento. Apesar das propriedades das argamassas também influenciarem na aderência do sistema, não representam o único fator determinante da qualidade de um revestimento, sendo necessário melhorar a compreensão do fenômeno de aderência entre a base e o revestimento de argamassa.

Neste sentido, o preparo da base tem a função de melhorar tanto a adesão inicial, quanto a aderência do revestimento. Esta etapa envolve uma série de procedimentos, tais como limpeza, aumento da rugosidade superficial utilizando algum tratamento mecânico (escovação ou lixação, por exemplo) e a aplicação do chapisco sobre o substrato. Neste trabalho é apresentado um estudo que visa contribuir para o entendimento do sistema de revestimento de argamassa analisado particularmente o preparo do substrato.

2 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa deste trabalho consiste no desenvolvimento de um programa experimental que é descrito nos próximos itens deste capítulo.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Qual a influência das condições do substrato na resistência de aderência à tração de chapiscos?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

A seguir são descritos os objetivos principal e secundários deste trabalho.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho consiste na avaliação da influência do preparo superficial do substrato na resistência de aderência à tração do chapisco.

2.2.2 Objetivos secundários

Como objetivos secundários buscou-se avaliar a influência de algumas variáveis vinculadas ao preparo superficial na resistência de aderência à tração, quais sejam:

- a) tipo de chapisco;
- b) umidade do substrato;
- c) tipo de preparo superficial.

2.3 HIPÓTESES

As hipóteses deste trabalho são de os revestimentos de argamassa apresentam diferentes comportamentos no ensaio de arrancamento frente as prescrições da norma NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), dependendo do preparo superficial, sendo eles:

- a) utilizando-se um substrato úmido ou saturado, ocorre a diminuição da resistência de aderência à tração de todos os chapiscos estudados;
- b) a aderência dos chapiscos desempenado e rolado sobre substratos de concreto é superior a do chapisco lançado com colher, dentro de uma mesma condição de controle;
- c) a escovação do substrato de concreto melhora o desempenho da resistência de aderência à tração, quando se utiliza o chapisco lançado com colher;
- d) quando são utilizados chapiscos rolados ou desempenados, a resistência de aderência à tração mínima exigida não está necessariamente condicionada ao processo de escovação do substrato.

2.4 PRESSUPOSTOS

Como pressuposto deste trabalho, considerou-se que o ensaio de resistência de aderência à tração definido pela NBR 13528/2010 permite identificar corretamente a aderência do chapisco aplicado sobre um substrato de concreto, independente das variáveis estudadas. Também constituiu-se em um pressuposto deste trabalho que, selecionados os materiais e as variáveis de pesquisa, quaisquer outros fatores de variabilidade podem ser desconsiderados para efeito de análise, sem afetar o julgamento final dos fatores estudados.

2.5 PREMISSAS

À medida que variam as matérias-primas, características e condições de cura de materiais de construção empregados em revestimentos de argamassa, alteram-se algumas das propriedades destes revestimentos, permitindo assim, através da análise do comportamento destes a seleção de melhores soluções para o sistema.

2.6 DELIMITAÇÕES

Este trabalho delimitou o uso do concreto como único tipo de substrato estudado, sob duas variáveis de tratamento superficial, a escovação e a condição de umidade. Para a camada de preparo foram utilizados três tipos de chapisco, lançado manualmente com colher, aplicado com rolo e com desempenadeira.

2.7 LIMITAÇÕES

As limitações deste trabalho estão descritas a seguir:

- a) o substrato utilizado foi o concreto convencional de cimento Portland com resistência à compressão característica de 35 MPa;
- b) não foi avaliado o comportamento final do sistema de revestimento de argamassa, somente a aderência do chapisco.

2.8 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento deste trabalho abrange as seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição dos tipos de chapiscos;
- c) desenvolvimento do método experimental;
- d) execução dos experimentos;
- e) análise dos resultados obtidos;
- f) considerações e conclusões finais.

A representação esquemática das etapas anteriormente citadas é apresentada no diagrama da figura 1, sendo as etapas detalhadas a seguir.

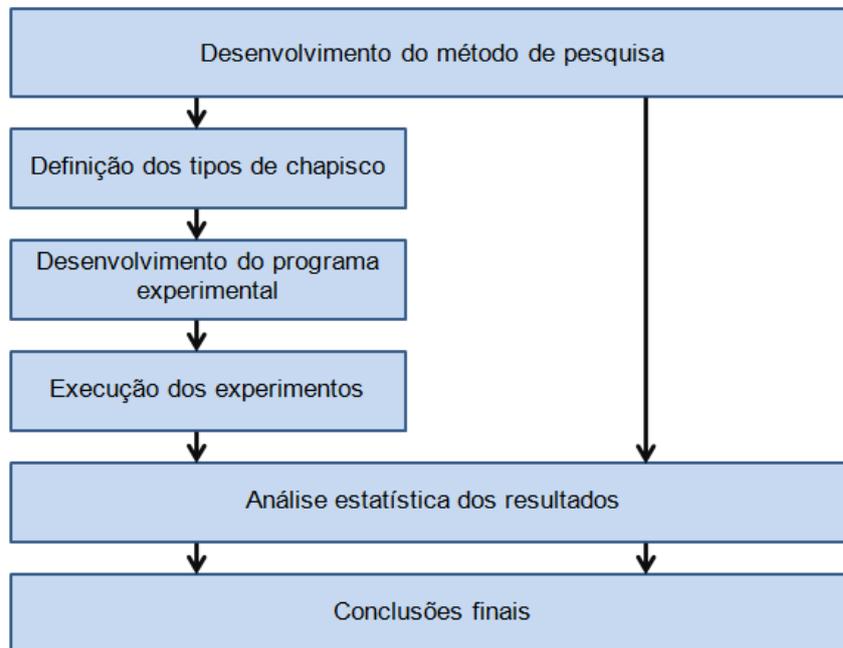


Figura 1: diagrama das etapas da pesquisa

O trabalho teve início com a **pesquisa bibliográfica** que focou o estudo do revestimento de argamassa, buscando compreender o sistema como um todo, porém com ênfase na compreensão do comportamento da sua resistência de aderência frente à aplicação sobre substratos de concreto com camada de preparo de chapisco. Realizada esta primeira etapa, se iniciou o **desenvolvimento do programa experimental**, onde se buscou estabelecer padrões e métodos de ensaio que possibilitassem comparações com outros trabalhos semelhantes já executados.

Após este estudo prévio, foram **executados os experimentos**. Iniciaram-se os ensaios com a confecção do substrato (blocos monolíticos de concreto, que foram utilizados nas diferentes condições anteriormente propostas), foram aplicados sobre este substrato, os três diferentes tipos de chapiscos previamente estabelecidos. Com as diferentes combinações, foram executados os ensaios de arrancamento e de caracterização dos materiais utilizados, mediante as prescrições normativas.

Com os resultados dos ensaios partiu-se para a **análise estatística dos mesmos**, onde utilizando programas estatísticos, foi verificada a influência de cada uma das variáveis na resistência de aderência encontrada. Finalizando, realizaram-se as **conclusões finais**, onde através dos resultados encontrados foi avaliado qual o efeito das variáveis estudadas sobre a resistência de aderência à tração do chapisco sobre o substrato de concreto.

3 SISTEMA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Segundo a NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995, p. 1) o sistema de revestimento pode ser definido como o “Conjunto formado por revestimento de argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.”. O conceito de sistema de revestimento carrega consigo os conceitos relativos aos componentes que o integram. Basicamente este sistema é composto por uma base, ou substrato que deve receber o revestimento de argamassa. Quando este não se mostra apto a receber este revestimento, faz-se necessário melhorar suas características para o uso, através de uma camada de preparo, chamada chapisco. Podendo a partir da mesma Norma, conceituar-se cada um destes componentes como:

- a) **base ou substrato:** “Parede ou teto constituído por material inorgânico, não-metálico, sobre os quais o revestimento é aplicado.”;
- b) **camada de preparo: chapisco:** “Camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.”;
- c) **revestimento de argamassa:** “Cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final.”.

Segundo Baía e Sabbatini (2001, p. 13), o sistema de revestimento de argamassa auxilia os elementos de vedação no desempenho termo-acústico e estanqueidade tanto à água quanto aos gases. Ele também tem a função de regularizar o substrato, servindo como base para outros acabamentos ou constituindo-se no próprio acabamento final, contribuindo para com a estética da edificação. Complementando isto, Perez¹ (1985 apud MOURA, 2007, p. 22) afirma que o sistema de revestimento de argamassa pode representar 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e ser responsável por 70 a 100% da estanqueidade de uma edificação.

¹ PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações**. 1985. 272 f. Dissertação, (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

3.1 ADERÊNCIA DO SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA AOS SUBSTRATOS

Uma das principais características referentes ao desempenho de um revestimento é a aderência. Propriedade esta, que é influenciada pelos materiais constituintes da argamassa, pela forma de mistura, energia de impacto imposta no momento de sua aplicação e as características do substrato. Segundo Antunes (2005, p. 25) a aderência é uma propriedade essencialmente mecânica, sendo o conceito de extensão de aderência a principal explicação para os defeitos de aderência, e como forma de avaliação, apresenta-se o ensaio de resistência de aderência à tração ou cisalhamento. Carasek² (1996 apud PAES, 2004, p. 26) também afirma que a aderência é um fenômeno mecânico devido à penetração da pasta nos poros ou pela rugosidade do substrato (extensão de aderência) promovendo a ancoragem entre a argamassa e a base, sendo esta parcela decorrente do intertravamento principalmente da etringita, produto de hidratação do cimento, no interior dos poros da base, conforme modelo da figura 2. Paes³ (2004, p. 27), assim como os autores anteriormente citados, também afirma que o efeito mecânico é predominante, mas pondera a existência de uma parcela da aderência, possivelmente inferior a 10%, provenientes de ligações polares covalentes entre os átomos do cimento e do substrato. Desta forma é possível afirmar que o conjunto de penetração de pasta nos poros, ligações superficiais e a extensão de aderência da própria argamassa, resultam na resistência de aderência final do revestimento.

De forma geral, uma falha na aderência pode ser função de diversos fatores. No caso de ausência de contato, apresenta-se uma falha na extensão de aderência, que pode ser definida como sendo a razão entre a área de contato efetivo e a área disponível (grau de contato do substrato com a argamassa). Então a extensão de aderência avalia indiretamente os defeitos na interface substrato revestimento (ANTUNES, 2005, p. 25).

² CARASEK, H. **Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Substratos Porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

³ Neste trecho do texto o autor citado que consultou o trabalho de Kampf, de 1963, cujo título é *Factors afflicting bond of mortar to brick*, que teria sido publicado no *Symposium on Masonry Testing da American Society for Testing and Materials*. Foi publicado no *ASTM Special Technical Publication*, 320, nas p. 127-142.

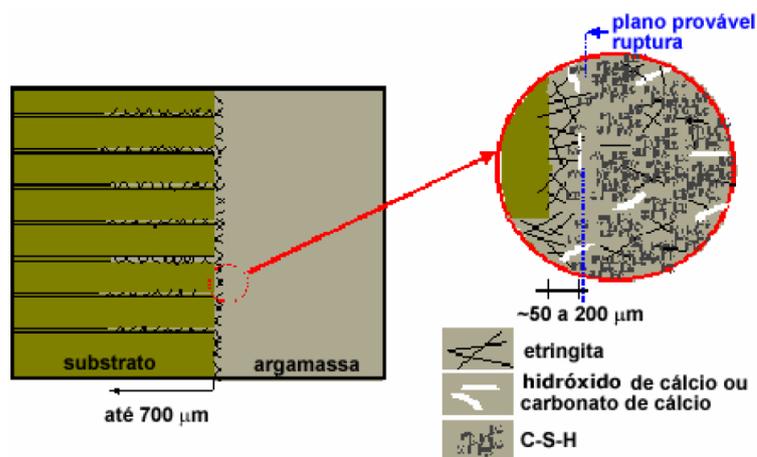


Figura 2: representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa de cimento e cal e blocos cerâmicos (CARASEK⁴, 1996 apud PAES, 2004, p. 27)

Segundo o modelo apresentado por Antunes (2005, p. 28), nos primeiros instantes, logo após a aplicação da argamassa, os fenômenos que atuam são a evaporação e a sucção da base. Esta perda de água para ambiente é mais rápida no início e perde velocidade à medida que o diâmetro dos capilares diminui (DÉTRICHÉ et al.⁵, 1984 apud ANTUNES, 2005, p. 29).

A movimentação de água ocorre tão logo a argamassa seja colocada em contato com o substrato, que possui capilares não saturados. Os raios médios dos capilares da argamassa geralmente são superiores aos capilares da base, o que estabelece o sentido do movimento de água, da argamassa para o substrato. Este movimento gera um **aperto mecânico** das partículas sólidas da argamassa causando a diminuição dos capilares, citada anteriormente, gerando retração plástica da argamassa (PAES, 2004, p. 31).

A sucção da base ocorre devido ao fenômeno de absorção capilar, devido ao menor potencial hidrostático da base em relação à argamassa, desequilíbrio de forças devido à sucção capilar. O processo de transporte de água da argamassa para o interior do substrato, por capilaridade, se processa rapidamente e, a continuidade do fenômeno, depende do sistema de poros: volume, diâmetros e conectividade. Isto controlará o mecanismo de difusão de água na interface saturada na fase anterior (PAES, 2004, p. 16).

⁴ CARASEK, H. **Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Substratos Porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

⁵ DÉTRICHÉ, C. H.; GALLIAS, J. L.; GRANDET, J.; MASO, J. C. Mouvements d'eau, hydratation et comportement mécanique des mortiers d'enduit. **Matériaux et construction**, v. 17, n. 100, 1984, p. 297-302.

Segundo Antunes (2005, p. 26), a sucção é influenciada pela área de contato entre a base e o substrato, uma área maior de contato, representa uma maior quantidade de poros capilares disponíveis. O fenômeno depende da reologia da argamassa e das características superficiais do substrato, sendo necessária a adequação entre a base e o substrato. Nesta etapa inicial de contato entre a argamassa e o substrato, partículas e íons são carregados para o interior dos poros. A etringita é um dos primeiros hidratos a se cristalizar, o que explica sua presença nos poros e na interface. Segundo Paes (2004, p 16), à medida que, os capilares da argamassa diminuem, a diferença de potencial hidrostático entre a base e a argamassa tende a zero, interrompendo o fluxo de água.

Após este período inicial, “[...] quando não há mais saturação, os agregados se tocam formando uma rede tridimensional que irá restringir a retração.” (BASTOS⁶, 2001 apud ANTUNES 2005, p. 29). A partir desta mudança na reologia da argamassa pode-se realizar o sarrafeamento, ao passo que diminui o volume de água disponível aumenta a concentração iônica, possibilitando a uma maior formação de compostos hidratados. Na mesma etapa, com a rápida formação do C-S-H (Silicato de cálcio hidratado, C = CaO; S = Al₂O₃; H = H₂O), os produtos de hidratação entram em contato formando uma rede cristalina que é responsável pela aderência e a coesão da argamassa. Este processo de hidratação do cimento continua enquanto houver cimento anidro ou haja água disponível para que as reações ocorram. A variação da morfologia e concentração dos produtos de hidratação do cimento encontrados nos poros e na região de interface, influenciam na aderência do revestimento (ANTUNES 2005, p. 30).

A retração química é resultante das reações de hidratação que ocorrem com a passagem do tempo, ela ocorre quando a maior parte do silicato de cálcio for hidratado. Também ocorre a retração por secagem que depende das condições ambientais. Como efeito da retração pode ocorrer redução na aderência e na coesão, decorrentes da microfissuração gerada pelo surgimento de tensões de tração na argamassa (ANTUNES, 2005, p. 32).

Nos próximos itens deste capítulo são tratados os fenômenos que regem formação da aderência à tração especificamente no que diz respeito a cada um dos componentes do sistema de revestimento de argamassa.

⁶ BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

3.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

De forma a avaliar os requisitos mínimos exigíveis, para argamassas de assentamento e de revestimento de tetos e paredes a Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece a NBR 13281/2005. No quadro 1 são apresentados os requisitos mínimos referentes à resistência potencial de aderência à tração estabelecida pela mesma Norma.

CLASSE	RESISTÊNCIA POTENCIAL DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO MPa	MÉTODO DE ENSAIO
A1	< 0,20	ABNT NBR 15258
A2	≥ 0,20	
A3	≥ 0,30	

Quadro 1: resistência potencial de aderência à tração (Tabela 7, NBR 13281/2005, p. 4)

A NRB 13749/1996 apresenta os limites para aceitação e rejeição da resistência de aderência do revestimento de argamassa, emboço e camada única, obtidos conforme a NBR 13528/2010. Os limites referentes à Norma citada anteriormente são apresentados no quadro 2.

LOCAL		ACABAMENTO	Ra
PAREDE	INTERNA	PINTURA OU BASE PARA REBOCO	≥ 0,20
		CERÂMICA OU LAMINADO	≥ 0,30
	EXTERNA	PINTURA OU BASE PARA REBOCO	≥ 0,30
		CERÂMICA	≥ 0,30
TETO			≥ 0,20

Quadro 2: limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única (Tabela 2 da NBR 13749/1996, p. 3)

Para determinação da resistência potencial de aderência à tração para revestimentos de paredes e tetos utiliza-se, portanto, a NBR 15258/2005. Neste ensaio deve-se utilizar um equipamento que possibilite aplicar uma carga contínua, e tenha uma articulação para assegurar a aplicação do esforço de tração simples com dispositivo de leitura de carga que tenha uma precisão maior que 2%. Para aplicação da carga deve-se utilizar uma pastilha metálica circular com, aproximadamente, 50 mm de diâmetro. Estas pastilhas devem ser

coladas, com adesivo epóxi, no revestimento após este ser cortado para delimitação dos corpos de prova. A resistência potencial de aderência à tração é dada em megapascals, dividindo a carga de ruptura (em Newton) pela área do corpo de prova (milímetros quadrados). Para o cálculo da resistência potencial média devem ser descartados os que se afastem $\pm 30\%$ da média, para validação do resultado, deve haver um mínimo de cinco valores válidos. Os resultados deste ensaio não representam o desempenho do sistema construtivo.

A avaliação da resistência de aderência à tração do sistema construtivo deve ser feita a partir da NBR 13528/2010. O equipamento de tração deve atender às mesmas especificações exigidas pela norma anteriormente citada. As pastilhas de arrancamento devem ter seção circular de 50 ± 1 mm de diâmetro. O corte do corpo de prova deve ser feito até alcançar a superfície do substrato, estendendo-se de 1 mm até 5mm para dentro da base. Esta norma prevê o controle da umidade do revestimento no momento do ensaio. A forma de ruptura dos corpos de prova deve ser expressa juntamente com a indicação da porcentagem de ocorrência e apresentada junto com o respectivo valor de resistência de aderência. As diferentes formas de rupturas são apresentadas na figura 3 abaixo.

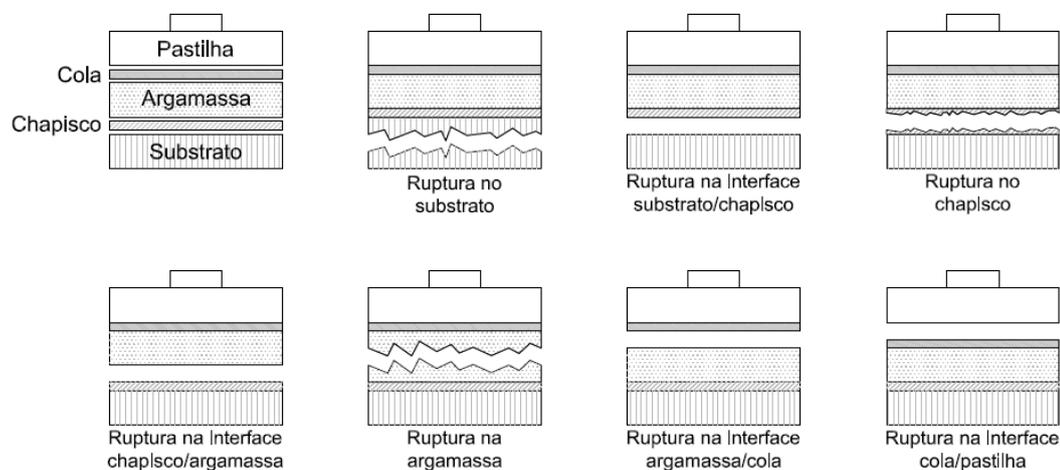


Figura 3: formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco (NBR 13528/2010, p. 10)

3.3 BASE OU SUBSTRATO

Segundo Baía e Sabbatini (2001, p. 31), os substratos dos revestimentos de argamassa em uma edificação convencional são a estrutura de concreto armado e a alvenaria estrutural e ou de vedação. Estes mesmos autores citam alguns materiais mais utilizados na fabricação de blocos e tijolos, eles podem ser de cerâmica, concreto, concreto celular e sílico-calacário. Cada material apresenta características próprias que influenciam no comportamento da alvenaria como um todo e, principalmente, nela como substrato. O processo de fabricação destes materiais, também é de grande relevância, sendo a absorção de água e a rugosidade da superfície as duas principais características de um substrato.

A capacidade de absorção de um substrato é reflexo de sua porosidade, a qual é responsável pela aderência do revestimento. Quanto maior a porosidade, maior é o fluxo de água, que carrega consigo pasta de cimento na direção do substrato, alterando a microestrutura da argamassa na interface. A intensidade deste fluxo é reflexo do diâmetro, estrutura, volume, distribuição e ligações dos poros (PAES, 2004, p. 18).

Em revestimentos de argamassas com baixa retenção de água, quando aplicadas sob substratos com alta porosidade, pode ocorrer um grande fluxo de água da argamassa para o substrato, fazendo com que não haja água suficiente para que ocorram as reações de hidratação do aglomerante hidráulico, podendo causar uma retração elevada logo após a aplicação prejudicando a aderência. Esta grande absorção também pode prejudicar a cura dos aglomerantes hidráulicos afetando o transporte de água da argamassa e a velocidade das reações químicas do cimento (MOURA, 2007, p. 48). Segundo Paes⁷ (2004, p 18), a taxa inicial de adsorção esta intimamente relacionada com a resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento, pelo fato de maiores resistências de aderência geralmente estarem correlacionadas com uma maior penetração da pasta nos poros do substrato.

Moura (2007, p. 48) cita pesquisas nas quais foram avaliados a movimentação e o transporte de água em diferentes substratos (concreto e cerâmico) nos momentos iniciais após a aplicação do revestimento, com o objetivo de obter um modelo relacionando a absorção da água pelo substrato e a resistência de aderência. Nos ensaios realizados a taxa de absorção inicial encontrada para o concreto foi maior, no entanto, este teve uma absorção total menor

⁷ Neste trecho do texto o autor citado indica que consultou o trabalho de Groot, de 1993, cujo título é *Effects of water on mortar: brick bond*, que teria sido desenvolvido na *Technische University Delft*.

em relação ao bloco cerâmico. A resistência de aderência encontrada entre a argamassa e o substrato cerâmico foi significativamente inferior ao encontrado para blocos de concreto. A explicação encontrada foi que a reduzida velocidade de absorção, determinada pelo menor diâmetro de poros que leva a um excesso de água na interface, aumentando assim a porosidade no estado endurecido, conseqüentemente reduzindo a aderência do revestimento.

A ASTM C-67 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1992) prescreve o método de ensaio para a obtenção da taxa inicial de absorção mencionada no parágrafo anterior. Ensaio semelhante a este pode ser encontrado na NBR 15270-3/2005, que visa estabelecer métodos de execução de ensaios para blocos cerâmicos. O ensaio basicamente consiste na determinação da massa de água absorvida, por meio da sucção capilar, pela área submetida ao contato de uma lâmina de água padronizada em 3 mm, em um período de 1 minuto.

Paes (2004, p. 20) afirma a existência de vários trabalhos que classificam o IRA como a propriedade do substrato mais influente na resistência de aderência, possibilitando a adequada escolha da argamassa que será utilizada como revestimento. Chegou-se ao ponto de serem estabelecidos valores máximos e mínimos de IRA de blocos cerâmicos. A mesma autora cita que outras pesquisas não encontraram o mesmo comportamento entre o IRA e a resistência de aderência, contrariando a existência de uma correlação entre estas duas propriedades, pois foram encontrados resultados que atribuem à textura superficial a significativa diferença.

Scartezini⁸ (2002 apud MOURA 2007, p. 26) observou que a taxa de sucção de água pelo substrato é influenciada pela retenção de água da argamassa. No entanto este autor não encontrou uma relação clara deste fenômeno. Esta falta de uma relação entre absorção real e medida pelo IRA, pode ocorrer pelo curto tempo de ensaio, 1 minuto, que pode não representar a total absorção, que pode ser maior, pois os capilares continuam atuando durante um tempo maior.

O fato de o IRA não representar fielmente a absorção da água do substrato, em relação a argamassa ao longo do tempo, é justificado pelo fato desse ensaio não relacionar a

⁸ SCARTEZINI, L. M. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa**: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca. 2002. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

distribuição e tamanho dos poros. Mede apenas o conteúdo dos poros capilares do substrato em relação à água livre (GALLEGOS⁹ 1995 apud PAES, 2004, p. 21).

Paes (2004, p. 23) concluiu que não há consenso entre diferentes autores sobre a utilização do IRA como parâmetro de caracterização de um substrato que permita uma relação com a posterior aderência do revestimento. Isto é justificado pela maior complexidade da movimentação de água presente na argamassa, quando comparada com a absorção em uma lâmina de água.

Em contrapartida a questão da falta de água para a hidratação do cimento, devido a uma alta taxa de absorção do substrato, Paes¹⁰ (2004, p. 22) e Brocken et al.¹¹ (1998 apud PAES, 2004, p. 22) verificaram o alto grau de hidratação cimento, e não constataram diferenças de hidratação ao longo da espessura da argamassa. Isto se deve ao fato de que para obter uma maior trabalhabilidade é adicionada uma grande quantidade de água, que mesmo com as perdas para o meio e para o substrato a quantidade de água presente na argamassa ainda seria suficiente para que ocorra uma total hidratação do cimento anidro. Dessa forma, em condições normais não ocorreriam situações tão críticas a ponto de prejudicar o processo de hidratação.

Neste sentido, a justificativa para diminuição da resistência de aderência sob substratos com alta taxa de absorção, é de que as altas velocidades iniciais podem ser responsáveis por uma rápida retração plástica, causando microfissuras na interface, que seriam responsáveis pela diminuição da resistência de aderência.

Então, pode-se concluir que as diferentes características dos substratos, interferem significativamente nas propriedades do sistema de revestimento de argamassa, em especial quanto a resistência de aderência e que o princípio deste fenômeno ainda não está claramente definido. Estas diferenças devem ser levadas em consideração na definição da argamassa a ser utilizada para cada caso e tipo de substrato. A figura 4 apresenta as principais características que devem ser ponderadas no projeto do revestimento.

⁹ GALLEGOS, H. Adhesión entre mortero y las unidades de albañilería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, n. 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, UFG/ANTAC, 1995. p. 117-133.

¹⁰ Neste trecho do texto o autor citado indica que consultou o trabalho de Groot, de 1993, cujo título é *Effects of water on mortar: brick bond*, que teria sido desenvolvido na *Technische University Delft*.

¹¹ BROCKEN, H. J. P.; SPIEKMAN, M. E.; PEL, L.; KOPINGA, K.; LARBI, J. A. Water extraction out of mortar during brick laying: A NMR study. **Matériaux et Constructions**, v. 31, n. p. 49-57, Jan-Feb 1998.

BASES	CARACTERÍSTICAS
Alvenaria (diferentes componentes)	<ul style="list-style-type: none"> • Absorção de água • Porosidade • Resistência mecânica
Estrutura (concreto)	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentações higroscópicas • Rugosidade • Homogeneidade

Figura 4: características dos substratos de aplicação do revestimento (BAÍÁ; SABBATINI, 2001, p. 31)

Com a finalidade de minimizar estas diferenças pode ser executado um tratamento superficial no substrato, com o objetivo de uniformizar a absorção e aumentar a rugosidade superficial. Segundo Moura (2007, p. 49), para substratos como o concreto, que geralmente possuem porosidade reduzida e não se pode alterar a sua microestrutura, a solução é alterar a superfície, isso pode ser obtido a partir da modificação da rugosidade a fim de favorecer a ancoragem do revestimento. Candia¹² (1998 apud MOURA, 2007, p. 49) coloca que enquanto se aumenta a rugosidade superficial do substrato, também se torna mais difícil conseguir uma boa extensão de aderência, como pode ser observado na figura 5, resultando em uma menor resistência de aderência em função da menor área de contato obtida.



Figura 5: superfície de concreto preparada com chapisco desempenado, para aumentar a rugosidade, gerou uma menor extensão de aderência (PRETO, 2007, p. 164)

¹² CANDIA, M. C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** 1998. 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Outra forma de tratamento superficial utilizado em substratos com alta absorção ou quando a superfície se encontra com alta temperatura, é o pré-umedecimento, obtido através da aspersão de água. Esta pré-molhagem deve ser feita com cuidado, não em exagero, pois se o substrato estiver completamente saturado, diminuirá o fluxo de água da argamassa para o substrato e, conseqüentemente, haverá uma diminuição da concentração dos produtos de hidratação no interior dos poros, diminuindo a ancoragem na base. Ainda segundo Carasek et al.¹³ (2001 apud PAES, 2004, p. 23) este excesso de água na superfície pode acarretar em uma baixa adesão inicial, prejudicando a aplicação.

Para cada sistema de revestimento (argamassa/substrato) deve obter-se uma alteração superficial mais adequada, podendo ser uma camada de chapisco ou até mesmo um tratamento mecânico aplicado diretamente sobre a superfície, o quadro 3 ilustra as diferenças obtidas através de alguns destes tratamentos em concretos com três diferentes resistências características.

¹³ CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4º, Brasília, 23 a 25 de maio de 2001. **Anais**. Brasília, UnB/ANTAC, 2001. p. 43-67.

Concreto (fc28)	25 MPa	35 MPa	45 MPa
Sem tratamento			
Lavado			
Escovado			
Lixado			
Apicoado			
Retardador de pega de superfície			

Quadro 3: imagens das superfícies de concreto com diferentes tratamentos
(PRETTO, 2007, p. 95)

3.4 CAMADA DE PREPARO (CHAPISCO)

A camada de preparo do substrato tem a função de receber e melhorar a aderência da camada de revestimento. O chapisco constitui-se em uma camada responsável por aumentar a rugosidade superficial e regular a absorção do substrato. Estas características são responsáveis pela aderência mecânica e química do revestimento (ALVES¹⁴, 2002 apud MOURA, 2007, p. 49).

Segundo Ruduit (2009, p. 27), em substratos que possuem alta porosidade (alvenarias de blocos cerâmicos, blocos de concreto celular e blocos de concreto, entre outros) a aderência pode ser prejudicada devido à alta absorção deste substrato. Esta elevada absorção pode provocar uma hidratação retardada do cimento da argamassa, ou seja, a água restante retida nesta argamassa não é suficiente para que ocorra a hidratação de todo o cimento, dessa forma este acabaria funcionando como Fíler, não agregando resistência e formando regiões frágeis com alto potencial de não desenvolver a aderência adequada.

Já em substratos pouco porosos, como estruturas de concreto, que além de se caracterizarem por serem substratos de baixa porosidade e possuem superfícies lisas, reduzindo a absorção e a aderência mecânica do revestimento. Dessa forma, mesmo após o tratamento mecânico da superfície, este substrato ainda pode não ser adequado para receber o revestimento, ou seja, a porosidade, a absorção e a rugosidade do substrato não são adequados para possibilitar uma aderência satisfatória entre o substrato e o revestimento de argamassa, existe a necessidade de preparar a superfície com chapisco (CANDIA¹⁵, 1998 apud PRETTO, 2007, p. 57). Portanto o preparo das estruturas de concreto com chapisco é recomendada, de forma a garantir a microancoragem, obtida pelo transporte de água e dos produtos de hidratação aos poros do substrato, e a macroancoragem, aumentando a rugosidade que por sua vez aumenta a área de contato (MOURA, 2007, p. 49).

O chapisco possui outra função de extrema importância quando da execução de um sistema de revestimento de argamassa em uma fachada, além de ter a função de ser a ponte de aderência

¹⁴ ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Brasília, Brasília.

¹⁵ CANDIA, M. C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. 1998. 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

entre a base e o revestimento, também deve uniformizar a absorção desta base. Esta finalidade é evidenciada quando se analisa os diferentes elementos de uma fachada a ser revestida. Geralmente estão presentes os blocos de alvenaria, argamassa de assentamento e a estrutura de concreto, como já definido anteriormente, estes substratos se diferem quanto a porosidade e rugosidade. Neste sentido o chapisco possibilita que esta base funcione de forma homogênea, favorecendo a adequada escolha da argamassa de revestimento (MOURA, 2007, p. 48; RUDUIT, 2009, p. 27).

O chapisco pode ser definido como sendo uma camada de argamassa contínua ou descontínua, que é aplicada diretamente sobre o substrato a fim de regular a absorção de água e promover a aderência entre o substrato e a camada de argamassa subsequente, provendo uma base com rugosidade e porosidade uniforme à argamassa (IOPPI¹⁶, 1995 apud RUDUIT, 2009, p. 28).

Segundo Baía e Sabbatini (2001, p. 61), antes da aplicação do chapisco deve-se proceder uma sequência, completa ou não, que consiste na preparação da base, como é citado abaixo:

- a) limpeza do substrato;
- b) eliminar as irregularidades superficiais;
- c) remover as incrustações metálicas;
- d) posterior aplicação do chapisco.

Em geral, as argamassas de chapisco são compostas de cimento, areia e água, mas podem ter a adição de polímeros, que terão a função de garantir a adesão inicial ao substrato. O proporcionamento de uma argamassa de chapisco é diferente ao da argamassa de revestimento, pelo fato de exercerem funções diferentes. O agregado de uma argamassa de chapisco deve ter uma dimensão maior que os agregados utilizados em argamassas de revestimento (MOURA, 2007, p. 50). O chapisco deve ser fluido, a ponto que não ocorrer a segregação da areia, mas de forma a favorecer a execução. O alto teor de cimento além de conferir resistência, também colabora para que não ocorra a segregação do agregado, além favorecer a penetração de partículas finas nos poros do substrato (PRETTO, 2007, p. 58).

¹⁶ IOPPI, P. R. **Estudo da aderência de argamassas de revestimento em substratos de concreto**. 1995. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

O chapisco deve ser escolhido de acordo com a base. Geralmente para diferentes substratos são utilizados diferentes tipos de chapisco e para isto utilizam-se materiais e técnicas adequadas, a fim de compatibilizar a base com o tipo de chapisco utilizado. Basicamente os chapiscos podem ser denominados quanto a dois parâmetros: quanto à composição, são denominados como convencionais (cimento, agregado e água) ou modificados com polímeros. Mais comumente são denominados quanto à forma de aplicação, existindo três tipos distintos de argamassa de chapisco:

- a) **chapisco lançado com colher**, aplicado manualmente com colher de pedreiro, pode ser observado na figura 6;
- b) **chapisco desempenado**, aplicado com desempenadeira dentada. A figura 7 demonstra essa técnica de aplicação;
- c) **chapisco rolado**, aplicado com rolo de espuma próprio para textura, como pode ser visto na figura 8.

As argamassas destes chapiscos devem ser devidamente adequadas a cada forma de aplicação, sendo industrializadas ou não, em determinadas situações algumas argamassas de chapisco podem se adequar a mais de uma forma de aplicação. A qualidade desta camada de preparo não esta simplesmente relacionada apenas a um fator, e sim ao conjunto destes. Portanto manter controles de qualidade sobre o preparo do substrato para receber essa camada, o processo de produção ou mistura da argamassa (no caso das industrializadas), sobre a forma correta de aplicação e manter condições ambientais adequadas para cura.



Figura 6: aplicação do chapisco lançado com colher



Figura 7: aplicação do chapisco desempenado



Figura 8: aplicação do chapisco rolado

3.4.1 Chapisco lançado com colher

O chapisco lançado com colher de pedreiro é mais conhecido como chapisco convencional, ou tradicional, em geral é produzido em obra e aplicado com colher de pedreiro. Os materiais empregados são: cimento, areia com granulometria de média à grossa e água, podendo também ser utilizado algum tipo de aditivo para melhorar algumas propriedades desta argamassa. Neste tipo de chapisco, a industrialização da argamassa ainda não é uma prática comum, isto se deve ao baixo custo e produtividade alcançada em obra. Quando lançado sobre o substrato a dosagem do chapisco deve propiciar a formação de uma camada rugosa, uniforme, aderente e resistente (como pode ser observado na figura 9). Trata-se de uma argamassa com consistência fluida que favorece o espalhamento ou molhagem rápida e eficiente do substrato, facilitando o transporte da pasta de cimento aos poros e capilares da base, podendo ser aplicado tanto sobre a alvenaria como sobre a estrutura de concreto a fim de favorecer a ancoragem da camada subsequente de argamassa, influenciando no desempenho

de todo o sistema de revestimento (BAÍÁ; SABBATINI, 2001, p. 62; CEOTTO et al., 2005, p. 22; MOURA, 2007, p. 51; PRETTO, 2007, p. 60; RUDUIT, 2009, p. 30).



Figura 9: superfície com aplicação de chapisco lançado com colher (CEOTTO et al., 2005, p. 22)

Moura (2007, p. 51) cita a proporção 1:3 em volume, entre cimento e areia, como sendo a mais comumente empregada. De forma análoga, porém sendo mais abrangente, Pretto (2007, p. 60), cita que o proporcionamento varia entre 1:2 e 1:4. Esta mesma autora afirma que o chapisco, antes de receber o revestimento, deve ter pelo menos três dias de cura. Apesar do alto teor de cimento empregado, a alta proporção de água utilizada em relação ao cimento, na ordem de $1\text{kg/kg} < a/c < 3\text{kg/kg}$, nem sempre confere a esse tipo de chapisco as propriedades desejadas. Além da alta variabilidade da espessura e no espalhamento, o não controle da quantidade de água empregada na argamassa de chapisco altera significativamente as características deste (RUDUIT, 2009, p. 31).

Esta técnica de aplicação gera um grande desperdício de material, que somada as desvantagens já citadas, pode tornar este chapisco não adequado em determinadas condições, onde um maior controle sobre o sistema é necessário, como em fachadas, principalmente sobre a estrutura de concreto, ou mesmo internamente sobre concretos com baixa porosidades ($f_{ck} > 30\text{ MPa}$). Devem-se ponderar estas desvantagens na especificação deste tipo de chapisco, apesar dessa técnica já ser bem difundida e ter um baixo custo de produção. Este chapisco normalmente desenvolve uma boa aderência na interface com o revestimento de argamassa, em função da sua rugosidade e porosidade, mas nem sempre consegue garantir uma resistência satisfatória na interface com o substrato de concreto, em função da rugosidade e porosidade destes substratos.

3.4.2 Chapisco desempenado

O chapisco desempenado também pode ser encontrado na literatura tratado como chapisco industrializado, adesivo ou colante. Neste caso, para o preparo da argamassa é necessário apenas a adição de água na mistura, que é especificada pelo fabricante, e é aplicado com o uso de desempenadeira denteada. Esta argamassa de chapisco possui uma consistência menos fluida, semelhante às argamassas colantes, por conter um elevado teor de polímero (quantidade e tipo de polímero utilizados não são fornecidos pelos fabricantes, este dado é tratado como segredo industrial). Normalmente, por uma questão de custos é utilizado apenas em estruturas de concreto, ou seja, substratos pouco porosos, por ser uma argamassa com uma boa adesão no estado fresco e um bom desempenho também quanto à resistência de aderência à tração no estado endurecido. A técnica de aplicação deste chapisco gera uma superfície formada por “cordões”, como pode ser observado na figura 10, que favorece a ancoragem mecânica do revestimento (BAÍA; SABBATINI, 2001, p. 62; CEOTTO et al., 2005, p. 22 ; MOURA, 2007, p. 52; PRETTO, 2007, p. 61; RUDUIT, 2009, p. 33).

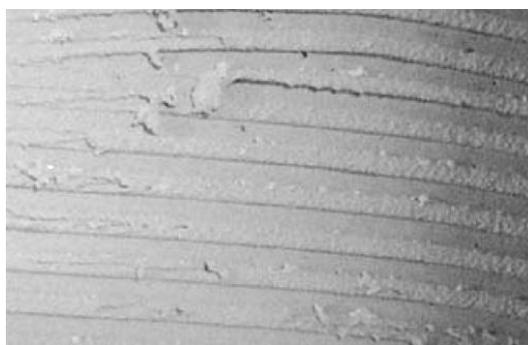


Figura 10: superfície com aplicação de chapisco desempenado
(CEOTTO et al., 2005, p. 22)

A produção em obra da argamassa deste tipo de chapisco é inviável, devido à maior complexidade na dosagem desta argamassa, e também a um valor agregado maior das matérias primas, especialmente dos polímeros.

3.4.3 Chapisco rolado

Este chapisco é aplicado com a utilização de rolos de espuma para textura acrílica, os quais possuem cavidades a fim de propiciar uma textura rugosa. Basicamente é uma mistura plástica de cimento, areia média, água e adição de resina, acrílica ou de PVC. Pode ser aplicado em fachadas tanto nas estruturas de concreto como sobre a alvenaria. Este sistema possui uma elevada produtividade e baixo desperdício de material. No entanto, exige um controle rigoroso, afim de que se consiga garantir uma camada com superfície rugosa e porosa, o que pode ser observado na figura 11 (BAÍÁ; SABBATINI, 2001, p. 62; CEOTTO et al., 2005, p. 22 ; MOURA, 2007, p. 53; PRETTO, 2007, p. 60).

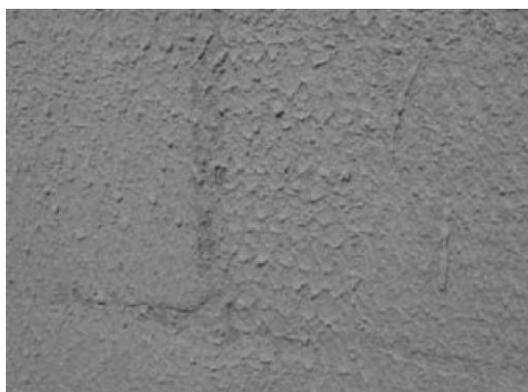


Figura 11: superfície com aplicação de chapisco rolado
(CEOTTO et al., 2005, p. 22)

A aplicação do chapisco rolado é rápida e ergonômica, principalmente em locais como teto e de difícil alcance. A argamassa deste chapisco pode ser produzido em obra ou industrializada, trata-se de uma argamassa com maior complexidade envolvida, devendo apresentar uma consistência tal que possibilite uma fácil aplicação e resulte em uma camada adequada para receber a argamassa, aumentando à resistência de aderência do revestimento. Neste sentido a adição de polímeros e resina de PVA ou acrílica, melhora a consistência, adesão inicial e também a aderência do chapisco ao substrato. O desempenho deste chapisco também depende de uma boa granulometria da areia. Uma areia muito fina pode fazer com que o chapisco fique muito **ralo** e proporcionar rugosidade insuficiente, enquanto que o uso de uma areia muito grossa, pela massa da mesma, pode provocar o escorrimento do chapisco (RUDUIT, 2009, p. 32).

Ruduit (2009, p. 32) ainda acrescenta que uma das desvantagens deste tipo de chapisco é de que a camada aplicada não atinja a espessura adequada para regular a absorção da base e promover a aderência. No mesmo sentido, argamassas para chapisco rolado muito fluidas e de baixa coesão podem fazer com que a areia mais grossa segregue, dessa forma, o rolo carregaria apenas uma pasta muito fina, que tornaria este chapisco ineficaz.

De acordo com Macedo et al.¹⁷ (2007 apud RUDUIT, 2009, p. 32-33), outro problema ligado a este tipo de chapisco é o descolamento na interface argamassa/chapisco; esta manifestação patológica pode estar ligada à formação de um filme polimérico na superfície deste chapisco, tornado-o impermeável, o que impede uma boa ancoragem da argamassa sobre ele. Este mesmo polímero é responsável por promover a aderência entre o chapisco e o substrato.

O mesmo autor apresenta resultados de um estudo realizado com a utilização de chapisco rolado em duas condições distintas, um com resina acrílica e outra com base PVA, aplicados sobre substrato de concreto, analisaram a aderência do sistema de revestimento quanto à diferença de tempo entre a aplicação do chapisco sobre o substrato e a aplicação da argamassa sobre o chapisco. Neste trabalho foi observado que se a argamassa for aplicada logo após a aplicação do chapisco (4 horas, no caso desta pesquisa), não permitindo a formação do filme polimérico, atinge-se uma maior resistência de aderência e uma diminuição significativa de rompimentos na interface argamassa/chapisco. Este comportamento foi observado tanto no chapisco com resina acrílica quanto no a base PVA.

3.5 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Para o adequado desempenho de suas funções, a argamassa do revestimento deve apresentar um conjunto de fatores e propriedades, relativos tanto ao estado fresco quanto ao endurecido. A determinação destas propriedades e fatores possibilita estimar o comportamento do revestimento de argamassa. Algumas das principais propriedades que devem ser observadas nas argamassas são apresentadas na figura 12.

¹⁷ MACEDO, D.; MACHADO, G.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Influência do tempo entre a aplicação do chapisco rolado e a execução do revestimento de argamassa na aderência do sistema. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 7., 2007, Recife. *Anais...* Recife: UFPE, 2007. 1 CD-ROM.

ESTADO FRESCO	ESTADO ENDURECIDO
<ul style="list-style-type: none"> • massa específica e teor de ar • trabalhabilidade • retenção de água • adesão inicial • retração na secagem 	<ul style="list-style-type: none"> • aderência • capacidade de absorver deformações • resistência mecânica • resistência ao desgaste • durabilidade

Figura 12: principais características da argamassa, nos estados fresco e endurecido (BAÍA; SABBATINI, 2001, p. 15)

3.5.1 Propriedade das argamassas no estado fresco

A **massa específica** pode ser absoluta ou relativa, sendo esta a relação entre a massa do material e o seu volume. A massa específica absoluta não considera os vazios no volume da argamassa, já a massa específica relativa, ou unitária, considera. A massa unitária é utilizada para a dosagem das argamassas. O **ar incorporado** se refere quantidade de ar existente em um determinado volume de argamassa, bolhas de ar estáveis com formato esférico microscópico (DO Ó¹⁸, 2004 apud MOURA, 2007, p. 39), podendo ser aumentado com o uso de aditivos incorporadores de ar.

Baía e Sabbatini (2001, p. 15-16) argumentaram que a massa unitária e o teor de ar incorporado interferem em outras propriedades das argamassas no estado fresco, inferindo uma maior trabalhabilidade. Aumentando-se o teor de ar incorporado da argamassa há uma diminuição da massa específica relativa da mesma, também podendo interferir negativamente em propriedades como permeabilidade, resistência mecânica e a aderência do revestimento. Segundo Moura (2007, p. 40), isto ocorre em virtude com a diminuição da extensão de aderência na interface do revestimento com o substrato, devido às bolhas depositadas na superfície.

A **trabalhabilidade** é uma propriedade qualitativa e pode ser definida como a propriedade que confere às argamassas a característica de manter-se coesa ao ser transportada, mas não o suficiente ao ponto de se aderir à colher de pedreiro, distribuindo-se facilmente e preenchendo

¹⁸ DO Ó, S. W. **Análise da Retenção de Água em Argamassas de Revestimento Aditivadas**. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Brasília, Brasília.

todas as saliências e reentrâncias do substrato (CARASEK¹⁹, 1996 apud MOURA, 2007, p. 36), ditando a forma, a produtividade e a capacidade de adesão inicial à base. Tem-se como fatores que interferem na trabalhabilidade, as características dos materiais constituintes e o seu proporcionamento, podendo ser melhorada com a adição de cal e incorporadores de ar, mas dentro de um limite (BAÍA; SABBATINI, 2001, p. 16).

A **retenção de água** consiste na propriedade da argamassa reter água frente à perda pela sucção provocada pelo substrato e por evaporação para o meio externo, evaporação. Segundo Baía e Sabbatini (2001, p. 17), a retenção possibilita reações de endurecimento mais lentas fazendo com que ocorra a adequada hidratação do cimento, gerando um ganho de resistência da argamassa. Carasek²⁰ (1996 apud MOURA 97, p. 37-38) afirma que para proporcionar uma adequada extensão de aderência e hidratação do cimento, para substrato com alta taxa de absorção devem ser utilizadas argamassas com alta retenção de água. De forma oposta, em substratos com baixa sucção deve-se aplicar uma argamassa com baixa retenção de água, para não comprometer o transporte de água da argamassa para o substrato. Moura (2007, p. 38) coloca que além de influenciar na adesão inicial e na posterior aderência do revestimento, a retenção de água interfere na execução do revestimento, nos tempos de sarrafeamento e desempenho, pois argamassas com maior retenção de água necessitam um tempo maior entre esses procedimentos.

Diversos fatores interferem na retenção de água de uma argamassa, Moura (2007, p. 38) cita alguns deles:

- a) as condições de cura (quanto maior a temperatura e menor a umidade do ambiente, menor será a retenção de água);
- b) proporção e as propriedades químicas dos aglomerantes;
- c) o módulo de finura;
- d) forma dos agregados.

Estas características interferem na conformação da microporosidade e capilaridade da argamassa. Para obter um aumento da retenção de água pode se fazer uso de aditivos retentores de água, além de um adequado proporcionamento dos matérias. Estudos realizados

¹⁹ CARASEK, H. **Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Substratos Porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

²⁰ op. cit.

avaliaram a variação da retenção de água das argamassas frente à adição de diferentes polímeros, sendo constatado um aumento da retenção de água proporcional ao aumento da relação polímero/cimento (AFRIDI et al.²¹, 1995 apud MOURA 2007, p. 38).

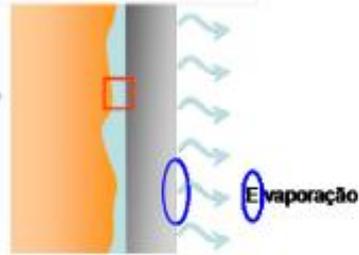
A **adesão inicial** também é colocada como uma propriedade do revestimento de argamassa no estado fresco e está relacionada ao fenômeno mecânico que inicialmente é influenciado pelas características reológicas das argamassas (MOURA, 2007, p. 25). Estas influenciam na tensão superficial gerada na interface do substrato com o revestimento, sendo responsável pelas forças de adesão, que segundo Paes (2004, p. 12) devem ser estáveis e fortes suficientemente para que não se tenha nesta interface um elo fraco da união dos materiais.

Baía e Sabbatini (2001, p. 17) mencionam que o fenômeno de adesão inicial ocorre em superfícies porosas, pela ancoragem da argamassa ao substrato, e que este fenômeno depende das outras propriedades da argamassa no estado fresco, além das características da base de aplicação, como rugosidade, distribuição dos poros, limpeza e extensão de aderência. Do ponto de vista físico-químico, quando duas superfícies estão em contato, a interação entre elas é denominada de adesão, este fenômeno ocorre em nível microscópico das partículas, que são atraídas para o substrato devido as interações intermoleculares (ANTUNES, 2005, p. 25). Antunes (2005, p. 26) propõe um modelo de adesão e aderência, nos instantes iniciais, estado fresco da argamassa ao estado endurecido da mesma. Este modelo é apresentado na figura 13.

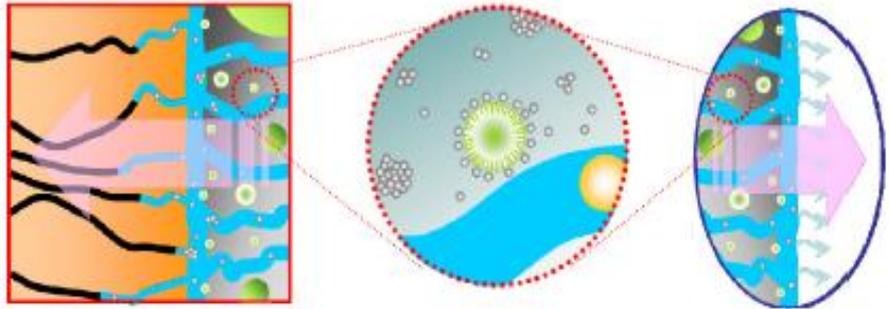
²¹ AFRIDI, M. U. K.; OHAMA, Y.; ZAFAR IQBAL, M.; DEMURA, K. Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars. **Cement and Concrete Composites**, v. 17, n. 2, p. 113-118, Jan. 1995.

Argamassa Fresca

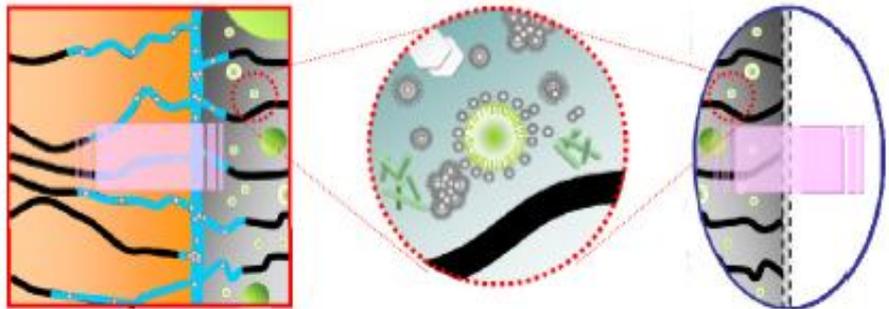
Sucção da base



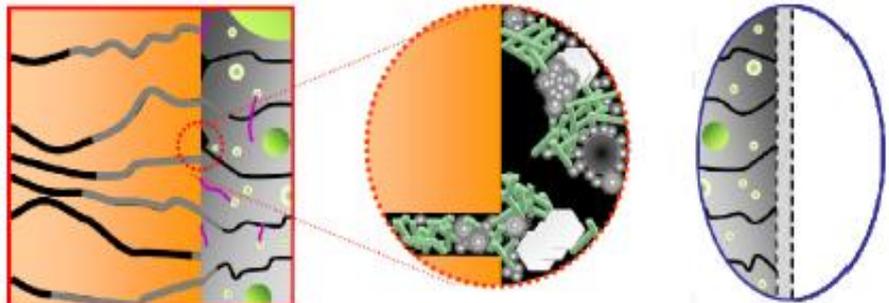
⊙ segundos ⇒ minutos
molha a base, sucção da base, transporte de sólidos e fons para poros da base, formação da camada de pasta na interface



⊙ minutos ⇒ horas
capilares mais finos: equilíbrio hidrostático; melhor empacotamento; retração plástica; fim do período de indução



⊙ horas ⇒ dias ⇒ anos
retração química e por secagem; formação de microfissuras; carbonatação



Legenda

- base
- argamassa/matriz
- └─┘ capilar saturado
- agregado
- bolha de ar
- └─┘ capilar seco
- partícula

Argamassa Endurecida

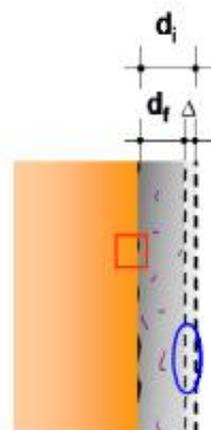


Figura 13: modelo de aderência da argamassa ao substrato (ANTUNES, 2005, p. 24)

A **retração por secagem** é aquela, conhecida convencionalmente, quando ocorre a retração de compósitos cimentícios no estado endurecido de uma forma geral (BASTOS, 2001, p.24). Esta retração pode ocorrer pela evaporação da água de amassamento da argamassa, pela hidratação do cimento, por carbonatação dos compostos hidratados ou por questões térmicas. A retração é uma das causas da formação de fissuras no revestimento. Essas podem permitir a percolação da água pelo revestimento no estado endurecido comprometendo a sua estanqueidade. Isso é prejudicial para o revestimento e para a edificação. Os fatores interferentes na retração por secagem da argamassa são: a proporção dos materiais constituintes, a espessura e o adequado tempo dado para fazer o sarrafeamento e o desempenho.

Como já mencionado, as reações de hidratação dos aglomerantes demandam água e, por consequência, causam a retração, neste sentido, argamassas com alto teor de cimento estão mais suscetíveis à fissuração, então **argamassas fortes** fissuram mais que argamassas ditas **fracas** o que é ilustrado na figura 14, espessuras de revestimentos maiores também estão relacionadas com uma maior retração e apresentarem fissuras (BAÍA; SABBATINI, 2001, p. 19).

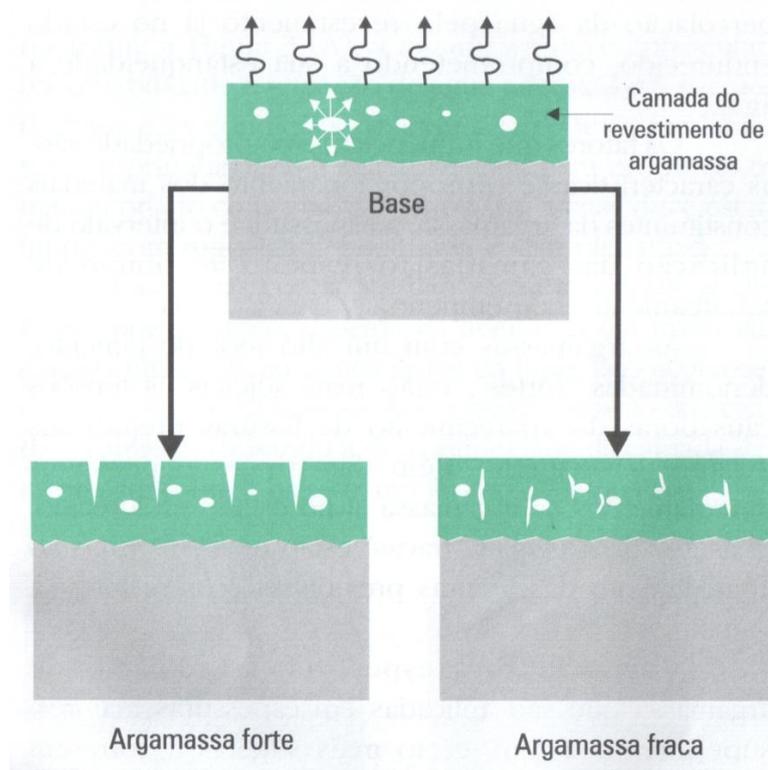


Figura 14: fissuração da argamassa por retração na secagem, argamassa com alto e baixo teor de cimento (BAÍA; SABBATINI, 2001, p. 20)

3.5.2 Propriedade das argamassas no estado endurecido

As propriedades da argamassa no estado endurecido representam as propriedades do próprio revestimento. São exigidas em diferentes níveis, o que é determinado pela condição de exposição deste revestimento. Esta argamassa deve ter a capacidade de absorver deformações, ter resistência mecânica, permeabilidade aceitável, durabilidade e aderência ao substrato.

A **capacidade de absorver deformações** de uma argamassa, segundo Baía e Sabbatini (2001, p. 23), consiste na propriedade do revestimento suportar tensões sem romper, não apresentando fissuras prejudiciais e sem perder a aderência ao substrato. Esta propriedade depende diretamente:

- a) do **módulo de deformação da argamassa**, é diretamente proporcional ao teor de cimento, quanto menor, maior a capacidade de absorver as deformações;
- b) da **espessura da camada**, espessuras maiores contribuem aumentando a capacidade de absorver deformações, no entanto espessuras excessivas acarretam danos à aderência do revestimento;
- c) da **técnica de execução**, e energia de aplicação, a compressão posterior e durante o acabamento contribui para não aparecerem fissuras;
- d) das **juntas de movimentação** do revestimento, delimitam planos de menor dimensões, o que acarreta em diferenciais de deformação menores, diminuindo o aparecimento de fissuras.

A **resistência mecânica à compressão** do revestimento, segundo Tristão²² (1995 apud ARAÚJO, 2001, p. 15) não é uma propriedade fundamental para a argamassa de revestimento, assim como para o concreto, mas deve ser considerada, pois dela depende a elasticidade e conseqüentemente a durabilidade da mesma. Esta propriedade, diz respeito à resistência à compressão, às tensões de tração ou cisalhamento que o revestimento pode estar submetido. Segundo Baía e Sabbatini (2001, p. 24) é dependente das propriedades e proporções dos agregados e aglomerantes utilizados na confecção desta argamassa, além da técnica de execução. A resistência mecânica aumenta com a redução da quantidade de agregado em relação ao aglomerante; a relação água/cimento também influencia, sendo que, quanto maior for esta relação, menor será a resistência mecânica da argamassa.

²² TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimentos**. 1995. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Cincotto et al.²³ (1995 apud ARAÚJO, 2001, p. 15) atribui ao teor de aglomerante, à granulometria e a resistência à abrasão do agregado, a influência direta na resistência ao desgaste superficial ou à abrasão do revestimento. Estas resistências, sendo baixas, caracterizam a pulverulência ou até o descolamento do revestimento.

A **permeabilidade** do revestimento consiste na propriedade do revestimento permitir a passagem de água, tanto no estado líquido como no estado gasoso, é também influenciada pela natureza da base. O revestimento deve ser impermeável à água, impedindo sua percolação através dele. Porém, deve ser permeável ao vapor de água, para favorecer a saída da umidade infiltrada no substrato ou no próprio revestimento. Fissuras existentes no revestimento o tornam suscetível à percolação da água diretamente a base, comprometendo a vedação (BAÍA; SABBATINI, 2001 p. 25).

Quando se menciona a **durabilidade** de um revestimento de argamassa, o que está sendo avaliado é o somatório de todas as propriedades até aqui descritas, refletidas pela ações do meio externo ao longo do tempo, sendo prejudicado principalmente, pela fissuração, espessura excessiva e a falta de manutenção, que favorece a proliferação de microorganismos e a deposição de sujidades (BAÍA; SABBATINI, 2001 p. 26).

As duas últimas propriedades descritas acima, não são detalhadas neste trabalho, por não fazerem parte do enfoque principal do mesmo.

Um dos aspectos mais importantes na determinação da qualidade de um revestimento de argamassa consiste na **resistência de aderência** deste revestimento ao seu substrato. Segundo Baía e Sabbatini (2001, p. 22), esta propriedade refere-se à capacidade do revestimento manter-se fixo ao substrato, resistindo as tensões normais e tangenciais existentes na interface com a base. Sendo resultante da resistência de aderência à tração, ao cisalhamento e da extensão de aderência. Esta propriedade já foi discutida no capítulo 3.1 deste trabalho.

²³ CINCOTTO, M. A. C.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de Revestimento**: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: 1995. Boletim técnico IPT, n. 68.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

No presente capítulo apresenta-se o programa experimental adotado neste trabalho, que visa avaliar influência do preparo superficial do substrato na resistência de aderência dos tipos chapisco em estudo. Onde primeiramente é desenvolvido o planejamento experimental, gerando a matriz da figura 15. Posteriormente é apresentada caracterização dos materiais utilizados e dados referentes a produção dos substratos e chapiscos utilizados. Por fim, são detalhados os procedimentos dos ensaios realizados.

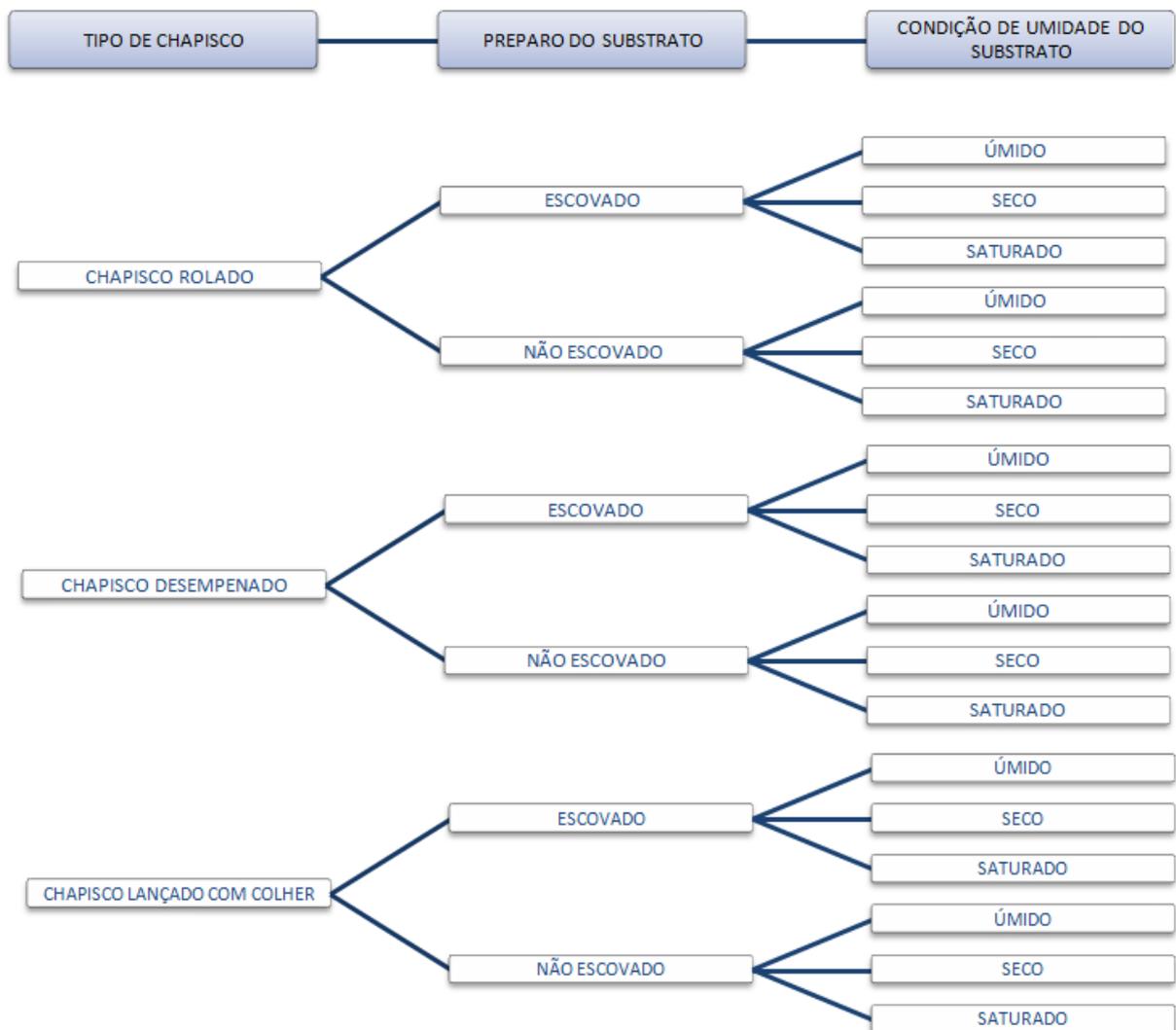


Figura 15: matriz experimental

5.1 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos neste trabalho, que buscou avaliar a influência do tipo de chapisco, preparo e condição de umidade do substrato (a resistência à compressão do concreto utilizado como substrato foi fixada em 35 MPa), na resistência de aderência à tração da camada de preparo, foi realizado um planejamento experimental onde foram estabelecidas as variáveis independentes e as variáveis de resposta do programa experimental.

Como variáveis independentes deste programa experimental tem-se:

- a) tipo de chapisco utilizado, em 3 níveis;
- b) tipo de preparo da base, em 2 níveis;
- c) condição de umidade do substrato, em 3 níveis.

Como variável de resposta foi analisada a resistência de aderência à tração do chapisco. Com o objetivo de facilitar a identificação dos corpos de prova foi criada uma legenda que contempla as diferentes variáveis do trabalho, esta legenda é expressa na figura 16.

CHAPISCO	TRAT. SUPERF.	UMIDADE
ROLADO R	ESCOVADO E	ÚMIDO U
CONVENCIONAL C		AMBIENTE (seco) A
DESEMPENADO D	NÃO ESCOVADO N	SATURADO S

Figura 16: nomenclatura utilizada para a identificação dos corpos de prova

O desenvolvimento do programa se dividiu em três dias, e de forma a evitar que os resultados estivessem ligados a um dia específico, foi elaborada a distribuição apresentada no quadro 4.

DISTRIBUIÇÃO DOS ENSAIOS							
DIA	Var.	Mist.	Var.	Mist.	Contabilização		
D1	REU	B1	REA	B1	AMBIENTE (seco)	4 ROLADO	4
	RNA	B2	RNS	B2	ÚMIDO	4 DESEMPENADO	4
	DES	B1	DEU	B1	SATURADO	4 CONVENCIONAL	4
	DNU	B2	DNA	B2			
	CEA	B1	CES	B1	ESCOVADO	6	
	CNS	B2	CNU	B1	NÃO ESCOVADO	6	
D2	RES	B3	REU	B3	AMBIENTE (seco)	4 ROLADO	4
	RNU	B4	RNA	B4	ÚMIDO	4 DESEMPENADO	4
	DEA	B3	DES	B3	SATURADO	4 CONVENCIONAL	4
	DNS	B4	DNU	B4			
	CEU	B3	CEA	B3	ESCOVADO	6	
	CNA	B4	CNS	B4	NÃO ESCOVADO	6	
D3	REA	B5	RES	B5	AMBIENTE (seco)	4 ROLADO	4
	RNS	B5	RNU	B5	ÚMIDO	4 DESEMPENADO	4
	DEU	B5	DEA	B5	SATURADO	4 CONVENCIONAL	4
	DNA	B5	DNS	B5			
	CES	B5	CEU	B5	ESCOVADO	6	
	CNU	B5	CNA	B5	NÃO ESCOVADO	6	

Quadro 4: distribuição dos ensaios

Para os ensaios foram moldadas 36 placas de concreto com as dimensões de 25x35x5 cm, estas medidas foram estabelecidas de modo a atender a especificação da NBR 13528:2010, que estabelece uma distância mínima de 50 mm entre os pontos de arrancamento e das quinas. Dessa forma, cada placa após a aplicação do chapisco contemplou 6 arrancamentos. Para que se obtivesse uma face constante e sem a necessidade de uso de desmoldante, utilizou-se como fundo de forma uma peça de compensado naval, tipicamente utilizado na confecção de fôrmas para a estrutura de concreto armado de edificações convencionais, sendo esta substituída a cada concretagem, como pode ser observado na figura 17.



Figura 17: remoção do fundo de fôrma que garantiu uma base homogênea

Após a desforma, as placas foram mantidas durante 21 dias após a concretagem em cura submersa em água com cal, figura 18, de onde foram retiradas e lavadas, para a remoção da sujidades provenientes da cura e posterior secagem em câmara climatizada com temperatura e umidade controladas (25 °C e 75%), como pode ser observado a figura 19, por mais 7 dias.



Figura 18: cura submersa dos substratos



Figura 19: substratos em ambiente controlado de secagem

Vinte e oito dias após a concretagem, metade das placas passaram pelo processo de escovação manual com o uso de escova metálica, como pode ser observado da figura 20. As placas correspondentes aos substratos saturados foram mantidos durante 24h, antes da aplicação do chapisco, submersos em água limpa, como é mostrado na figura 21; para o substrato úmido, cada placa foi umedecida 4 minutos antes da aplicação do chapisco, como pode ser visto na figura 22, e para o substrato dito ambiente, as placas foram utilizadas na condição em que se encontravam na câmara climatizada, sem nenhum outro processo de secagem ou umedecimento, para a aplicação da camada de preparo.



Figura 20: processo manual de escovação do substrato

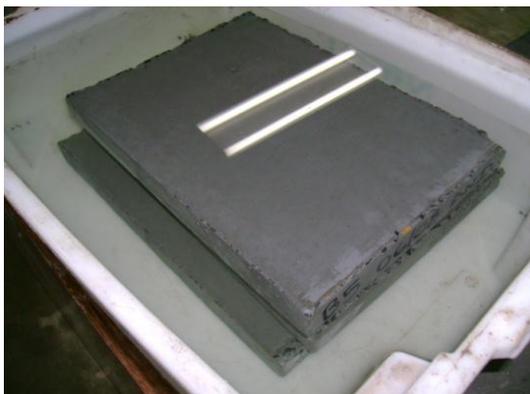


Figura 21: processo de saturação do substrato



Figura 22: processo de umedecimento do substrato

Após o preparo do substrato, foram executados os chapiscos:

- a) chapisco lançado com colher;
- b) o chapisco desempenado;
- c) o chapisco rolado.

Nos dois últimos chapiscos citados, foram utilizadas argamassas industrializadas específicas para cada tipo de aplicação, e foram misturados e aplicados conforme indicação do fabricante. Para o chapisco lançado com colher foi utilizado cimento CP II-Z e areia graduada, utilizando-se o traço 1:3 (cimento:areia seca) em volume. Após a aplicação dos chapiscos as placas foram mantidas em câmara climatizada novamente por 31 dias após a aplicação do chapisco.

Após este processo de cura dos chapiscos foram executados os ensaios de resistência de aderência à tração prescrito pela NBR 13528/2010.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas características dos materiais e os métodos utilizados.

5.2.1 Cimento

O cimento utilizado para a confecção do substrato e para o chapisco lançado com colher foi o CP II-Z, que consiste um cimento composto com adição de pozolana, cujas características estão descritas no quadro 5. Os resultados apresentados na figura abaixo foram obtidos em ensaios realizados no laboratório do NORIE-UFRGS (superfície específica Blaine e massa específica), e a partir de dados fornecidos pelo fabricante (restante).

ENSAIO	MÉTODO	RESULTADOS – CP II-Z
• Superfície específica Blaine	NBR NM 76/98	489,63 m ² /kg
• Massa específica	NBR NM 23/01	2,95 g/cm ³
• Finura peneira n° 200	NBR 11579/91	3,40 %
• Início de pega	NBR NM 65/02	256 minutos
• Fim de pega	NBR NM 65/02	334 minutos
• Resistência à compressão 7 dias	NBR 7215/96	29,4 MPa
• Resistência à compressão 28 dias	NBR 7215/96	36,7 MPa
• Resíduo insolúvel	NBR NM 22/04	11,50 %

Quadro 5: caracterização do cimento utilizado

5.2.2 Areia (concreto)

A areia utilizada na confecção do concreto do substrato foi uma areia comercialmente denominada como **areia média** de origem quartzosa, proveniente do Rio Jacuí, Rio Grande do Sul. As características desta areia é descrita no quadro 6.

ABERTURA DA PENEIRA	% RETIDA	% ACUMULADA
4,75 mm	1	1
2,36 mm	4	5
1,18 mm	11	16
600 μm	19	35
300 μm	34	69
150 μm	26	95
<150 μm	5	100
Módulo de finura		2,21
Dimensão máxima (mm)		2,36
Massa unitária (NBR NM 45/95)		1,57 g/cm ³
Massa específica (NBR NM 52/02)		2,50 g/cm ³

Quadro 6: caracterização da areia utilizada na confecção do concreto

5.2.3 Areia (chapisco lançado com colher)

A areia utilizada no traço do chapisco convencional foi a mesma areia origem quartzosa, proveniente do Rio Jacuí, Rio Grande do Sul, porém graduada. Foram utilizadas apenas as frações descritas no quadro 7.

ABERTURA DA PENEIRA	% RETIDA	% ACUMULADA
1,18 mm	25	25
600 μm	25	50
300 μm	25	75
150 μm	25	100
Módulo de finura		2,50
Dimensão máxima (mm)		2,36
Massa unitária (NBR NM 45/95)		1,68 g/cm ³
Massa específica (NBR NM 52/02)		2,50 g/cm ³

Quadro 7: caracterização da areia (chapisco)

5.2.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo que foi utilizado na produção do concreto do substrato foi de origem basáltica, comercialmente denominada de brita zero. Sua caracterização encontra-se no quadro 8.

ABERTURA DA PENEIRA	% RETIDA	% ACUMULADA
19 mm	-	-
9,5 mm	1	1
4,75 mm	81	82
2,36 mm	17	99
1,18 mm	1	100
600 µm	0	100
300 µm	0	100
150 µm	0	100
Módulo de finura		5,82
Dimensão máxima (mm)		9,5
Massa unitária (NBR NM 45/95)		1,38 g/cm ³
Massa específica (NBR NM 52/02)		2,98 g/cm ³

Quadro 8: caracterização do agregado graúdo

5.2.5 Água

Para o trabalho foi utilizada a água do abastecimento local, fornecida pelo Departamento de Água e Esgoto de Porto Alegre (DMAE).

5.2.6 Argamassas para chapisco desempenado e rolado

Foram utilizadas argamassas industrializadas específicas para cada tipo de chapisco, utilizadas em obras de Porto Alegre.

5.3 PRODUÇÃO DOS SUBSTRATOS DE CONCRETO

Foram moldadas placas de concreto a partir de dosagem feita em laboratório, que serviram como substrato para aplicação do chapisco. Para controle da resistência do concreto executado em diferentes dias foram moldados corpos de prova a cada mistura.

5.3.1 Dosagem dos materiais para confecção do concreto

A dosagem do concreto, utilizado para confeccionar os substratos foi feita a partir do método do IPT/EPUSP, com o objetivo de produzir substratos com resistência característica aos 28

dias, de 35 MPa. A partir dessa dosagem chegaram-se as proporções dos materiais apresentadas no quadro 9.

DOSAGEM (TRAÇO)	α (%)	TRAÇO				PROPRIEDADES		CONSUMO CIMENTO (Kg/cm ³)	CONSUMO DE ÁGUA (L/m ³)
		cim	a	p	a/c	H (%)	Slump (cm)		
1:3,73	56	1	1,65	2,08	0,47	9,94	10 +/- 2	461	216,67

Quadro 9: proporcionamento do concreto utilizado na confecção dos substratos

5.3.2 Moldagem das placas utilizadas como substrato

Os substratos foram moldados em três dias, em cada dia foram confeccionadas 12 placas de 25x35x5cm, totalizando as 36 placas, duas para cada conjunto de variáveis estudadas. Para cada mistura foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos de 9,5x19,5cm para controle de resistência à compressão. Totalizaram 5 misturas, 2 no primeiro e segundo dia e 1 no terceiro dia. A fim de minimizar variações das propriedades do concreto no estado fresco, foi mantido constante o volume de concreto produzido em cada mistura.

As fôrmas tiveram o fundo revestido com compensado conhecido comercialmente com compensado naval, a fim de promover uma superfície típica encontrada em estruturas de concreto convencional. Foi utilizado óleo mineral como desmoldante, porém apenas nas laterais da fôrma, para evitar falhas de aderência em função do acúmulo de óleo na superfície.

O adensamento dos corpos de prova e das placas de concreto foi feito com o auxílio de mesa vibratória com tempo mantido sempre constante, para que o processo de adensamento se mantivesse o mesmo ao longo de todas as concretagens.

5.4 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA O CHAPISCO

As argamassas utilizadas no chapisco desempenado e no rolado foram industrializadas específicas disponíveis no mercado para cada técnica de aplicação, e no caso chapisco do lançado com colher, a argamassa foi produzida em laboratório. Todas as argamassas foram misturadas em laboratório sob as mesmas condições e conforme prescrição do fabricante. A mistura foi realizada em um recipiente limpo e seco com o auxílio de um misturador do tipo

hélice acoplado a uma furadeira de baixa rotação. Cada mistura foi feita com uma mesma massa de material seco, 4 kg, para que se conseguisse sempre uma mistura homogênea entre os diferentes dias de ensaio.

O volume de água utilizado nas misturas das argamassas industrializadas foi o especificado pelos fabricantes, já para o lançado com colher, a quantidade de água foi determinada em um teste, por um profissional com experiência em aplicação deste tipo de chapisco, sendo mantida constante a partir disto.

Para cada moldagem foram confeccionados corpos de prova prismáticos para serem submetidos a ensaios de compressão simples e tração na flexão. As proporções utilizadas nas argamassas para o chapisco estão expressas no quadro 10 abaixo.

CHAPISCO	ARGAMASSA					
	cimento (g)	areia (g)			água (g)	
LANÇADO COM COLHER		# 1,2 mm	#0,6 mm	#0,3 mm	#0,15 mm	
		716	910	910	910	910
ROLADO		4000				960
DESEMPENADO		4000				800

Quadro 10: proporções utilizadas nas argamassas dos chapiscos

5.5 APLICAÇÃO DO CHAPISCO

Todos os chapiscos foram aplicados com cuidado para formar uma camada contínua e fechada, com o objetivo de evitar o contato da cola utilizada para fixar as pastilhas utilizadas no ensaio de resistência de aderência à tração. Para cada tipo de chapisco foi mantido o mesmo operador e as mesmas condições ambientais (25 °C e 75% de umidade) em todos os dias de moldagem.

5.5.1 Chapisco lançado com colher

A argamassa de chapisco foi aplicada sempre pelo mesmo profissional e para isto o operador utilizou uma colher de pedreiro e uma bandeja. Para facilitar a aplicação, as placas foram posicionadas na vertical como pode ser observado na figura 23.



Figura 23: aplicação do chapisco lançado com colher

5.5.2 Chapisco rolado

O chapisco rolado foi aplicado conforme especificações do fabricante, em duas passadas em suaves movimentos de vai e vem. Foi mantido o mesmo aplicador em todos os ensaios. Para a aplicação do chapisco, na qual foi utilizado um rolo adequado para textura e uma bandeja (figura 24), o substrato foi posicionado na horizontal (figura 25).



Figura 24: rolo e bandeja utilizados para a aplicação do chapisco rolado



Figura 25: aplicação do chapisco com placa na horizontal

5.5.3 Chapisco desempenado

Para a aplicação do chapisco desempenado foi utilizada uma desempenadeira metálica denteada, conforme especificação do fabricante. Foi aplicada uma camada com o lado liso da desempenadeira, mas para não formar os cordões, evitando o escorrimento da cola utilizada no ensaio para avaliar a resistência de aderência, a segunda passada foi feita com o lado liso novamente, como pode ser visto na figura 26.



Figura 26: aplicação do chapisco desempenado

5.6 ENSAIO DE ADERÊNCIA

Para o ensaio de resistência de aderência prescrito pela NBR 13528/2010, foram feitos cortes obtendo-se 6 corpos de prova, respeitando 50 mm entre eles e das bordas, tal cuidado é ilustrado na figura 27.



Figura 27: espaçamento de 50 mm entre arrancamentos

Após os cortes foi executada a colagem das pastilhas com o uso de adesivo epóxi, esta colagem se deu 24 horas antes da aplicação da carga de tração. Para submeter os corpos de prova a tração foi utilizado um aderímetro digital com resolução de 1,00kgf, mantendo a taxa de incremento constante em 6kgf/s. O equipamento é apresentado na figura 28.



Figura 28: aderímetro digital

Os ensaios de resistência de aderência foram executados 31 dias após a aplicação das argamassas de chapisco. Estes 31 dias são correspondentes aos 3 dias de aplicação do chapisco mais os 28 dias de cura da argamassa de chapisco.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta etapa final do trabalho são apresentados os resultados e as análises do mesmo.

6.1 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

6.1.1 Resistência à compressão do concreto

Como controle da resistência à compressão do concreto, entre os diferentes dias de moldagem dos substratos, foram moldados corpos de prova cilíndricos que receberam o mesmo processo de cura das placas. As resistências médias obtidas em cada mistura estão apresentadas no quadro 11.

DATA DA MOLDAGEM	DATA DA RUPTURA	MISTURA	RESISTÊNCIA (MPa)	RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO	
03/ago	31/ago	1	34,42	35,32	2,48	
			38,12			
			33,41			
		2	33,58	35,13		2,06
			37,47			
			34,34			
04/ago	01/set	3	38,37	37,47	0,806523	
			36,82			
			37,22			
		4	37,50	38,43		1,612799
			37,50			
			40,29			
06/ago	01/set	5	37,32	36,48	0,88	
			35,56			
			36,56			

Quadro 11: resultados de resistência à compressão dos concretos utilizados como substrato

6.1.2 Resistência à compressão e à tração na flexão das argamassas dos chapiscos

Em cada dia de aplicação dos chapiscos, foram moldados 3 corpos de prova prismáticos 40x40x160 mm, segundo a NBR 13279/2005. Os resultados obtidos são apresentados no quadro 12. A mesma Norma estabelece uma variabilidade máxima para cada um dos dois ensaios. Para resistência à tração na flexão, são obtidos 3 resultados e o desvio absoluto máximo, não deve ser superior a 0,3 MPa. No caso da resistência à compressão, são obtidos 6 resultados e o desvio absoluto máximo, não deve ser maior que 0,5 MPa. Os resultados que não estiverem dentro destas condições citadas para cada um dos ensaios devem ser excluídos, e com os restantes deve ser calculada uma nova média.

A NBR 13279/2005 exige ainda, pelo menos 2/3 dos resultados possam ser considerados, ou o ensaio deve ser repetido. Os resultados obtidos não atendem este item da norma, e deveriam ser repetidos, o que não foi feito em função do tempo disponível.

CORPO DE PROVA		FLEXÃO (MPa)	COMPRESSÃO 1 (MPa)	COMPRESSÃO 2 (MPa)	FLEXÃO (MPa)		COMPRESSÃO (MPa)	
					MÉDIA	DESVIO PAD.	MÉDIA	DESVIO PAD.
D1	C	4,64	8,99	8,99	4,03	0,53	10,02	1,00
	C	3,75	9,46	11,18				
	C	3,70	10,98	10,55				
D2	C	3,42	8,45	8,65	3,67	0,39	8,73	0,38
	C	3,47	9,11	8,49				
	C	4,13	8,38	9,30				
D3	C	3,70	8,83	8,04	3,31	0,43	8,50	1,29
	C	2,86	6,75	7,78				
	C	3,38	9,05	10,54				
D1	D	4,13	10,39	8,15	4,59	0,43	8,37	1,72
	D	4,97	6,71	10,51				
	D	4,69	6,61	7,83				
D2	D	4,13	9,05	9,40	3,89	0,23	9,25	0,42
	D	3,89	8,76	9,99				
	D	3,66	9,11	9,16				
D3	D	3,94	10,08	8,48	3,81	0,12	8,76	0,89
	D	3,70	8,46	9,31				
	D	3,80	7,43	8,81				
D1	R	4,45	8,96	11,00	4,05	0,38	8,73	1,38
	R	3,98	6,66	8,70				
	R	3,70	8,58	8,49				
D2	R	3,80	6,94	7,20	3,34	0,39	6,80	0,27
	R	3,09	6,38	6,81				
	R	3,14	6,80	6,68				
D3	R	3,98	10,70	10,69	3,72	0,35	8,86	1,45
	R	3,33	7,74	7,80				
	R	3,84	7,76	8,45				

Quadro 12: resultados de resistência à tração na flexão e à compressão segundo a NBR 13279/2005

6.2 RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA

Este ensaio foi executado segundo a NBR 13528/2010, sendo composto de 12 corpos de prova para cada condição avaliada. Esta mesma norma também estabelece que deve ser extraído um testemunho da argamassa para calcular o teor de umidade da argamassa, no caso deste trabalho isto não foi possível em função da pequena espessura e alta aderência da argamassa ao substrato. Os corpos de prova foram mantidos em ambiente com umidade e temperatura controlada até o dia do ensaio. O ensaio de resistência de aderência à tração não

foi feito em ambiente controlado, porém as temperaturas e umidades de início e fim foram monitoradas em cada dia de ensaio, como pode ser visto na figura 29.

RUPTURA D1	01/10/2010	RUPTURA D2	02/10/2010	RUPTURA D3	04/10/2010
TEMPERATURA	início: 23,9° C	TEMPERATURA	início: 19,0° C	TEMPERATURA	início: 23,8° C
	final: 24,0° C		final: 19,8° C		final: 22,8° C
UMIDADE	início: 62%	UMIDADE	início: 63%	UMIDADE	início: 57%
	final: 62%		final: 53%		final: 62%

Figura 29: umidade e temperatura de início e fim de ensaio

Para verificar a forma de ruptura de cada arrancamento foi feita uma adaptação da Norma, prevendo só as formas de ruptura possível, como pode é apresentado na figura 30.

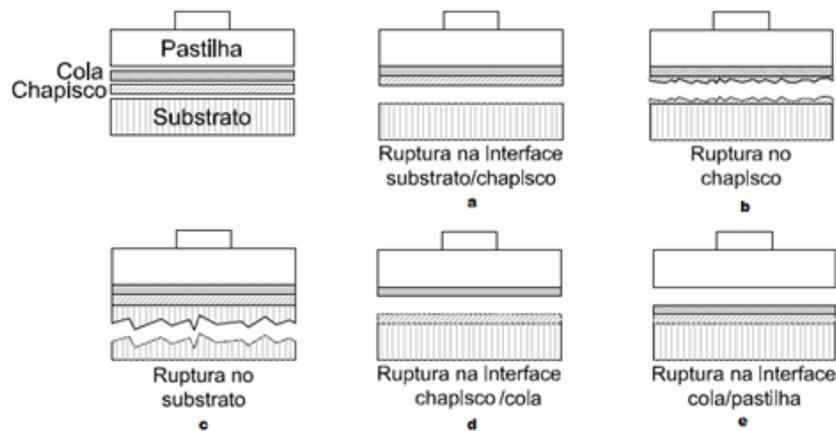
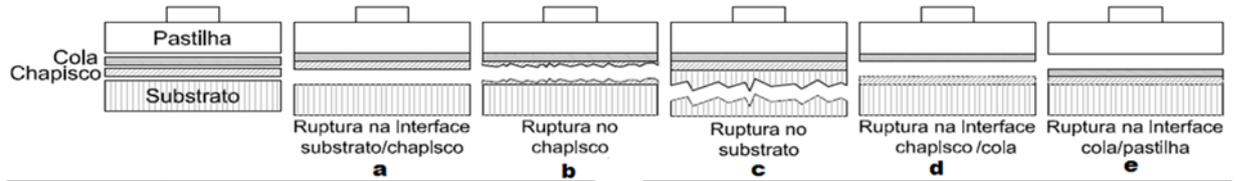


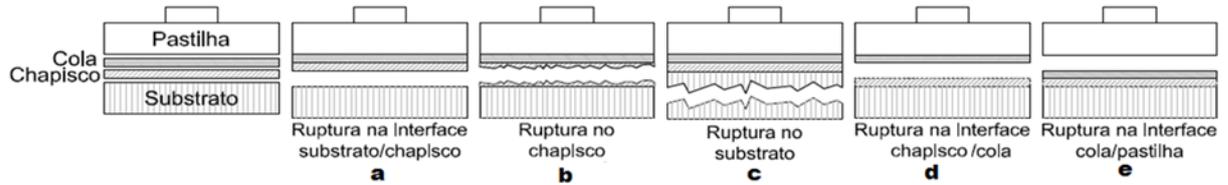
Figura 30: rupturas possíveis no programa experimental (adaptado de NBR 13528/2010)

Estas imagens com as formas de ruptura foram utilizadas com cabeçalho das planilhas que apresentam os resultados de resistência de aderência à tração, para facilitar o entendimento da forma de ruptura de cada corpo de prova. As planilhas de aderência de cada tipo de chapisco são apresentadas nos quadros 31, 32 e 33.



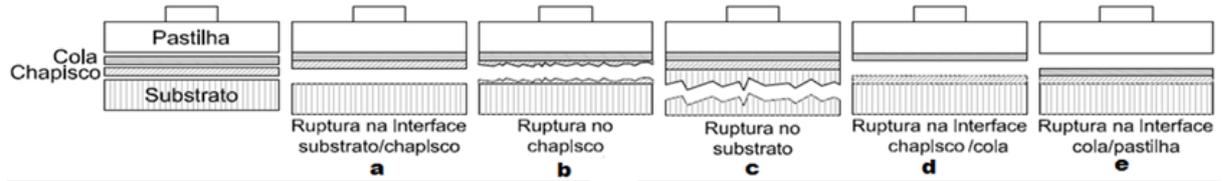
CP	DIA	N°	TENSÃO(MPa)	RUPTURA (%)							
				a	b	c	d	e			
CEA	D1	25	1,87	5	15		80				
		26	1,61	20	80						
		27	1,75	30	70						
		28	1,45	50	50						
		29	1,72	5	95						
		30	1,52	20	80						
	D2	133	1,79	45	55						
		134	1,57	50	50						
		135	1,18	90	10						
		136	1,05	55	45						
		137	1,44	40	60						
		138	1,76	75	25						
	CEU	D2	97	1,38	85	15					
			98	1,12	95	5					
99			1,20	90	10						
100			1,47	40	60						
101			1,38	85	5						
102			1,12	100							
D3		205	0,88	90	5	5					
		206	1,12	95		5					
		207	1,29	60	40						
		208	1,35	80	20						
209	1,44	95		5							
210	1,56	60	40								
CES	D1	61	1,26	90	10						
		62	1,04	20	80						
		63	1,02	30	70						
		64	1,23	70	30						
		65	1,47	40	60						
		66	1,77		90		10				
	D3	169	1,56	5	95						
		170	1,45	40	55	5					
		171	1,25	85	15						
		172	1,35	10	80						
		173	1,51		100						
		174	1,45	55	45						
	CNA	D2	103	1,46	100						
			104	1,19	90	10					
105			1,32	95	5						
106			0,69	95	5						
107			1,18	90	10						
108			0,00								
D3		211	0,53	90	10						
		212	1,30	40	60						
		213	1,59	30	70						
		214	0,63	100							
		215	0,56	95	5						
		216	0,88	90	10						
CNU		D1	67	1,76	20	80					
			68	1,54	20	80					
	69		1,80	50	50						
	70		1,54	40	60						
	71		2,05	70	30						
	72		1,90	70	30						
	D3	175	1,33	70	30						
		176	1,47	40	60						
		177	1,65	80	20						
		178	1,28	55	45						
179	1,67	50	50								
180	1,30	90	10								
CNS	D1	31	1,10					100			
		32	1,14	40	55	5					
		33	0,90	80	20						
		34	1,12	95	5						
		35	1,09	30	45		25				
		36	1,20	20	80						
	D2	139	0,98	100							
		140	0,87	85	15						
		141	0,96	100							
		142	1,01	100							
143	1,16	15	85								
144	1,26	40	60								
CHAPISCO				TRATAMENTO SUPERFICIAL				CONDIÇÃO DE UMIDADE SUBSTRATO			
C- Lançado com colher				E- escovado N- não escovado				A- ambiente U- úmido S- saturado			

Quadro 13: resistência de aderência à tração e forma de ruptura de cada condição, para o chapisco lançado com colher, convencional (C)



CP	DIA	N°	TENSÃO(MPa)	RUPTURA (%)							
				a	b	c	d	e			
REA	D1	37	2,37	70	20	10					
		38	3,00	40	40	20					
		39	2,52	20	40	40					
		40	1,99	58	40	2					
		41	2,35	70	20	10					
		42	2,62	20	72	8					
	D3	145	1,99	30	70						
		146	1,99	20	78	2					
		147	1,87	20	78	2					
		148	1,83	20	80						
		149	1,70	20	80						
		150	1,66	20	80						
REU	D1	1	2,30	15	55	30					
		2	2,33	20	65	15					
		3	2,46	20	45	35					
		4	2,07	8	90	2					
		5	2,25	25	70	5					
		6	2,49	30	55	15					
	D2	109	2,01		100						
		110	2,22	15	85						
		111	2,21	10	85	5					
		112	2,37	15	85						
		113	1,89	10	90						
		114	2,18	5	95						
RES	D2	73	1,60	10	90						
		74	1,49	20	80						
		75	1,58	5	95						
		77	1,44	20	80						
		78	1,59	15	85						
		79	0,00	10	90						
	D3	181	1,12	50	50						
		182	1,39	30	70						
		183	1,45	50	50						
		184	1,40	60	40						
		185	1,35	50	50						
		186	1,38	20	80						
RNA	D1	7	2,12	35	25	90					
		8	1,81	40	60						
		9	1,83	20	80						
		10	2,20	25	25	50					
		11	1,93	55	30	15					
		12	1,86	20	75	5					
	D2	115	2,08	20	75	5					
		116	2,09	15	70	15					
		117	2,00	5	85	10					
		118	1,99	15	80	5					
		119	2,10	20	70	10					
		120	2,32	20	70	10					
RNU	D2	79	2,22	15	75	10					
		80	2,37	30	70						
		81	2,02	10	85	5					
		82	2,06	20	75	5					
		83	2,10	30	70						
		84	1,84	20	75	5					
	D3	187	1,19	50	50						
		188	1,21	50	10	40					
		189	1,03	90	10						
		190	1,41	40	60						
		191	1,45	50	50						
		192	1,16	50	50						
RNS	D1	43	1,73	30	70						
		44	198,00					100			
		45	1,55	25	75						
		46	2,06	60	40						
		47	1,85	15	85						
		48	280,00					100			
	D3	151	1,70	50	50						
		152	1,45	30	70						
		153	1,67	50	50						
		154	1,37	60	40						
		155	1,45	50	50						
		156	1,94	20	80						
CHAPISCO				TRATAMENTO SUPERFICIAL				CONDIÇÃO DE UMIDADE SUBSTRATO			
R- rolado				E- escovado N- não escovado				A- ambiente U- úmido S- saturado			

Quadro 14: resistência de aderência à tração e forma de ruptura de cada condição, para o chapisco rolado (R)



CP	DIA	N°	TENSÃO(MPa)	RUPTURA (%)							
				a	b	c	d	e			
DEA	D3	193	1,5546	40	60						
		194	1,4187	30	70						
		195	1,5928	40	60						
		196	1,4230	50	50						
		197	1,3487	70	30						
		198	1,9535	30	70						
DEA	D2	85	1,6591	80	20						
		86	1,6998	100							
		87	1,6147	100							
		88	1,7384	90	10						
		89	1,6544	100							
		90	0,9379	100							
DEU	D3	157	1,5649	60	40						
		158	1,3219	60	35			5			
		159	1,4878	60	40						
		160	1,4309	30	70						
		161	1,7107	60	40						
		162	1,3827	30	70						
DEU	D1	49	1,3101	75	25						
		50	1,5230	95	5						
		51	1,6434	75	10		15				
		52	1,3704	80	20						
		53	1,4016	90	10						
		54	1,2883	85	15						
DES	D1	13	0,9237	100							
		14	0,8913	100							
		15	0,9707	100							
		16	1,1997	93	7						
		17	1,0547	100							
		18	0,9361	100							
DES	D2	121	1,2786	100							
		122	1,5686	95	5						
		123	1,4183	100							
		124	1,2541	95	5						
		125	1,2156	90	10						
		126	1,1425	100							
CHAPISCO				TRATAMENTO SUPERFICIAL				CONDIÇÃO DE UMIDADE SUBSTRATO			
D- desempenado				E- escovado N- não escovado				A- ambiente U- úmido S- saturado			

CP	DIA	N°	TENSÃO(MPa)	RUPTURA (%)				
				a	b	c	d	e
DNA	D3	154	1,7742	40	55			5
		155	1,4867	20	80			
		156	1,9506	20	80			
		157	1,5861	15	85			
		158	1,5689	20	80			
		159	1,4783	50	50			
DNA	D1	55	1,7315					100
		56	1,7589					100
		57	1,6032					100
		58	1,5900					100
		59	1,8277					100
		60	1,7431	20				80
DNU	D1	19	1,7371					40
		20	1,5821	30	70			
		21	1,6126	30	70			
		22	1,6773		10			90
		23	1,6452	20	80			
		24	1,4118	30	70			
DNU	D2	61	1,4468	70	30			
		62	1,9434	60	40			
		63	1,8885	70	30			
		64	1,5603	70	30			
		65	2,0581	60	40			
		66	1,7052	80	20			
DNS	D3	25	1,3364	95	5			
		26	1,6332	80	20			
		27	1,4965	90	10			
		28	1,4625	90	10			
		29	1,7011	70	30			
		30	1,7983	95	5			
DNS	D2	91	0,7579	90	10			
		92	1,3036	100				
		93	1,4978	95	5			
		94	1,5695	95	5			
		95	1,5476	95	5			
		96	1,8660	70	30			

Quadro 15: resistência de aderência à tração e forma de ruptura de cada condição, para o chapisco desempenado (D)

6.3 ANÁLISES DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração foi realizada uma análise estatística (ANOVA), com auxílio do programa STATISTICA 7.0. No quadro 16 são apresentados os resultados obtidos.

	Interação	SQ	GL	MQ	F(cal)	p	Efeito
1	Tipo de chapisco	10,8084	2	5,4042	83,756	0,000000	SIGNIFICATIVO
2	Condição de umidade	4,0294	2	2,0147	31,225	0,000000	SIGNIFICATIVO
3	Tratamento superficial	0,0382	1	0,0382	0,592	0,442609	NÃO SIGNIFICATIVO
4	Interação (1) - (2)	1,2458	4	0,3114	4,827	0,000987	SIGNIFICATIVO
5	Interação (1) - (3)	1,8290	2	0,9145	14,174	0,000002	SIGNIFICATIVO
6	Interação (2) - (3)	0,6751	2	0,3376	5,232	0,006130	SIGNIFICATIVO

MQ = média quadrada F (cal) = valor calculado de F GDL = graus de liberdade
 Se valor de p < 0,05: efeito significativo (para um nível de significância de 95%)

Quadro 16: Análise de variância da resistência de aderência à tração

De acordo com a análise estatística o tipo de chapisco mostrou-se estatisticamente significativo. Como pode ser observado na figura 31, os chapiscos confeccionados com argamassas industrializadas e que possuem aditivos químicos apresentaram resultados de resistência de aderência à tração estatisticamente significativos maiores em relação ao chapisco lançado com colher. Dentre os três tipos de chapiscos estudados, o rolado apresentou a maior resistência de aderência à tração. Cabe salientar que o chapisco rolado utilizado nesta pesquisa é o único disponível no mercado deste tipo recomendado para uso externo e é um produto já pré-misturado, ou seja, o aditivo não é colocado separadamente na obra. Apesar do chapisco lançado com colher ter apresentado o pior desempenho dentre os chapiscos estudados, os resultados de resistência de aderência à tração de todos os chapiscos foi superior ao mínimo exigido pela NBR 13528/2010, que é de 0,30 MPa.

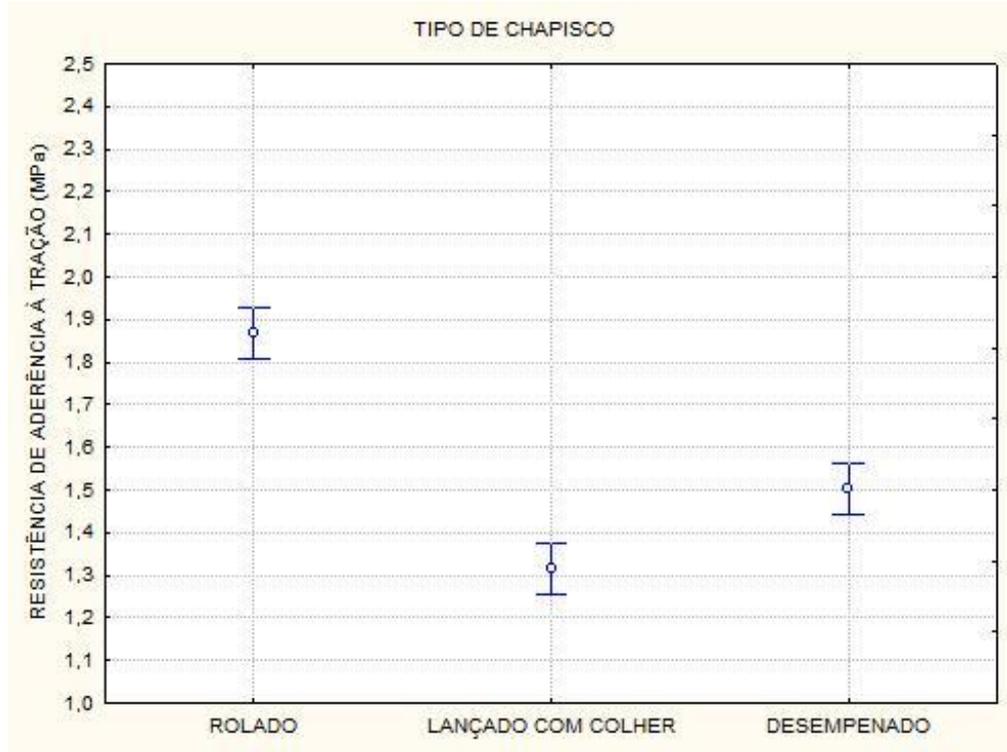


Figura 31: Efeito isolado do tipo de chapisco na resistência de aderência à tração.

A figura 32, mostra o comportamento da resistência de aderência em função da umidade do substrato, onde pode ser visto que a saturação da base, proporcionou uma diminuição estatisticamente significativa da resistência de aderência à tração.

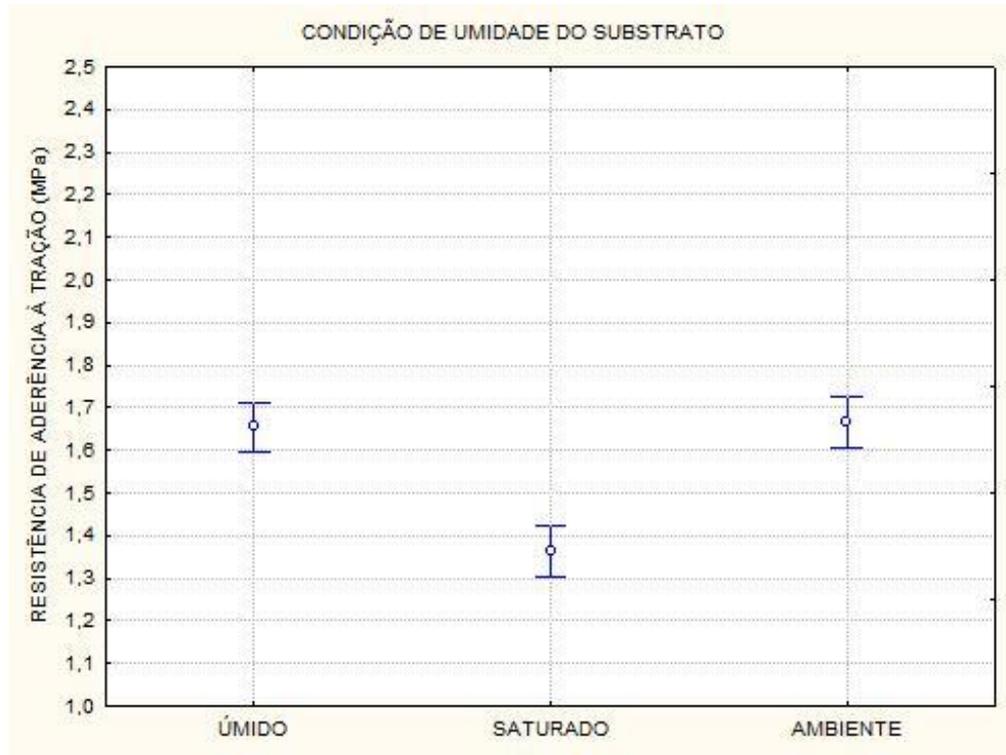


Figura 32: resistência de aderência à tração em função da umidade do substrato

Para entender esse comportamento foi avaliada a interação com o tipo de chapisco e o tratamento superficial, como pode ser visto na figura 33, o tratamento superficial se mostrou estatisticamente significativo para cada um dos tipos de chapisco.

O chapisco rolado e o lançado com colher (convencional) apresentam aumento significativo na resistência de aderência à tração devido a escovação do substrato. Entretanto, no chapisco desempenado, o efeito da escovação foi inverso, a resistência de aderência à tração foi prejudicada com este processo. Isto pode estar ligado ao fato que a aderência do chapisco desempenado é basicamente consequência de uma aderência química. No momento em que se acrescenta uma rugosidade, em função da viscosidade da argamassa, as superfícies podem gerar um afastamento que dificulta que ocorram ligações moleculares.

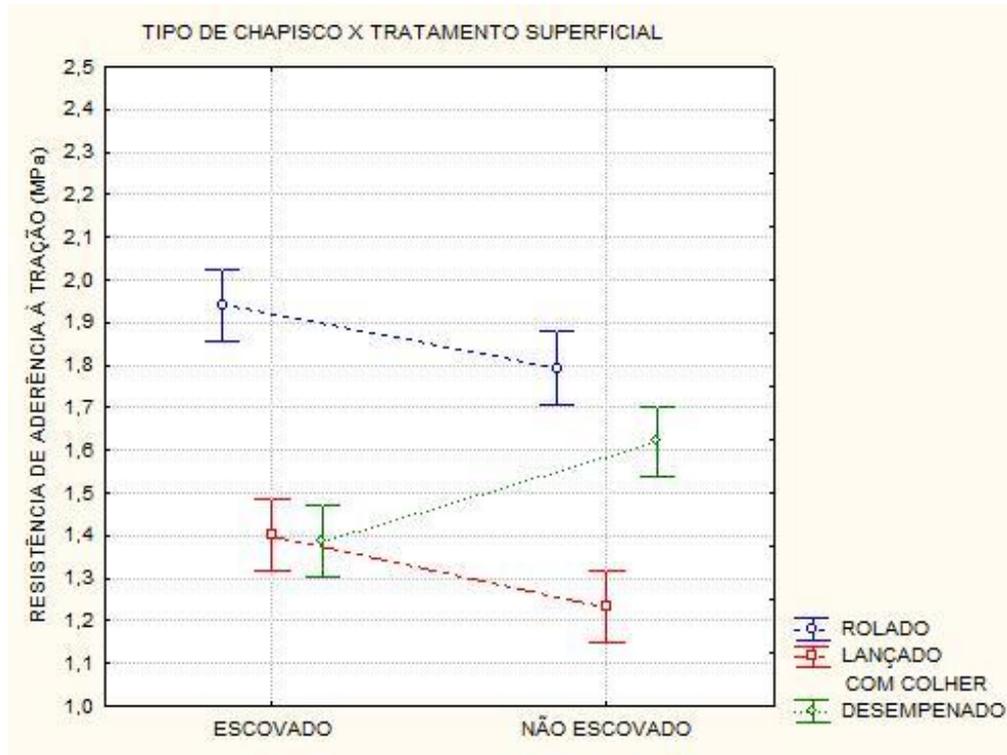


Figura 33: interação entre o tipo de chapisco com o tratamento superficial da base (a ligação dos pontos com linhas tracejadas tem a única função de facilitar a visualização)

A resistência de aderência à tração em função da interação entre o tipo de chapisco com a condição de umidade é mostrada na figura 34, onde se pode observar a diminuição da resistência de aderência à tração de todos os tipos de chapisco quando aplicado sobre um substrato de concreto saturado. Nesta mesma figura observa-se que quando utiliza-se o chapisco lançado com colher, o melhor desempenho é quando molha-se a superfície. Esta condição provavelmente auxilia a extensão de aderência da argamassa de chapisco bem como a hidratação do cimento.

Já para o chapisco rolado e o desempenado, os maiores resultados são obtidos com substrato seco (ambiente) para a temperatura de 25° C. Isto se deve provavelmente porque estas argamassas possuem aditivos retentores de água, o que pode gerar uma zona com maior relação água/cimento e conseqüentemente menores valores de resistência de aderência à tração.

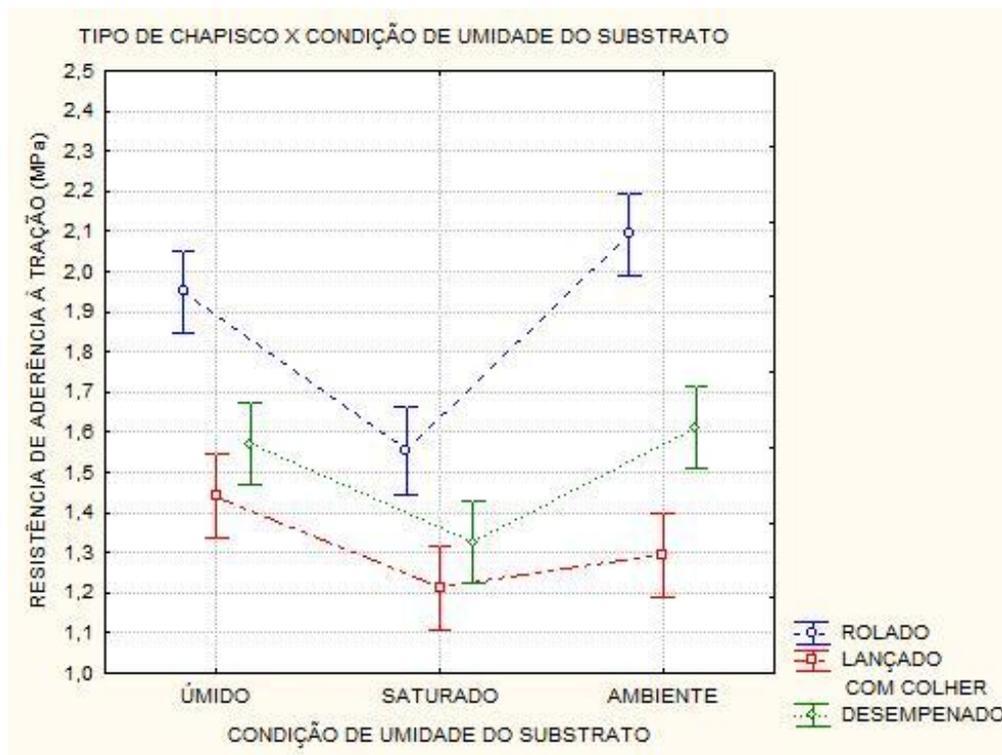


Figura 34: interação entre o tipo de chapisco com a condição de umidade do substrato (a ligação dos pontos com linhas tracejadas tem a única função de facilitar a visualização)

No gráfico da figura 35 foi analisada a interação entre a condição de umidade e o tratamento superficial. Esta análise se mostrou estatisticamente significativa, mostrando que a escovação do substrato de concreto apenas melhora a resistência de aderência à tração, quando a umidade do substrato estiver em condição de equilíbrio com o ambiente, podendo ser considerado **seco**. Para um chapisco aplicado sobre um substrato úmido, a escovação não teve efeito. Em chapiscos aplicados sobre substratos saturados, a escovação prejudicou a resistência de aderência à tração. O processo de escovação só se mostrou eficiente, quando o chapisco foi aplicado sobre substrato **seco** (em equilíbrio com o ambiente). Isto provavelmente acontece pois quando realiza-se a escovação, há um aumento de rugosidade superficial que proporcionará uma maior exposição de poros capilares com consequente aumento de área de absorção de água com aglomerante dissolvido e uma maior extensão de aderência. No caso dos substratos úmido e saturado, a maior rugosidade gerada será preenchida por água, não implicando em nenhum acréscimo efetivo de área de contato ou absorção.

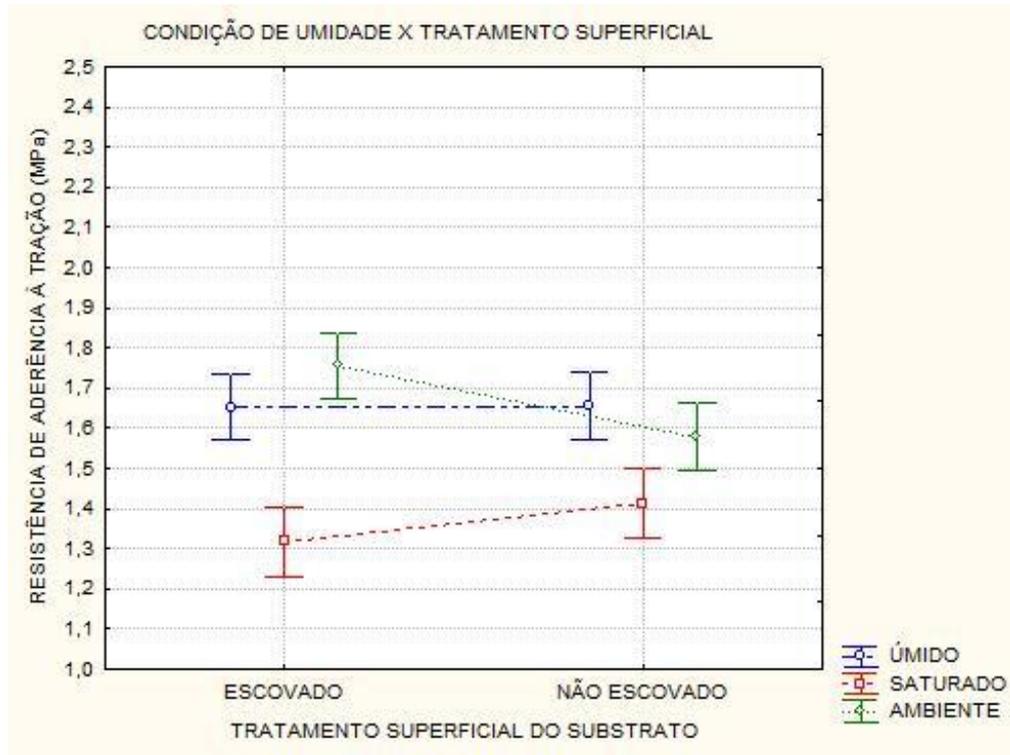


Figura 35: interação entre a condição de umidade e tratamento superficial do substrato (a ligação dos pontos com linhas tracejadas tem a única função de facilitar a visualização)

7 CONCLUSÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, através do ensaio de resistência de aderência à tração, submetidos à análise de variância (ANOVA) conclui-se que os diferentes tipos de chapisco apresentam variação no desempenho quanto à resistência de aderência à tração, quando as condições de preparo do substrato são variadas. Com os materiais estudados neste trabalho, os melhores resultados de resistência de aderência à tração foram obtidos quando utilizou-se chapisco rolado, seguido do chapisco desempenado e chapisco aplicado com colher, respectivamente. E os valores mais baixos de resistência de aderência foram obtidos quando os substratos estavam saturados.

O chapisco lançado com colher, ao contrário do que se esperava, em condições controladas, de produção e aplicação da argamassa, bem como a limpeza do substrato, resultou em resistências de aderência à tração satisfatórias em todas as condições estudadas. Porém a através da análise estatística, verificou-se que falta de escovação e a saturação do substrato resulta em uma diminuição significativa da resistência de aderência à tração. A saturação do substrato resultou no mesmo efeito em todos os tipos de chapisco, uma redução significativa na resistência de aderência à tração. Com a saturação dos poros da base, não há transporte de água da argamassa para o substrato e conseqüentemente ocorre uma diminuição da penetração da pasta da argamassas nos poros, o que prejudica o intertravamento da pasta de argamassa de chapisco com os poros da base.

A escovação apenas não se mostrou eficiente no caso do uso de chapisco desempenado. A escovação dos substratos se mostrou prejudicial para resistência de aderência à tração, quando da presença de muita umidade na base, ou seja, condição saturada. E a sua maior contribuição é quando o substrato encontra-se em condição ambiente.

Quando do uso de chapiscos com aditivos pode-se dizer que quando aplicada a escovação, o substrato deve estar seco, em equilíbrio com o ambiente, para aplicação do mesmo. Pois somente houve ganho significativo de resistência de aderência à tração, quando o substrato estava na condição considerada ambiente (seco, em equilíbrio com o ambiente, 25° C e 75% de umidade). Já para o chapisco aplicado com colher, recomenda-se umedecer o substrato.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-67-92a**: standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile. Philadelphia, 1992.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2005. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

ARAÚJO, G. S. **Estudo dos parâmetros texturais das areias de argamassas de revestimento através da análise de imagens**. 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificações. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15258**: argamassa para revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

BAÍÁ, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa: primeiros passos da qualidade no canteiro de obras**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2001. 82 p.

BASTOS, P. K. X. **Retração e Desenvolvimento de Propriedades Mecânicas de Argamassas Mistas de Revestimento**. 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

CEOTTO, L. H.; BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de argamassa: boas práticas em projeto, execução e avaliação**. Porto Alegre, Recomendações Técnicas Habitare, v. 1, ANTAC, 2005. 96 p.

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao Estudo da Aderência de Revestimento de Argamassa e chapiscos em Substrato**. 2009. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOURA, C. B. **Aderência de Revestimentos Externos de Argamassa em Substratos de Concreto**: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PAES, I. N. L. **Avaliação do Transporte de Água em Revestimentos de Argamassa nos Momentos Iniciais Pós-Aplicação**. 2004. 189 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa**. 2007. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.