

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

Cyane Tusset

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REVESTIMENTO
EXTERNO DE ARGAMASSA QUANTO À
PERMEABILIDADE E RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA –
ESTUDO DE CASO**

Porto Alegre
dezembro 2010

CYANE TUSSET

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REVESTIMENTO
EXTERNO DE ARGAMASSA QUANTO À
PERMEABILIDADE E RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA –
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Diplomação a ser 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

Porto Alegre
dezembro 2010

CYANE TUSSET

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REVESTIMENTO
EXTERNO DE ARGAMASSA QUANTO À
PERMEABILIDADE E RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA –
ESTUDO DE CASO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 20 de dezembro de 2010

Profa. Angela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Angela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Ana Paula Kirchheim
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
Ms. pela Universidade Federal de Santa Maria

Dedico este trabalho a minha família, Valdir, Noeli e Maykel, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Profa. Angela Borges Masuero, orientadora deste trabalho, pela atenção e tempo dedicados a orientação, sempre com soluções positivas e esclarecedoras para o trabalho.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt, coordenadora da disciplina, que esteve sempre disposta e acessível ao esclarecimento de dúvidas.

Agradeço ao meu pai, Valdir, que me acompanhou incansável em todos os ensaios de campo que realizei neste trabalho.

Agradeço a minha mãe, Noeli, pelo apoio e motivação durante este trabalho.

Agradeço ao meu irmão, Maykel, por ceder os empreendimentos para teste e pela ajuda durante o trabalho esclarecendo dúvidas e revisando até na madrugada.

Agradeço aos amigos Débora e Polese que receberam inúmeros telefonemas com dúvidas e sempre foram atenciosos.

Agradeço aos estagiários da Mallmann & Tusset que me ajudaram com o desenvolvimento dos ensaios e me responderam sempre dispostos aos questionamentos pertinentes.

Agradeço ao pessoal do Norie, que cederam os equipamentos emprestados, e ao Airton que me instruiu para execução correta dos ensaios.

Agradeço também aos meus amigos Lízia, Mariano, Mariana e Daniela pela amizade e companhia durante o período acadêmico.

Agradeço também a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram com a realização deste trabalho.

O valor das coisas não está no tempo em que elas duram,
mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem
momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas
incomparáveis.

Fernando Pessoa

RESUMO

TUSSET, C. **Avaliação de Desempenho de Revestimento Externo de Argamassa Quanto à Permeabilidade e Resistência à Aderência – Estudo de Caso**. 2010. 65 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O presente trabalho refere-se a avaliações de revestimentos externos argamassados na cidade de Caxias do Sul, específicos de uma construtora, em função de suas características referentes à permeabilidade e resistência à aderência. A partir da revisão da literatura evidenciaram-se os pontos críticos das edificações e as características que implicam na redução do desempenho dos revestimentos quanto à aderência e à permeabilidade, que são: os materiais, o tipo de substrato em que está aplicado, a forma de aplicação, a incidência de chuva, o meio em que a edificação está inserida. Foram realizados ensaios de resistência à aderência e permeabilidade de revestimentos de fachada, ensaios sugeridos pelas Normas NBR 13528/2010 e NBR 15575-4/2008, respectivamente. Estes ensaios avaliaram a qualidade dos revestimentos estudados, em relação às exigências das normas, comparando diferentes argamassas, industrializada e misturada *in loco*, e também pela riqueza dos traços. Realizaram-se sete ensaios de resistência à aderência e quatro ensaios de permeabilidade. No decorrer dos ensaios se constatou que o ensaio de permeabilidade não era aplicável a revestimentos argamassados, devido à grande porosidade do material. Foram feitos, então, 2 ensaios com caráter de avaliação da viabilidade do ensaio de permeabilidade em revestimentos argamassados com pintura acrílica. Concluiu-se que os revestimentos estudados se comportaram de maneira usual quando avaliados em função de sua resistência à aderência, sendo os revestimentos executados com argamassa industrializada menos aderentes mas com maior homogeneidade nas tensões de ruptura e, os revestimentos feitos com argamassa misturada *in loco*, mais aderentes, mas com variações grandes nas tensões de um mesmo ensaio. Concluiu-se também que o teste de permeabilidade proposto pela Norma 13528/2010 não é aplicável sobre revestimento argamassado sem outra camada de acabamento impermeabilizante.

Palavras-chave: revestimento de argamassa; permeabilidade; resistência à aderência.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: diagrama das etapas da pesquisa..... | 16 |
| Figura 2: solicitações impostas às superfícies externas das edificações..... | 19 |
| Figura 3: equipamento para teste de resistência de aderência à tração..... | 21 |
| Figura 4: posição dos corpos-de-prova para realização do ensaio..... | 21 |
| Figura 5: formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração | 22 |
| Figura 6: comparativo entre argamassa com e sem cal..... | 26 |
| Figura 7: imagem de microscopia eletrônica de uma argamassa com alto teor de ar incorporado..... | 28 |
| Figura 8: aparelho montado para ensaio de permeabilidade..... | 29 |
| Figura 9: comparação entre incidências de chuva..... | 31 |
| Figura 10: mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004..... | 32 |
| Figura 11: processo de umedecimento..... | 34 |
| Figura 12: elementos direcionadores de fluxo..... | 35 |
| Figura 13: diagramas de fluxo de água em pingadeiras com diferentes geometrias..... | 36 |
| Figura 14: fachada norte da edificação A..... | 38 |
| Figura 15: localização da edificação A..... | 39 |
| Figura 16: fachada ensaiada edificação B..... | 39 |
| Figura 17: localização da edificação B..... | 40 |
| Figura 18: edificação C..... | 41 |
| Figura 19: localização da edificação C..... | 41 |
| Figura 20: fachada sudoeste da edificação D..... | 43 |
| Figura 21: localização da edificação D..... | 43 |
| Figura 22: posição dos corpos-de-prova..... | 45 |
| Figura 23: equipamento de tração..... | 46 |
| Figura 24: distâncias e forças significativas no cálculo da tensão de aderência..... | 47 |
| Figura 25: aparelho de permeabilidade montado..... | 49 |
| Figura 26: número de corpos-de-prova aprovados por ensaio conforme NBR 13749/96. | 57 |
| Figura 27: tensões de resistência à aderência por ensaio..... | 59 |
| Figura 28: resultados do ensaio de permeabilidade..... | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: resistência à tração do revestimento no ensaio 1..... | 51 |
| Tabela 2: resistência à tração do revestimento no ensaio 2..... | 52 |
| Tabela 3: resistência à tração do revestimento no ensaio 3..... | 52 |
| Tabela 4: resistência à tração do revestimento no ensaio 4..... | 53 |
| Tabela 5: resistência à tração do revestimento no ensaio 5..... | 54 |
| Tabela 6: resistência à tração do revestimento no ensaio 6..... | 55 |
| Tabela 7: resistência à tração do revestimento no ensaio 7..... | 56 |
| Tabela 8: comparação direta entre valores de tensões nos ensaios..... | 57 |
| Tabela 9: resultados teste de permeabilidade..... | 60 |
| Tabela 12: resultados ensaios de permeabilidade sobre pintura acrílica..... | 61 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: limites de resistência de aderência à tração (R_a) para emboço e camada única..... | 23 |
| Quadro 2: influência da areia nas propriedades das argamassas..... | 26 |
| Quadro 3: características das obras ensaiadas..... | 44 |
| Quadro 4: características do ensaio 1..... | 50 |
| Quadro 5: características do ensaio 2..... | 51 |
| Quadro 6: características do ensaio 3..... | 52 |
| Quadro 7: características do ensaio 4..... | 53 |
| Quadro 8: características do ensaio 5..... | 54 |
| Quadro 9: características do ensaio 6..... | 54 |
| Quadro 10: características do ensaio 7..... | 55 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 MÉTODO DE PESQUISA | 14 |
| 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA..... | 14 |
| 2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO..... | 14 |
| 2.2.1 Objetivo Principal | 14 |
| 2.2.2 Objetivos Secundários | 15 |
| 2.3 DELIMITAÇÕES..... | 15 |
| 2.4 LIMITAÇÕES..... | 15 |
| 2.5 DELINEAMENTO..... | 15 |
| 3 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA | 18 |
| 3.1 RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA..... | 20 |
| 3.1.1 Influência do Substrato na Adesão | 23 |
| 3.1.2 Materiais | 24 |
| 3.1.2.1 Cimento..... | 25 |
| 3.1.2.2 Areia..... | 25 |
| 3.1.2.3 Cal..... | 26 |
| 3.1.2.4 Água..... | 27 |
| 3.1.2.5 Aditivo Incorporador de Ar..... | 27 |
| 3.1.3 Tipo de Aplicação | 28 |
| 3.2 PERMEABILIDADE..... | 29 |
| 3.2.1 Agentes Climáticos ou Ambientais | 30 |
| 3.2.1.1 Chuva Dirigida..... | 30 |
| 3.2.1.2 Ação de Microorganismos..... | 32 |
| 3.2.2 Movimento de Água sobre Superfícies | 33 |
| 4 ESTUDO DE CAMPO | 37 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS ANALISADOS..... | 37 |
| 4.2 ENSAIOS REALIZADOS..... | 44 |
| 4.2.1 Ensaio de Resistência à Aderência | 44 |
| 4.2.2 Ensaio de Permeabilidade | 48 |
| 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 5.1 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA..... | 50 |
| 5.1.1 Análise individual dos testes..... | 50 |
| 5.1.2 Conclusão geral dos ensaios de resistência à aderência..... | 56 |
| 5.2 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE..... | 59 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 63 |
| REFERÊNCIAS..... | 64 |

1 INTRODUÇÃO

É imprescindível ter um sistema de vedação vertical externo de boa qualidade em edificações. O mais comum é utilizar-se a alvenaria de vedação juntamente com revestimento de argamassa. Este revestimento tem como principais funções proteger, regularizar, melhorar o conforto térmico e finalizar a vedação, além de seu cunho estético. Problemas patológicos ocorrem frequentemente neste elemento construtivo e estes, principalmente, são decorrentes de má execução, também da variabilidade de substratos ao longo da fachada, da falta de projeto de vedação, e até mesmo, do uso do imóvel. Estes descuidos com a qualidade do acabamento externo são muito onerosos para as construtoras e usuários.

Visto a necessidade de se trabalhar com revestimentos de boa qualidade, se faz interessante a avaliação de desempenho destes quando expostos a água e a esforços de tração, assim, simulando solicitações extremas impostas as paredes de fachada.

Através do método de pesquisa, no capítulo 2, se definiram as diretrizes do trabalho, definindo a sequência de estudos e ensaios e pontos relevantes. No capítulo 3, com a pesquisa bibliográfica aprimorou-se o conhecimento das características relevantes das propriedades estudadas dos sistemas de revestimento de argamassa.

O capítulo 4 mostra o desenvolvimento do trabalho com base em dados obtidos em testes de permeabilidade e resistência à aderência. O primeiro verifica a permeabilidade à água de sistemas de vedações verticais externos submetendo-os à presença de água com pressão constante e verificando a absorção em determinados períodos de tempo. Já o segundo, fornece dados referentes a esforço de tração.

Os resultados foram avaliados, no capítulo 5, de acordo com as normas técnicas específicas, NBR 13749/1996 e NBR 15575-4/2008, respectivamente, quando o ensaio de permeabilidade se mostrou inadequado ao estudo previsto, que era em revestimentos argamassados de fachada. Então se fez um estudo de viabilidade deste ensaio em revestimentos argamassados de fachadas com pintura acrílica.

Neste contexto, o presente trabalho avaliou a qualidade de revestimentos de argamassa na cidade de Caxias do Sul/RS, realizando uma análise comparativa do desempenho de revestimentos confeccionados com diferentes materiais, quais seja argamassa tradicional com variação do teor de cimento e argamassa industrializada, e também a viabilidade do ensaio de permeabilidade em revestimentos com pintura acrílica.

2 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa é dividido em questão de pesquisa, objetivos, pressuposto, delimitações, limitações e delineamento e é descrito a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: os revestimentos externos de argamassa estudados na cidade de Caxias do Sul estão de acordo com as normas NBR 15575-4/2008 e NBR 13528/2010 quanto à estanqueidade e resistência à aderência?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação do desempenho de revestimentos externos de argamassa, em obras isoladas, quanto à permeabilidade e resistência à aderência na cidade de Caxias do Sul, RS usando os critérios das normas NBR 15575-4/2008 e NBR 13528/2010, respectivamente.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são a avaliação da influência dos traços de argamassas e da orientação solar, nas propriedades analisadas, para os revestimentos argamassados de fachada estudados em Caxias do Sul.

2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a avaliar revestimentos argamassados externos; aplicados sobre paredes de concreto, blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos de concreto; estudados na cidade de Caxias do Sul/RS.

2.4 LIMITAÇÕES

É limitação do trabalho, para o teste de resistência à aderência avaliar os revestimentos fazendo cada ensaio com apenas seis corpos-de-prova e um ou dois ensaios por edificação, por questões de custo e tempo. Para o teste de permeabilidade a bureta não será emborcada no interior da câmara, como especifica a NBR 15575-4, contando apenas com a bureta acoplada exteriormente por sistema composto por rosca e mangueira, garantindo a reposição da água de igual maneira.

2.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1 e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição dos critérios para selecionar edificações;
- c) seleção de edificações que atendam aos critérios para a realização dos testes;

- d) definição dos locais de aplicação dos testes nas edificações;
- e) realização dos testes;
- f) avaliação, através de,
 - critérios das normas;
 - comparação entre tipos de revestimentos;
 - comparação entre revestimentos de um mesmo edifício em fachadas diferentes;
- g) análise final.

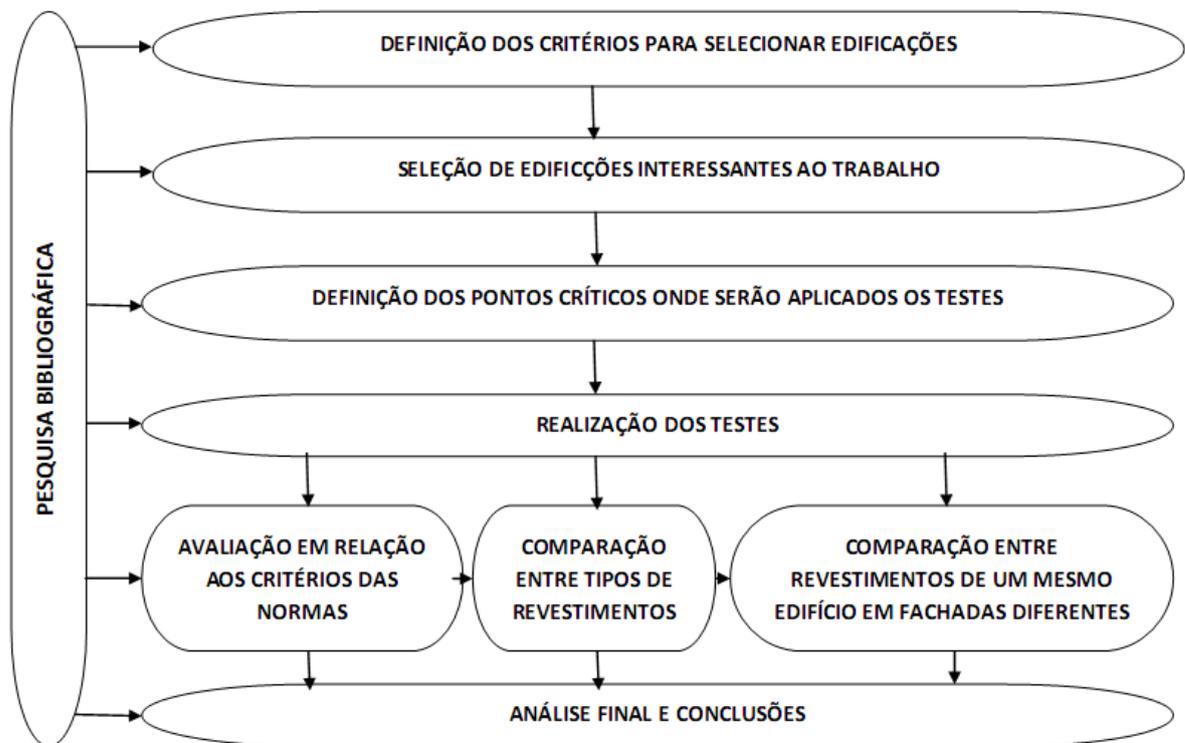


Figura 1: diagrama das etapas da pesquisa

Primeiramente foi realizada a pesquisa bibliográfica, para o aprofundamento do tema escolhido, que visou buscar informações que ajudaram a aperfeiçoar a realização dos testes e fazer uma boa amostragem.

Na segunda etapa, foram definidos os critérios de seleção das edificações. Critérios estes que ajustaram às propriedades a serem estudadas ao contexto da edificação adequadamente. Após, então, foram selecionadas edificações que possuissem revestimento de fachada argamassado com as características que se queria analisar.

Em seguida os locais de aplicação dos testes nas edificações foram definidos, determinando a quantidade e as posições dos ensaios, cuidando para que posteriormente não fosse necessário o retrabalho. Após, foram efetuados então, os testes descritos nas normas citadas, obtendo os dados necessários para as avaliações, no caso do ensaio de aderência, e percebendo-se inadequado o ensaio de permeabilidade para as circunstâncias estudadas.

De posse dos resultados adquiridos, começou-se a etapa de avaliação. Os revestimentos amostrados foram primeiramente avaliados em relação ao seu desempenho de acordo com os critérios normativos. Após, foram comparadas entre si amostras de diferentes tipos de revestimentos e em seguida foram feitas considerações sobre a posição das unidades de amostras em relação à exposição solar. Por fim, foi realizada uma análise, concluindo se os revestimentos avaliados estavam dentro dos critérios da norma e qual tipo de revestimento mostrou melhor desempenho.

3 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

A qualidade do sistema de revestimento influencia diretamente a habitabilidade das edificações, no que se refere à salubridade, conforto e durabilidade (MOURA, 2007, p. 22). Destaca-se, então, a ligação direta deste elemento ao conforto do usuário, fazendo-se necessária a gerência da qualidade do revestimento.

O sistema de vedação vertical externo é um dos elementos da construção que mais apresenta manifestações patológicas. Manifestações que podem oferecer risco a pedestres, prejudicam o aspecto visual da fachada e geram elevados custos para construtoras e, posteriormente, para os usuários.

Segundo Paravisi (2008, p. 23), o sistema de revestimento faz parte de um sistema maior, o sistema de vedação vertical das edificações, e assim sendo deve ser projetado considerando o sistema como um todo, pois seu comportamento é diretamente influenciado pelas características dos demais componentes. Segundo Cincotto¹ (1988, apud VIEIRA, 2005, p. 39):

A figura [...] [2] ilustra as solicitações a que as paredes estão sujeitas, a partir das quais, podem ser caracterizados os seguintes requisitos de desempenho:

- a) apresentar estabilidade mecânica quando solicitada por carregamento normal ou sofrer deformação imposta por fenômenos térmicos ou climáticos;
- b) apresentar segurança em caso de incêndio, sismo ou outras solicitações excepcionais;
- c) apresentar estanqueidade à água;
- d) contribuir para as exigências higrotérmicas e acústicas do usuário;
- e) contribuir para a estética da edificação.

¹ CINCOTTO, M. A. **Argamassas de revestimento**: características, propriedades e método de ensaio. São Paulo: Pini; IPT, 1988. Boletim n. 68.

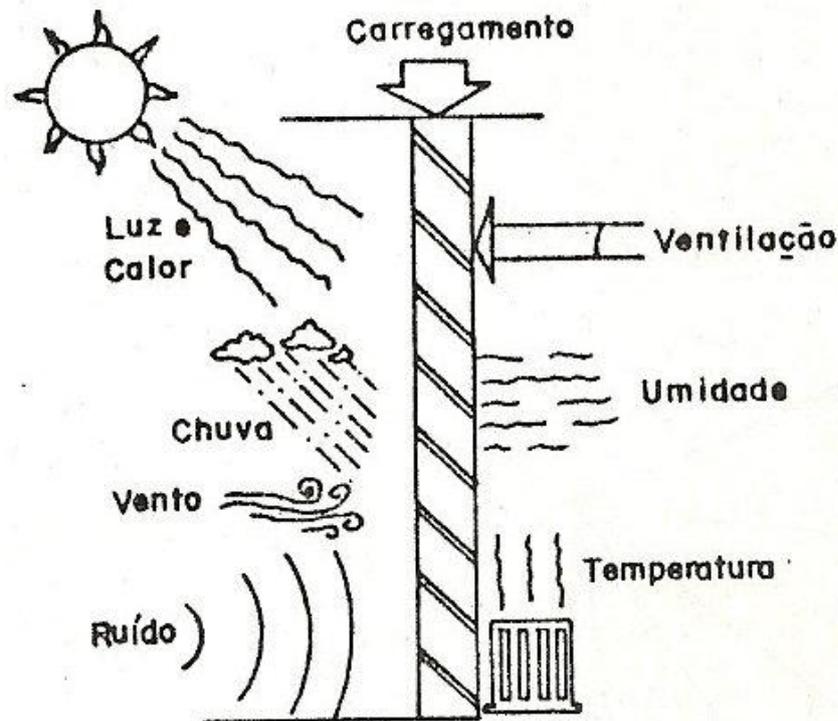


Figura 2: solicitações impostas às superfícies externas das edificações (BAUER, E., 1987)

Para a determinação do sistema de revestimento de uma edificação é indispensável no conjunto de informações a classificação das condições de exposição à intempéries, isso função do clima local, das construções no entorno do edifício e da posição relativa do revestimento na fachada (AMMAR², 1977 apud CARNEIRO; CINCOTTO, 1995).

No Brasil, o sistema de revestimento externo mais utilizado é o revestimento argamassado, que pode se diferenciar na forma de aplicação e, também, em função de sua composição. Isso resulta em várias combinações com diferentes características.

Problemas patológicos no sistema de revestimento ocorrem em diferentes etapas da construção e também após o término da execução, em decorrência do uso. Para Moura (2007, p. 23), “Além das características relativas à produção dos sistemas de revestimento, o desempenho destes depende também do uso, operação e manutenção das edificações.”.

A seguir, em detalhes, a influência da resistência à aderência e a permeabilidade de revestimentos argamssados para o bom desempenho de sistemas de revestimento externos.

3.1 RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA

As principais características do sistema de revestimento argamassado, quando se analisa resistência à aderência, são o tipo de substrato no qual é aplicado, a composição da argamassa e a forma de aplicação. Para Carasek e Djanikian (1997, p. 22):

O tipo de substrato, o tipo de argamassa e o teor de umidade do substrato exercem influência na resistência de aderência. No entanto, existe, além do efeito individual desses fatores, um efeito sinérgico entre eles, ou seja, para um determinado tipo de substrato a resistência de aderência depende em um maior grau do tipo de argamassa sobre ele aplicada e do seu teor de umidade.

Moura (2007, p. 19) divide as variáveis que influenciam o desempenho de um revestimento em controláveis, como os materiais, e não controláveis, como as condições ambientais de cura, que acarretam no desconhecimento de suas influências na aderência do revestimento.

A Norma NBR 13528 prescreve um método de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa aplicados em obra. O teste consiste em arrancar por tração um corpo-de-prova circular de diâmetro igual a 50 mm ou quadrado de lado 10 cm. Para tal se delimita, através de corte, esta região circular com a utilização de uma serra copo, e nela se cola uma pastilha metálica não deformável, com dispositivo no centro para o acoplamento do equipamento de tração (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

Para a realização do ensaio, a norma recomenda o uso de um equipamento mecânico de tração chamado dinamômetro de tração. Entretanto, resultados similares podem ser obtidos através do uso de um dispositivo simples e de baixo custo, conforme representação esquemática na figura 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

² AMMAR, C. Agents d'agression exterieures definition des agents metereologiques. In: SYMPOSIUM ON EVOLUTION OF PERFORMANCE OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1., 1977, Otaniemi. **Proceedings...** Helsink: RIELM ; ASTM; CIB, 1977.

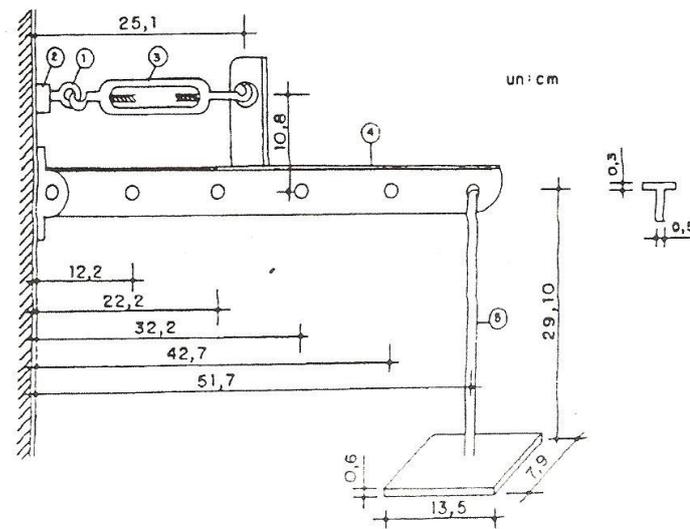


Figura 3: representação esquemática para teste de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa (GEYER, 1994)

O ensaio deve ser realizado em revestimento com idade de 28 dias, no caso a ser analisado, cada ensaio é composto por 12 corpos-de-prova de mesmas características e dimensões. A distribuição dos corpos-de-prova deve ser feita de forma aleatória, contemplando arrancamentos em blocos e juntas, e devem ser espaçados, além dos cantos e das quinas, em no mínimo 50 mm. A figura 4 exemplifica posições dos corpos-de-prova.

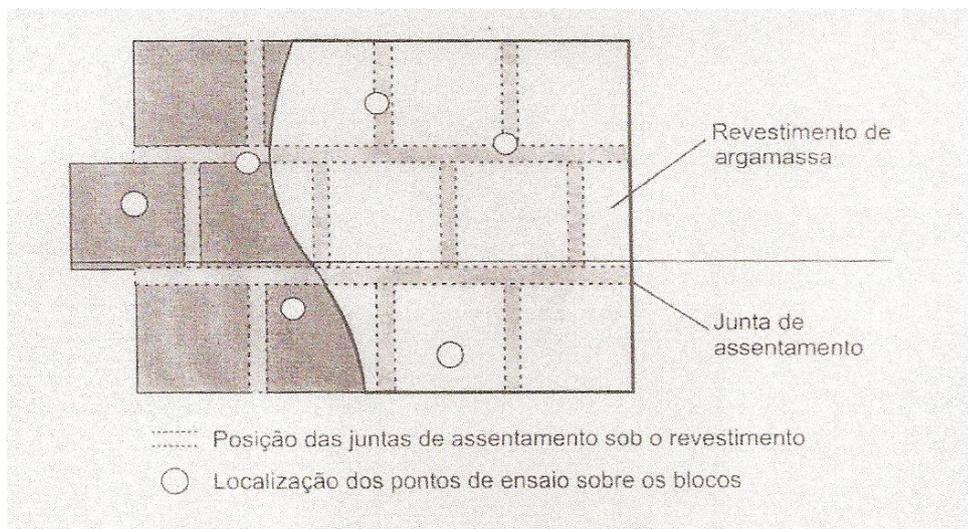


Figura 4: posição dos corpos-de-prova para realização do ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010)

Um aspecto de grande importância a ser levado em consideração é a forma de ruptura dos corpos-de-prova, a qual deve ser devidamente observada e indicada, isso porque mostra a região de maior fragilidade. Para revestimentos com chapisco são conhecidas sete formas de ruptura, mostradas na figura 5.

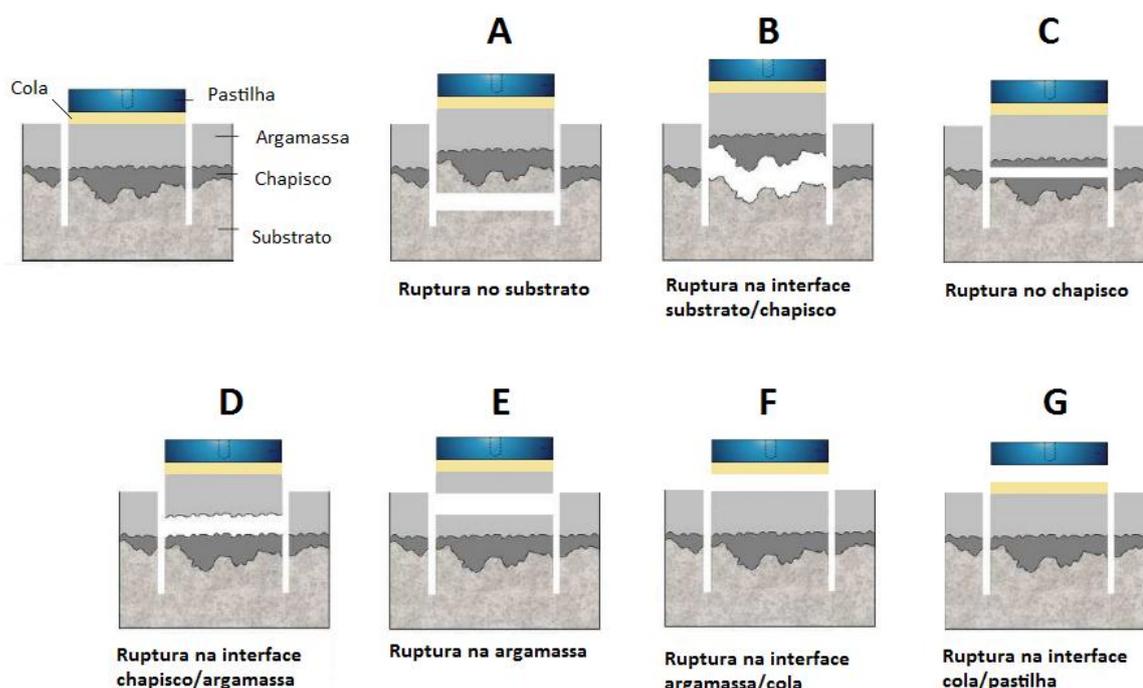


Figura 5: formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração (adaptado de PRETTO, 2007)

Para rupturas, conforme os exemplos B e D da figura 5, o valor da resistência de aderência à tração é igual ao valor obtido no ensaio. No caso das demais rupturas, a resistência de aderência calculada não é a obtida pelo teste e é maior que este valor encontrado. Neste caso o resultado obtido no ensaio deve ser precedido pelo sinal maior que ($>$) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995).

A Norma NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995), avaliando resistência de aderência, aprova a argamassa que apresentar mais da metade dos corpos-de-prova do ensaio sugerido na Norma NBR 13528 com valores iguais ou superiores aos do quadro 1.

| Local | | Acabamento | Resistência de Aderência (MPa) |
|--------|---------|-----------------------------|--------------------------------|
| Parede | Interna | Pintura ou base para reboco | 0,20 |
| | | Cerâmica | 0,30 |
| | Externa | Pintura ou base para reboco | 0,30 |
| | | Cerâmica | 0,30 |
| Teto | | Pintura ou base para reboco | 0,20 |

Quadro 1: limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995)

As características influentes na resistência de aderência são apresentadas em maiores detalhes na sequência.

3.1.1 Influência do substrato na adesão

Com a evolução da construção se começou a projetar elementos estruturais mais esbeltos que exigem uma alta resistência do concreto. Estes acabam sendo concretos de baixa porosidade, que juntamente ao uso de fôrmas de maior desempenho, geram superfícies lisas de difícil aderência do revestimento. Também se ressalta que no decorrer de sua vida útil, há um aumento da deformabilidade da estrutura, o que interfere na durabilidade da aderência (MOURA, 2007, p. 18).

A manifestação patológica mais frequente nos sistemas de revestimento argamassados é o descolamento do revestimento na estrutura de concreto. Esta se dá pela falta de resistência à aderência, que no substrato pouco poroso de uma estrutura de concreto resulta em baixos valores, por não permitir o travamento mecânico (GALLEGOS, 1995).

Descolamentos não ocorrem somente em substratos de concreto. É uma manifestação comum a todos tipos de substratos, mas este apresenta mais manifestações patológicas quando comparado a substratos de blocos cerâmicos e blocos de concreto para vedação. As condições de aderência para substratos de blocos cerâmicos dependem das condições de temperatura no forno na confecção do mesmo, mas são mais aderentes em relação ao substrato de concreto.

Para Carasek (1996) os mecanismos que promovem a aderência entre argamassa e substrato são observados conforme o momento; quando na argamassa fresca, ao ocorrer o contato entre

eles, denomina-se adesão inicial; quando na argamassa já endurecida, se considera aderência propriamente dita.

Ruduit (2009) afirma que: “Além da microancoragem proporcionada pela absorção, por parte do substrato, de pasta de cimento da argamassa, a macroancoragem possibilitada pela rugosidade e geometria das superfícies é decisiva na aderência das argamassas de revestimento.”. Então no caso de substratos lisos, como os de concreto, é comum o uso de tratamentos superficiais para criar rugosidades que gerem aumento da adesão mecânica.

Outro fator que prejudica a aderência em estruturas de concreto é o desmoldante. Para Pretto (2007, p. 43), embora o desmoldante propicie uma desfôrma rápida, posteriormente, no caso de desmoldante a base de óleo, o excesso do mesmo que penetra pelos poros do concreto pode deixá-lo hidrófugo, reduzindo a aderência da argamassa.

A umidade também exerce influência na adesão ao substrato. Carasek e Djanikian (1997, p. 22) concluem em seus estudos que “Em geral, os substratos secos resultaram nos mais altos valores de resistência de aderência, tendo tais valores decrescidos à medida que foi aumentado o teor de umidade, porém com uma melhoria da extensão de aderência.”.

3.1.2 Materiais

A influência e as quantidades dos materiais constituintes da argamassa geram argamassas com diferentes propriedades. Desta forma, o devido ajuste destas proporções em função das propriedades desejadas é fundamental. Segundo Posser (2004, p. 50):

As argamassas mistas à base de cimento e cal podem apresentar inúmeras propriedades, que variam em função da relação cimento/cal utilizada na mistura. Argamassas à base de cimento Portland possuem alta resistência à compressão e baixa retenção de água. Desta forma, um revestimento com esta argamassa é mais resistente, porém possui baixa extensão de aderência e é mais vulnerável à fissuração e conseqüente penetração de água da chuva. Por outro lado, as argamassas à base de cal possuem baixa resistência à compressão e alta retenção de água. Assim, revestimentos com esta argamassa apresentam baixa resistência mecânica, mas grande oposição a fissuração. Entre estes dois extremos, várias combinações de cimento e cal produzem um equilíbrio entre as diversas propriedades, sendo que a alta resistência e o rápido endurecimento do cimento podem ser modificados pela excelente trabalhabilidade e retenção de água da cal.

A seguir são apresentadas as características específicas de cada material e sua influência individual na resistência de aderência.

3.1.2.1 Cimento

Para Moura (2007, p. 30): “O cimento Portland, na função de aglomerante hidráulico, é responsável pela aglutinação dos agregados, não permitindo que segreguem pela plasticidade da argamassa e pelas propriedades mecânicas da mesma.”.

Pereira et al. (1999, p. 501) com base em seus estudos concluem que o cimento é diretamente proporcional à resistência de aderência. À medida que se aumenta o teor de cimento a resistência à aderência é maior, mas salientam que argamassas muito ricas em cimento tendem a fissurar e, conseqüentemente, perder resistência à aderência.

Uma característica visível na escolha do cimento é o grau de finura, este tem influência positiva na resistência à aderência, assim estabelecendo a importância das propriedades físicas do cimento no desempenho final obtido pela argamassa (BAUER, F., 1987).

3.1.2.2 Areia

Os agregados miúdos das argamassas desempenham função econômica, por serem materiais baratos. Assim torna-se interessante a adição de uma alta quantidade de areia na mistura da argamassa. Contudo a proporção de areia inserida deve ser determinada em função das propriedades requeridas para tal argamassa (POSSER, 2004, p. 57).

Sabbatini³ (1986 apud POSSER, 2004) comenta estudos realizados que avaliam a influência da areia sobre as propriedades das argamassas, conforme o quadro 2. Analisando este quadro, no que se refere a aderência, são favoráveis grãos angulosos, desfavoráveis grãos com granulometria descontínua e a finura da areia se mostra com caráter variável.

³ SABBATINI, F. H. Agregados miúdos para argamassas de assentamento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP; ANTAC, 1986. p. 27-42.

| Propriedades | Características da areia | | |
|------------------------|---------------------------------|---|--|
| | Quanto menor o módulo de finura | Quanto mais descontínua for a granulometria | Quanto maior o teor de grãos angulosos |
| Trabalhabilidade | Melhor | Pior | Pior |
| Retenção de água | Melhor | Pior | Melhor |
| Resiliência | Variável | Pior | Pior |
| Retração na secagem | Aumenta | Aumenta | Variável |
| Porosidade | Aumenta | Aumenta | Variável |
| Aderência | Variável | Pior | Melhor |
| Resistências mecânicas | Variável | Pior | Variável |
| Impermeabilidade | Pior | Pior | Variável |

Quadro 2: influência da areia nas propriedades das argamassas (SABBATINI⁴, 1986 apud POSSER, 2004)

3.1.2.3 Cal

A cal possui um processo lento de carbonatação, assim sua função como aglomerante é mais tardia quando comparada ao cimento. A boa influência da cal na resistência à aderência é decorrente da maior extensão de contato da argamassa ao substrato, ocasionada pela plasticidade promovida pela cal. A figura 6 representa a diferença promovida pela cal entre argamassas com mesmo teor de cimento.



Figura 6: comparativo entre argamassa com e sem cal (CARASEK⁵, 1996 apud CARASEK; CASCUDO, 2009)

⁴SABBATINI, F. H. Agregados miúdos para argamassas de assentamento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. *Anais...* São Paulo: EPUSP; ANTAC, 1986. p. 27-42.

⁵ 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) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Pode-se observar, na figura 6, que a argamassa sem cal no contato com o bloco fica cheia de vazios, já a argamassa com cal possui maior extensão de aderência, o que contribui muito para a resistência de aderência.

Outra propriedade da cal, esta física, é a capacidade de retenção de água (MOURA, 2007). No contato da argamassa com o substrato, se este absorvesse toda água ou esta evaporasse, as reações químicas dos aglomerantes ficariam comprometidas.

3.1.2.4 Água

As funções da água na argamassa são: dar trabalhabilidade à mistura e hidratar o aglomerante promovendo as reações químicas necessárias para a coesão e endurecimento. Não devem ser utilizadas águas que contenham terra ou substâncias orgânicas em suspensão, também deve-se evitar a água do mar, por ser salobra e contribuir para o aparecimento de eflorescências. Água potável é considerada conveniente para o amassamento (POSSER, 2004, p. 62).

A quantidade de água utilizada na argamassa deve ser maior do que a necessária para garantir a ocorrência das reações químicas, pois, é preciso água também, para proporcionar a trabalhabilidade. Grande parte desta água é perdida em forma de evaporação e por sucção do substrato.

3.1.2.5 Aditivo Incorporador de Ar

O aditivo incorporador de ar tem ação plastificante proporcionando aumento da trabalhabilidade da argamassa. A Cement & Concrete Association of Australia⁶ (2001 apud MOURA, 2007) atribui a queda de resistência à aderência ao fato das bolhas de ar ocuparem espaços da pasta na extensão de aderência e apresenta os efeitos de um teor elevado de ar incorporado nas argamassas no estado endurecido, que pode ser visualizado na figura 7.

⁶ CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF AUSTRALIA. **Bond strength in masonry construction.** Sydney, Cement & Concrete Association of Australia: 2001. Technical note n. 65.

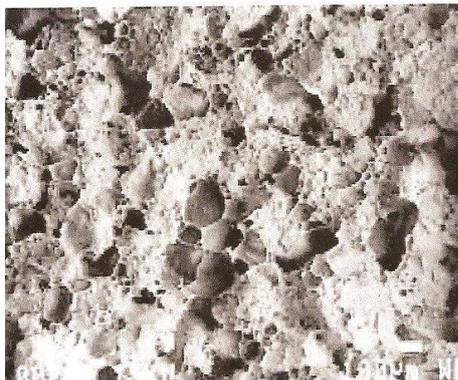


Figura 7: imagem de microscopia eletrônica de uma argamassa com alto teor de ar incorporado (CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF AUSTRÁLIA⁷, 2001, apud MOURA, 2007)

3.1.3 Tipo de aplicação

O tipo de aplicação exerce grande influência na resistência de aderência. A produção pode ser manual ou mecânica. Paravisi (2008, p. 16) cita a falta de uma gestão efetiva do processo produtivo, a baixa racionalização e industrialização e a dependência da habilidade e do conhecimento do operador como características do processo de produção que ainda predominam nas obras.

A extensão de aderência conferida pela aplicação manual é muito variável, a altura do trabalhador que fará a aplicação determinará uma altura com melhor ergonomia, nesta ele lançará com mais força a argamassa, promovendo assim maior extensão de aderência nesta faixa; também ao final do dia este mesmo trabalhador não estará lançando a argamassa com igual intensidade. Todos estes são fatores que geram uma heterogeneidade dos dados quanto à resistência à aderência, uma vez que se sistematize o processo se cria homogeneidade nos dados.

Duailibe et al. (2005, p. 509) observam que, quando utilizado o lançamento por projeção mecânica, a pressão para o lançamento é maior do que a atingida pelo pedreiro no lançamento, assim a argamassa tem maiores chances de ter uma maior extensão de aderência. Os mesmos autores verificam um aumento de 55% na resistência à aderência de argamassas lançadas mecanicamente se comparadas com argamassas lançadas manualmente.

⁷ CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF AUSTRALIA. **Bond strength in masonry construction.** Sydney, Cement & Concrete Association of Australia: 2001. Technical note n. 65.

3.2 PERMEABILIDADE

Garantir a estanqueidade é uma das principais funções do sistema de revestimento externo de fachadas. No caso do revestimento argamassado, tem-se uma grande preocupação com o fator estanqueidade, pois a água que escorre pela fachada além de gerar manifestações patológicas, contribui para as já existentes, como é o caso das infiltrações em fissuras.

Para Duailibe et al. (2005, p. 509):

A penetração de umidade é uma das maiores causas de deterioração das construções, inclusive dos revestimentos. Tanta importância justifica a necessidade de estudos para garantir que os revestimentos possam oferecer menor permeabilidade e consequentemente maior durabilidade.

A Norma NBR 15575-4 sugere, em seu anexo D, a realização de ensaio em protótipo ou em unidades concluídas para a verificação da permeabilidade à água de sistemas de vedação verticais. Consiste em submeter um trecho da parede à presença de água, com pressão constante por meio de uma câmara acoplada à parede, a figura 8 ilustra o aparelho montado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).



Figura 8: aparelho montado para ensaio de permeabilidade

A aparelhagem necessária para o teste é uma caixa com dimensões internas de 16 cm x 34 cm, com moldura em seu perímetro para o acoplamento com a parede, e uma bureta graduada em centímetros cúbicos para a manutenção da pressão constante dentro da câmara e para medida do volume d'água infiltrado na parede. Deve-se registrar o nível inicial de água na bureta e após os períodos de: 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 6 h e 24 h. A mesma Norma admite como critério de aprovação que a quantidade de água que penetra não deve ser superior a 3 cm³ por um período de 24 horas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A permeabilidade excessiva no revestimento causa danos severos ao sistema de vedação vertical externo. Pode-se destacar como principais fatores de deterioração da fachada os agentes climáticos ou ambientais e o movimento de água sobre as superfícies.

3.2.1 Agentes climáticos ou ambientais

Os agentes climáticos são fatores extrínsecos de agressão aos componentes da fachada, já que atuam de fora para dentro. A degradação das construções está diretamente ligada ao meio ambiente no qual está inserida, sendo exposta a todos os tipos de intempéries, como variações bruscas de temperatura, alta umidade relativa, poluição, ventos, ação de microorganismos, dentre outros. Em relação à estanqueidade, o principal fator ambiental de degradação de fachadas é a combinação entre chuva e vento, isto é chuva dirigida. A seguir são apresentadas as influências da chuva dirigida e da ação de microorganismos.

3.2.1.1 Chuva Dirigida

A vida útil dos componentes externos da edificação é bastante reduzida pela ação da água da chuva incidente combinada com a ação do vento, provocando graus de exposição à água que causam manifestações patológicas (VIEIRA, 2005). A penetração da água nas fachadas está diretamente associada à incidência da chuva. Segundo Bauer (E., 1987, p. 32) a chuva cairia verticalmente na ausência de vento, assim as proteções dadas pelos beirais seriam suficientes para garantir a estanqueidade, o que se não for impossível é extremamente raro. Nas demais ocasiões na presença de vento as gotas de chuva são defletadas, incidindo diretamente nas fachadas, conforme figura 9.

A ação da chuva combinada com o vento é expressa pelo índice de chuva dirigida (DRI – *drive rain index*). Para Lima e Morelli (2005, p. 627):

O conceito de chuva dirigida está relacionado com a força com que a chuva incide sobre um edifício, em especial em suas fachadas. Essa força está diretamente relacionada com a velocidade do vento durante a ocorrência do período de chuva. Depende, portanto, da velocidade e direção do vento, do tempo e quantidade de chuva incidente.

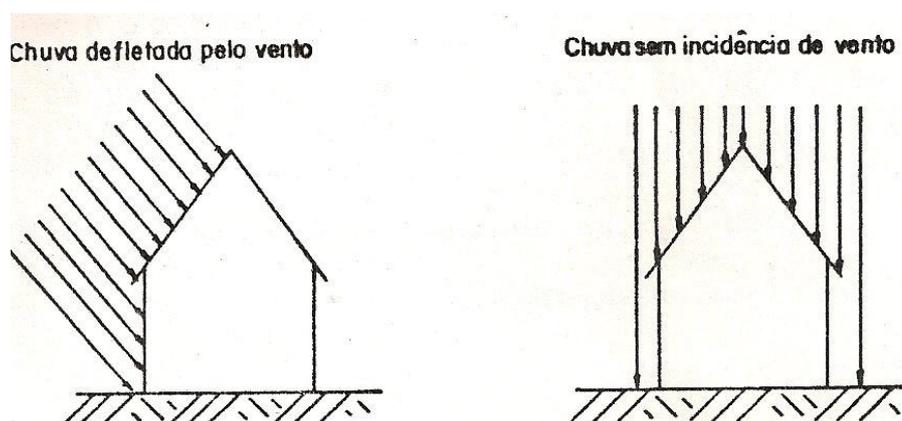


Figura 9: comparação entre incidências de chuva (BAUER, E., 1987)

A norma britânica BS 8104 considera válida a seguinte expressão para o cálculo do DRI (BRITISH STANDARD⁸, 1992 apud LIMA; MORELLI, 2005):

$$\text{DRI} = \text{VP}/100 \quad (\text{fórmula, 2})$$

Onde:

V é a velocidade média anual dos ventos (m/s);

P é o total de precipitação anual (mm).

⁸ BRITISH STANDARD. **BS 8104**: Code of practice for assessing exposure of walls to Wind-driven rain. London, 1992.

O DRI é classificado em faixas de agressividade e conforme a figura 10 – mapa de chuva dirigida brasileiro – mostra, o Brasil em sua maior parte tem grau de exposição alto e severo, e a região sul apresenta-se toda em condições severas.

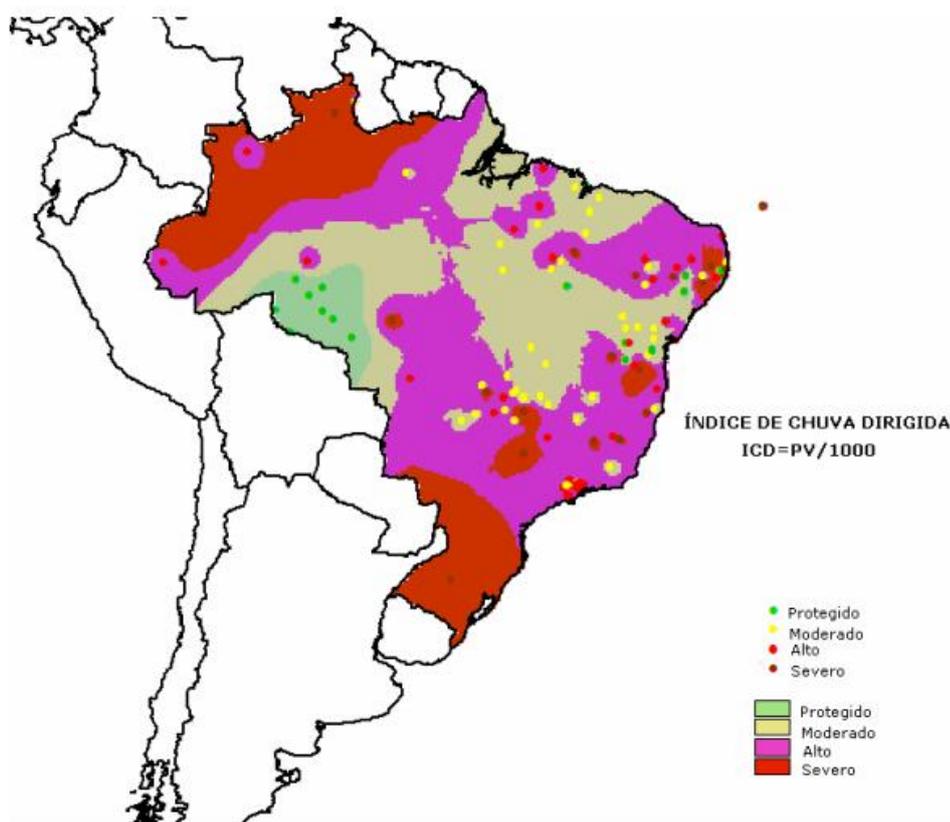


Figura 10: mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004
(LIMA; MORELLI, 2005)

3.2.1.2 Ação de microorganismos

A ação de microorganismos é mais um fator ambiental que exerce desgaste nos sistemas de vedação. Sua ação gera manifestações patológicas, geralmente muito visíveis e bastante prejudiciais à estética da fachada.

Segundo Sato et al. (2002, p. 1197), o crescimento dos agentes biológicos é influenciado por fatores como luz, umidade, temperatura e o vento. O crescimento de fungos, por exemplo, causa o aparecimento de manchas escuras em revestimentos, e sua permanência em longo prazo pode levar a biodegradação das argamassas.

3.2.2 Movimento de água sobre superfícies

O processo de umedecimento, ilustrado na figura 11 (b), mostra que ao iniciar uma chuva há mudanças na coloração dos materiais, que ficam bem evidenciadas na fachada. Observa-se também que o processo de umedecimento inicia-se no topo da edificação e nos cantos laterais. Com a continuidade da chuva ocorre a saturação dos materiais da fachada e então ocorre a formação do filme superficial que gera um fluxo descendente de água. São fatores que afetam a migração do fluxo de água sobre a superfície (BAUER, E., 1987, p. 68):

- a) a locação e concentração da incidência da chuva;
- b) as propriedades da água em contato com os materiais;
- c) forças do vento e gravidade;
- d) porosidade e a textura e geometria da superfície do edifício.

O poder de abrasão da chuva que incide sobre a fachada é aumentado ao se considerar que se somam ao fluxo da lâmina d'água pequenas partículas de pó e sujeira. Para o controle deste fluxo d'água os principais meios usados são os detalhes construtivos dos componentes de fachada. Para Thomaz⁹ (1990, apud VIEIRA, 2005, p. 89): “Detalhes arquitetônicos de fachada como pequenas saliências ou projeções são capazes de reduzir até a metade do fluxo de água que normalmente incidiria sobre as superfícies das fachadas.”.

A figura 12 exemplifica alguns detalhes construtivos que influenciam o fluxo d'água. Percebe-se que mesmo os elementos não decorativos, como as juntas de dilatação, pilares e até mesmo as esquadrias são elementos direcionadores de fluxo.

⁹ THOMAZ, E. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1990.

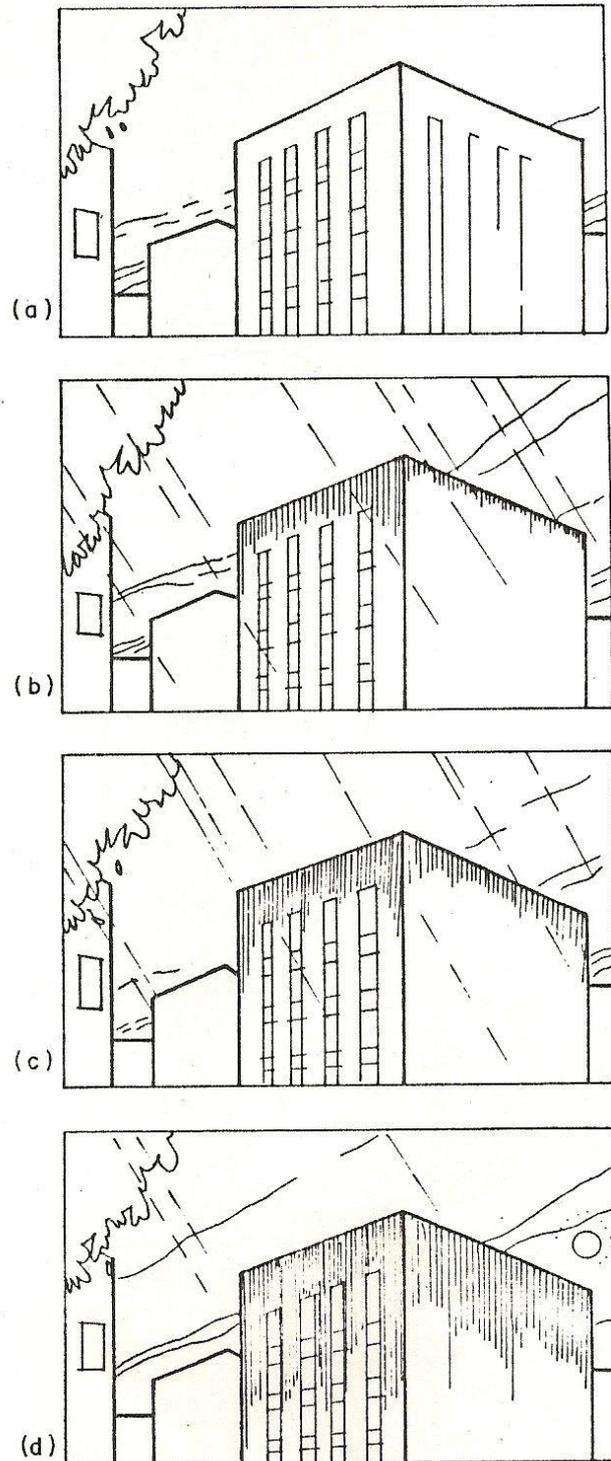


Figura 11: processo de umedecimento: a) edifício seco; b) características iniciais do padrão de umedecimento de fachada (10 min); c) início da migração de água pela superfície do edifício (20 min); d) término da chuva, o processo de umedecimento das fachadas é proporcional a direção e exposição do à chuva incidente (BAUER, E.,1987, p. 69)

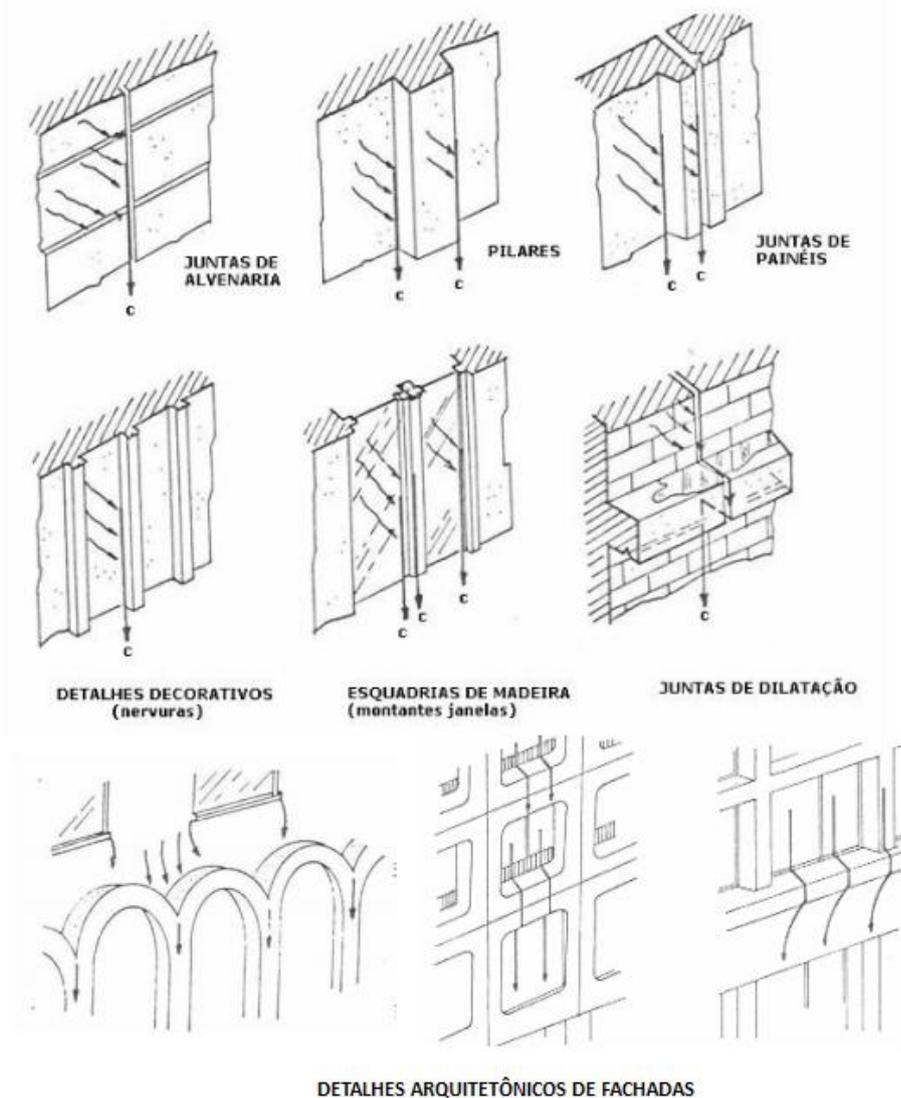


Figura 12: elementos direcionadores de fluxo (adaptado de BAUER, E., 1987)

A figura 13 mostra diagramas de fluxos de água em pingadeiras com geometria e tamanhos diferentes, para análise do descolamento da lâmina de água da superfície das fachadas. Estes elementos promovem o redirecionamento do fluxo da água, evitando escorrer diretamente pela parede (VIEIRA¹⁰, 2005). Nota-se que pequenas projeções já são capazes de deslocar grande parte do fluxo d'água. Com geometria e tamanho certos pode-se realizar total redirecionamento do fluxo.

¹⁰ A autora cita como referência para os estudos de fluxo as obras:

PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas** (1ª parte). São Paulo: Pini, 1988.

THOMAZ, E. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1990. p. 97-117.

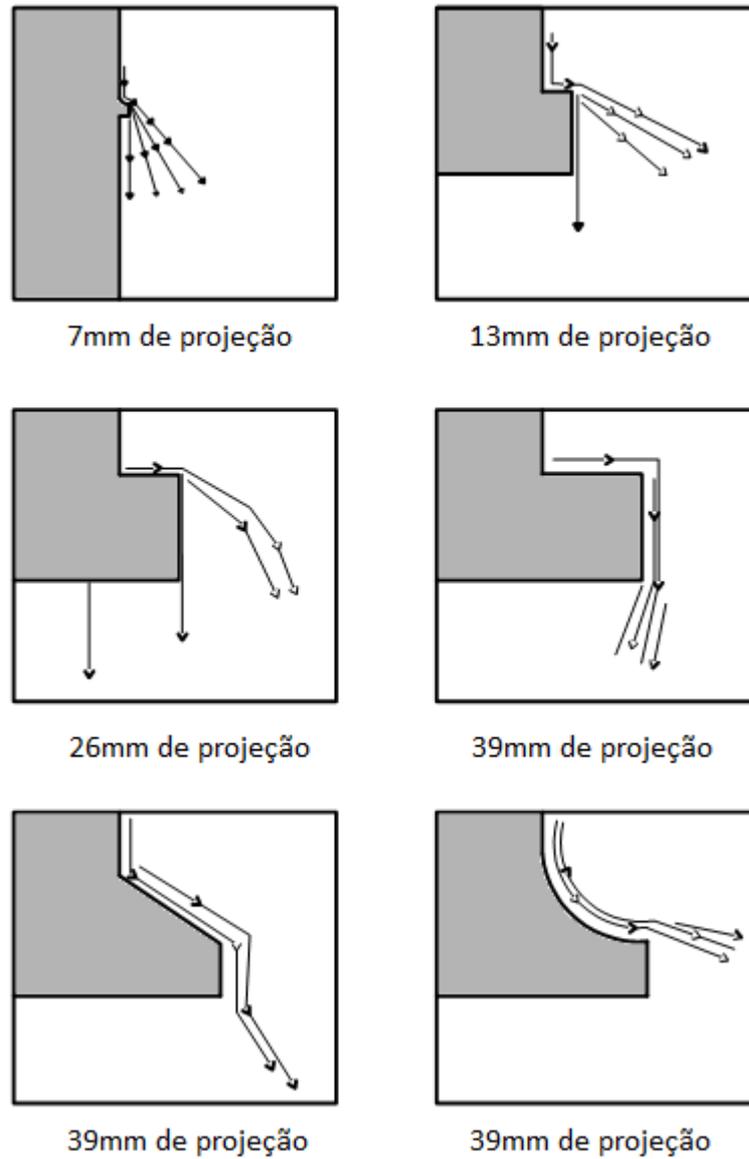


Figura 13: diagramas do fluxo de água em pingadeiras com diferentes geometrias (adaptado de VIEIRA¹¹, 2005)

¹¹A autora cita como referência para os estudos de fluxo as obras:

PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas** (1ª parte). São Paulo: Pini, 1988.

THOMAZ, E. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1990. p. 97-117.

4 ESTUDO DE CAMPO

Neste trabalho foi realizada a avaliação da permeabilidade e resistência de aderência em edificações na cidade de Caxias do Sul/RS. Os ensaios adotados basearam-se nos testes sugeridos pelas normas técnicas 13528/2010 e 15575-4/2008 para avaliação de resistência à aderência e permeabilidade, respectivamente.

Teve-se como critérios de escolha das edificações, a disponibilidade de acesso as obras por parte da construtora concedente, a característica de ser revestida com argamassa e a idade do revestimento que devia ser 28 dias.

Foram avaliadas quatro obras no total, todas situadas na cidade de Caxias do Sul/RS. Uma delas possui padrão popular, duas padrão classe média e uma foi expansão de uma edificação comercial. A obtenção de dados se deu ao longo de três meses, julho, agosto e setembro, compreendendo o período de inverno.

A seguir serão apresentadas as edificações analisadas, bem como sua caracterização e condições ambientais registradas no momento dos ensaios.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS ANALISADOS

A edificação denominada de A é um empreendimento de padrão popular, consiste em um condomínio de 12 casas geminadas de dois andares que atende aos requisitos do programa habitacional Minha Casa, Minha Vida, do Governo Federal.

Este programa é gerido pelo Ministério das Cidades e operacionalizado pela CAIXA. Consiste na aquisição de terreno e construção de unidades habitacionais, que depois de concluídas são vendidas, às famílias que possuem baixa renda. Para fazer parte do programa, casas térreas devem no mínimo ter 32m², dois quartos, cozinha, sala, banheiro e área de serviço.

A figura 14 apresenta a edificação A, em sua fachada principal, norte. Pode-se observar que a obra está em estágio avançado.



Figura 14: fachada norte da edificação A

A obra, feita com alvenaria estrutural de blocos de concreto e na fachada oeste onde há uma parede de concreto para contenção, a empresa construtora realizou dois painéis para os ensaios com argamassas diferentes. Com base nos resultados obtidos, uma das argamassas seria escolhida, e posteriormente receberia acabamento com pintura acrílica. Os painéis foram executados sobre chapisco, utilizando:

- a) argamassa misturada *in loco*, cuja composição é: cimento, cal hidratada, areia úmida, traço volumétrico 1:1:6;
- b) argamassa industrializada, ensacada, cuja composição é: cimento, cal hidratada, areia. Quantidade de água conforme orientação do fabricante.

Os painéis foram ensaiados com idade de 31 dias, a média de temperatura no período dos ensaios de permeabilidade e resistência à aderência foi 14° C e 17° C, respectivamente. A figura 15 mostra a vista superior da localização do empreendimento.

Pode-se observar na figura 15, que a imagem da vista superior é anterior a sequência de urbanização do bairro, e o local marcado com um círculo em vermelho é onde fica o condomínio atualmente. Além do que está ali representado, foram urbanizadas apenas mais algumas quadras, portanto a obra analisada se caracteriza inserida em uma zona com flora e fauna muito próxima.

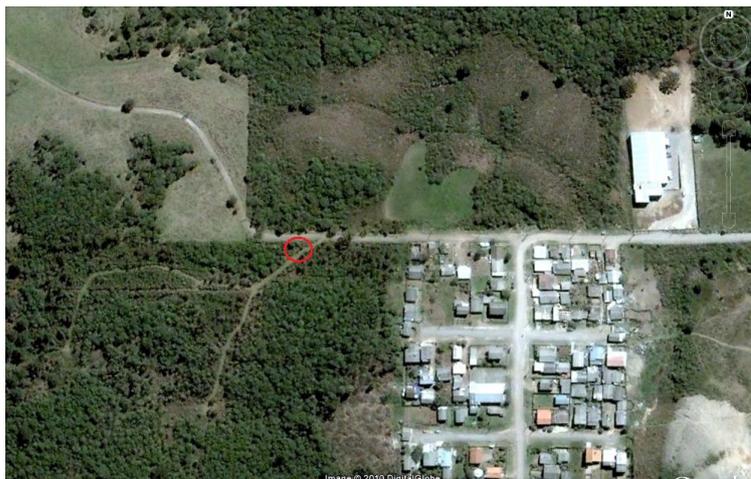


Figura 15: localização da edificação A (GOOGLE, 2010)

A segunda edificação, denominada de B, consistiu de um ambiente comercial empregado como floricultura. Caracteriza-se por possuir dois pavimentos mais terraço e aproximadamente 140 m² de área construída.

A obra estava em fase de finalização, aguardando pintura acrílica. A edificação B foi feita em estrutura de concreto armado, com vedação de blocos de concreto maciço e revestida utilizando argamassa misturada *in loco* composta por cimento, cal hidratada, areia úmida, de traço volumétrico 1:2:6, sobre chapisco. Foram usados blocos de concreto maciços para execução porque o proprietário da edificação tinha este material disponível e queria usar visando economia. A argamassa ensaiada foi do próprio revestimento da edificação que é sobre concreto (neste caso não foram confeccionados painéis especiais para o ensaio). A figura 16 mostra a fachada ensaiada da edificação B.



Figura 16: fachada ensaiada edificação B

O ensaio ocorreu aos 36 dias, na fachada oeste e a média de temperatura no período dos testes de permeabilidade e resistência à aderência foi de 17° C e 13° C, respectivamente. A figura 17 mostra a vista superior da localização.



Figura 17: localização da edificação B (GOOGLE, 2010)

Observando a figura 17, o círculo vermelho indica o local da edificação e fica evidenciada a condição de zona urbana em que a edificação está inserida

A terceira edificação analisada foi um empreendimento de padrão classe média alta, denominada edificação C. A edificação possui 7 pavimentos e foi feita em estrutura de concreto armado, com vedação de blocos cerâmicos e revestida utilizando argamassa confeccionada *in loco* composta por cimento, cal hidratada, areia úmida, de traço volumétrico 1:1:6, sobre chapisco. Além disso, a edificação recebeu acabamento com revestimento cimentício tipo travertino, com resina em sua composição.

A edificação C já estava concluída quando foi realizado o ensaio, se aproveitou um reparo devido a mudanças no último pavimento, onde se tinha, então, a argamassa de revestimento sem a camada de revestimento cimentício resinado. Então a argamassa ensaiada foi do próprio revestimento da edificação que é sobre blocos de concreto. A figura 18 mostra vista da edificação C.



Figura 18: edificação C

O ensaio ocorreu aos 30 dias, na fachada sul e a média de temperatura no período do ensaio de resistência à aderência foi de 15° C. A figura 19 mostra a vista superior da localização.



Figura 19: localização da edificação C (GOOGLE, 2010)

Pode se observar na figura 19 que a edificação C está inserida em área urbana.

Por último ensaiou-se uma segunda edificação de padrão classe média, denominada de D, esta edificação contou com uma equipe de mão-de-obra diferente das demais, o que pode trazer alguma variação da qualidade. A edificação possui 8 pavimentos e foi feita em alvenaria estrutural com blocos de concreto. A construtora ainda não começou a execução do revestimento externo na edificação e confeccionou 3 painéis para serem ensaiados. A escolha do revestimento vai se basear nos resultados obtidos pelos ensaios. Os painéis executados utilizaram sobre chapisco:

- a) argamassa industrializada, ensacada, cuja composição é: cimento, cal hidratada, areia, fibras de polipropileno. Quantidade de água conforme orientação do fabricante. Foi realizado na fachada sudeste sobre blocos de concreto de alvenaria estrutural;
- b) argamassa industrializada, ensacada, cuja composição é: cimento, cal hidratada, areia, fibras de polipropileno. Quantidade de água conforme orientação do fabricante. Foi realizado na fachada sudoeste sobre blocos cerâmicos;
- c) revestimento mineral especial para camada única aplicado na fachada sudoeste sobre blocos cerâmicos e pilar de concreto.

A figura 20 mostra a fachada principal, sudoeste, e é possível visualizar os painéis confeccionados na alvenaria de blocos cerâmicos no pavimento térreo.



Figura 20: fachada sudoeste da edificação D

Os ensaios na fachada sudoeste ocorreram aos 29 dias e a média de temperatura no período do ensaio de resistência à aderência foi de 13°C. O ensaio na fachada sudeste ocorreu aos 35 dias e a média de temperatura no período do ensaio de resistência à aderência foi de 24° C. A figura 21 mostra a vista superior da localização.



Figura 21: localização da edificação D (GOOGLE, 2010)

Fica evidenciado na figura 21, que o empreendimento D localiza-se em zona urbana. Para melhor comparação o quadro 3 mostra as características de cada obra.

| Edificação | Tipo | Método Construtivo | Vedação | Mão-de-obra |
|------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|-------------|
| A | Residencial popular | Alvenaria estrutural | Bloco de concreto | X |
| B | Comercial | Concreto armado | Bloco de concreto maciço | X |
| C | Residencial padrão alto | Concreto armado | Bloco de concreto/cerâmico | X |
| D | Residencial padrão médio | Alvenaria estrutural | Bloco de concreto/cerâmico | Y |

Quadro 3: características das obras analisadas

4.2 ENSAIOS REALIZADOS

A seguir são apresentados os ensaios de resistência à aderência e permeabilidade, tal como foram realizados especificando detalhadamente todos os pontos desde a escolha da data até a obtenção dos dados para avaliação.

4.2.1 Ensaio de Resistência à Aderência

No total foi avaliada a resistência de aderência de sete revestimentos diferentes:

- a) foram realizados na edificação A dois ensaios, sendo um em revestimento executado com argamassa industrializada e outro com argamassa misturada *in loco*, ambos situados na fachada oeste;
- b) foi realizado na edificação B um ensaio em revestimento feito com argamassa misturada *in loco*, situado na fachada oeste;
- c) foi realizado na edificação C um ensaio em revestimento feito com argamassa misturada *in loco*, situado na fachada sul.
- d) foram realizados três ensaios na edificação D, sendo um feito com revestimento mineral de camada única e outro com argamassa industrial, ambos na fachada

sudoeste, e um em revestimento feito com argamassa industrial situado na fachada sudeste.

Os ensaios estavam previstos para serem realizados na idade de 28 dias de cura do revestimento, definição da norma NBR 13528. Nesta idade eram analisadas as condições climáticas e na primeira data possível o mesmo era realizado. Eram escolhidos os dias com tempo ensolarado ou nublado, sem possibilidade de chuva, que sucediam dias de igual clima, para se evitar a umidade em excesso no revestimento, que poderia vir a causar perturbações nos resultados e na própria aplicação do teste.

No local do teste, primeiramente se definiam os locais de retirada dos corpos-de-prova, para cada argamassa ensaiada eram retirados seis corpos-de-prova (não doze como recomenda a NBR 13528 pelas limitações do trabalho), estes deviam contemplar blocos e juntas de assentamento sem prejudicarem uns aos outros, e também uma variação de altura significativa, por causa da variação da força do trabalhador na hora do lançamento da argamassa. Foi então definido que a forma de distribuição dos corpos-de-prova que melhor se ajustava as condições necessárias era alinhar os corpos-de-prova em reta a 45 graus de 10 em 10 cm. Depois de feita a marcação, com a utilização de uma serra copo com diâmetro de 5 cm, era feita a furação até o nível do substrato. A figura 22 ilustra as demarcações.

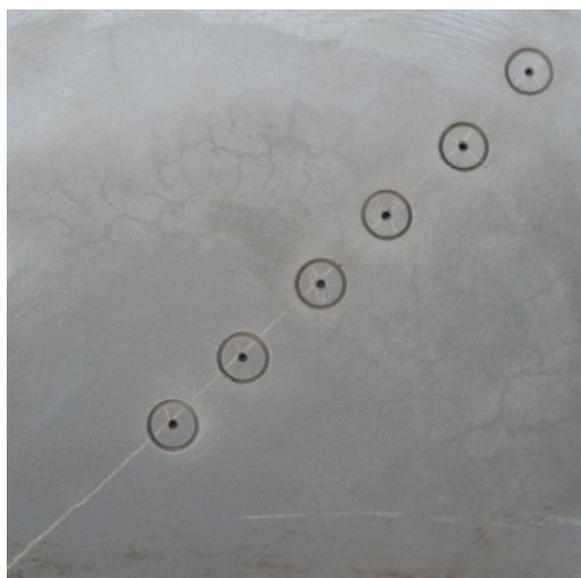


Figura 22: posição dos corpos-de-prova

Delimitadas as áreas dos corpos-de-prova, era feita uma limpeza na superfície do revestimento, com pincel, com o propósito de retirar pequenos grãos soltos que prejudicam a aderência das pastilhas. Após a limpeza das pastilhas as mesmas eram fixadas no revestimento, com o uso de um adesivo como mecanismo de cola. O tempo de espera para o adesivo enrijecer era de 10 min, ao final deste se acoplava o equipamento e se dava início ao teste.

O equipamento utilizado neste ensaio foi o descrito no capítulo 3, página 19. Consiste em um eixo metálico, que funciona como braço de alavanca, no qual se aplica a carga na extremidade gerando um esforço de tração. Para facilidade de ensaio utilizou-se um balde e como carga sacos de areia com massa de 1 kg. A figura 23 ilustra o equipamento montado, no começo do ensaio.

Com o dispositivo montado, era verificada a ortogonalidade do conjunto com um nível de bolha e iniciava-se o ensaio, colocando a cada 20 s um saco de areia de massa de 1 kg, até que o revestimento rompesse. Era feita então a contagem do número de sacos e a observação e registro da forma de ruptura.



Figura 23: equipamento de tração

De posse do valor da massa suspensa na hora da ruptura, calcula-se a resistência à tração do revestimento. Como se trata de um aparelho com braço de alavanca, deve-se considerar além

da distância massa-parede, a massa do braço de alavanca, a distância entre a parede e o eixo que apóia o extensor, a distância entre o braço de alavanca e o eixo que apóia o extensor e a massa suspensa. A figura 24 ilustra as dimensões de conhecimento necessário.

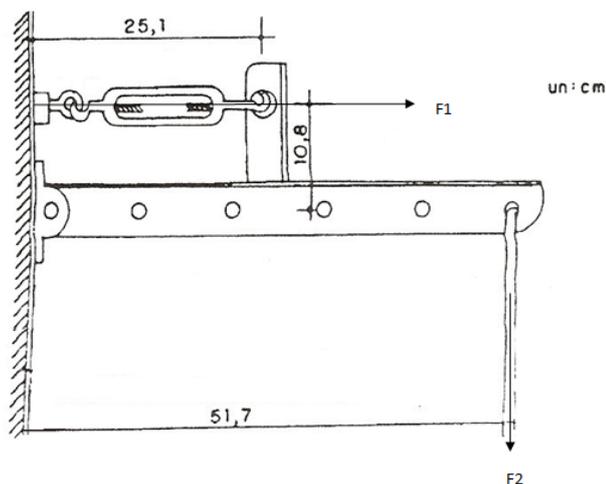


Figura 24: distâncias e forças significativas no cálculo da tensão de aderência

A força de arrancamento, $F1$, é dada pela fórmula 2:

$$F1 = (P.25,1 + F2.51,7) * 10/10,8 \quad (\text{fórmula, 2})$$

Onde:

$F1$ é a massa de arrancamento (kg);

P é a massa do braço do equipamento (kg);

$F2$ é a massa suspensa (kg).

O cálculo da tensão de aderência é a simples divisão da força de arrancamento pela área do corpo-de-prova, conforme a fórmula 3:

$$R_a = P/A \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

R_a é a resistência de aderência à tração (MPa);

P é a força de ruptura (N);

A é a área do corpo-de-prova (mm²).

4.2.2 Ensaio de Permeabilidade

A intenção inicial para este trabalho era de realizar para cada argamassa ensaiada à aderência um ensaio de permeabilidade. Porém, não foi possível por motivos a serem explicados no próximo capítulo. Foram realizados seis ensaios em três edificações diferentes. Destes quatro ensaios foram feitos em revestimento sem pintura e 2 em revestimentos com pintura acrílica.

Ao realizar os testes de permeabilidade em revestimentos sem pintura se constatou que o teste não se mostra conclusivo a este caso, pois por se tratar de um material muito poroso, a água era absorvida em demasia, por exemplo, se observou que em menos de 1 minuto foram absorvidos 30 cm³ de água, assim não se estabilizava afim de medições. Em função deste acontecimento foram realizados mais 2 testes, estes em revestimentos com pintura acrílica, com o propósito de avaliar a aplicação do teste, nessa nova condição.

Assim como o teste de resistência à aderência, o teste de permeabilidade exigia o cuidado quanto às condições climáticas específicas. Eram precisos 3 dias consecutivos sem chuva para o preparo do ensaio, o primeiro para montagem do aparelho, o segundo e terceiro para que não houvessem interferências nas medições.

As câmaras usadas nos testes foram emprestadas pelo laboratório de materiais do NORIE. As mesmas foram confeccionadas em ferro nas medidas exigidas pela NBR15575-4, que são 16 cm x 34 cm. A garantia de pressão constante dava-se pelo fato de preencher a bureta com água após o fechamento das torneiras, formando-se assim uma pequena coluna d'água acima da câmara.

Primeiramente era feita a montagem do equipamento, simplesmente acoplado-o a câmara na parede apoiado-a por uma guia, verificava-se a ortogonalidade com nível de bolha e era feita a vedação com silicone próprio para material poroso. Somente no dia seguinte a caixa era preenchida com água por uma das torneiras, enquanto o ar saía pela outra e por fim completava-se de água no tubo. Após o preenchimento da câmara com água, era imediatamente registrado o nível de água inicial na bureta e depois nos períodos: 30min, 1h, 2h, 4h, 6h e 24h. A figura 25 mostra o equipamento montado.

A grande dificuldade na aplicação do teste era o fato de que só se percebiam problemas na vedação quando se tentava preencher com água a caixa. Quando isto ocorria, era feita a total remoção do aparelho, pois não há como vedá-lo com água dentro, e mesmo que fosse feita a remoção da água para se tentar um reparo de vedação, o revestimento analisado já estaria umedecido, portanto inválido para um novo teste que fosse se realizar no dia seguinte, necessitando assim refazer a montagem do equipamento em uma nova área.



Figura 25: aparelho de permeabilidade montado

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os ensaios realizados foram feitos em obras cedidas pela mesma empresa, portanto contaram com um mesmo sistema de produção e materiais de mesma qualidade. Os resultados obtidos serão analisados separadamente.

5.1 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA

Serão apresentados os resultados dos ensaios de aderência estudados na pesquisa do trabalho, comentados individualmente e por fim será feita a conclusão destas análises.

5.1.1 Análise individual dos ensaios

O primeiro ensaio realizado foi na edificação A, com as características mostradas no quadro 4:

| | |
|--------------|---------------------------|
| Fachada | Oeste |
| Substrato | Parede de Concreto |
| Temperatura | 17°C |
| Revestimento | Argamassa Industrializada |

Quadro 4: características do ensaio 1

A tabela 1 mostra as tensões obtidas no momento da ruptura e a forma de ruptura conforme mostrado na figura 5 do capítulo anterior, os valores em casas azuis são superiores ao limite da norma, casas hachuradas em vermelho são corpos-de-prova que tiveram problemas no mecanismo de cola e os valores em lilás e vermelho são respectivamente, o maior e o menor valor.

Segundo a Norma NBR 13749/1997, quatro valores de tensão em uma gama de 6 corpos-de-prova devem ser superiores a 0,3 MPa. No quadro 3 pode-se observar que apenas dois valores foram superiores, portanto o revestimento em estudo não está de acordo. É válido ressaltar que a edificação onde se realizou este ensaio encontra-se em zona muito arborizada, o que caracteriza difícil ventilação e grande umidade nas fachadas.

Tabela 1: resistência à tração do revestimento no ensaio 1

| CP | Área (mm ²) | Carga de ruptura (N) | F1 (N) | Tensão (MPa) | Forma de ruptura |
|----|-------------------------|----------------------|--------|--------------|--------------------|
| 1 | 1256 | 55,2 | 267,08 | 0,21 | chapisco/argamassa |
| 2 | 1256 | 102,2 | 492,07 | 0,39 | chapisco/argamassa |
| 3 | 1256 | 67,2 | 324,52 | 0,26 | na argamassa |
| 4 | 1256 | 93,7 | 451,38 | 0,36 | chapisco/argamassa |
| 5 | 1256 | 55,6 | 268,99 | 0,21 | substrato/chapisco |
| 6 | 1256 | 33,2 | 161,77 | 0,13 | argamassa/cola |

O segundo ensaio realizado na edificação A teve as características mostradas no quadro 5:

| | |
|--------------|--|
| Fachada | Oeste |
| Substrato | Parede de Concreto (20 MPa) |
| Temperatura | 17°C |
| Revestimento | Argamassa Misturada <i>in loco</i> , traço 1:1:6 |

Quadro 5: características do ensaio 2

Os resultados obtidos neste ensaio são mostrados na tabela 2. Avaliando os resultados da tabela 2, nota-se que apenas três valores foram superiores ao valor mínimo imposto pela Norma NBR 13749/1997, mas os outros três valores obtidos estão muito próximos deste valor. Nota-se também uma homogeneidade nos valores de resistência, que não é comum em revestimentos feitos com argamassa misturada *in loco*, também deve ser ressaltado que o menor valor (0,26) é uma resistência adequada considerando-se que foi a mais baixa. Este ensaio também foi realizado em edificação inserida em zona muito arborizada.

Tabela 2: resistência à tração do revestimento no ensaio 2

| CP | Área (mm ²) | Carga de ruptura (N) | F1 (N) | Tensão (MPa) | Forma de ruptura |
|----|-------------------------|----------------------|--------|--------------|------------------|
| 1 | 1256 | 67,2 | 324,52 | 0,26 | argamassa/cola |
| 2 | 1256 | 76,2 | 367,61 | 0,29 | argamassa/cola |
| 3 | 1256 | 72,2 | 348,46 | 0,28 | argamassa/cola |
| 4 | 1256 | 110 | 529,41 | 0,42 | na argamassa |
| 5 | 1256 | 159 | 763,97 | 0,61 | na argamassa |
| 6 | 1256 | 97 | 467,18 | 0,37 | na argamassa |

O terceiro ensaio, realizado na edificação B, foi feito em revestimento argamassado com as características indicadas no quadro 6.

| | |
|--------------|--|
| Fachada | Oeste |
| Substrato | Parede de Concreto (20 MPa) |
| Temperatura | 15°C |
| Revestimento | Argamassa Misturada <i>in loco</i> , traço 1:2:6 |

Quadro 6: características do ensaio 3

A tabela 3 mostra os valores obtidos no ensaio.

Tabela 3: resistência à tração do revestimento no ensaio 3

| CP | Área (mm ²) | Carga de ruptura (N) | F1 (N) | Tensão (MPa) | Forma de ruptura |
|----|-------------------------|----------------------|--------|--------------|------------------|
| 1 | 1256 | 95 | 457,67 | 0,36 | na argamassa |
| 2 | 1256 | 50 | 242,26 | 0,19 | argamassa/cola |
| 3 | 1256 | 30 | 146,52 | 0,12 | argamassa/cola |
| 4 | 1256 | 125 | 601,28 | 0,48 | na argamassa |
| 5 | 1256 | 50 | 242,26 | 0,19 | argamassa/cola |
| 6 | 1256 | 50 | 242,26 | 0,19 | argamassa/cola |

Somente dois valores foram superiores a 0,3 MPa e os demais valores ficaram bem abaixo de 0,3 MPa. Vale destacar também que os valores não aprovados pela Norma foram valores obtidos com ruptura tipo F, ou seja, falhas de teste relacionadas à cola. Não se pode usar estes valores para avaliação do revestimento, pois este valor não diz respeito ao revestimento.

O quarto teste realizado, que foi na edificação C, possuía as características indicadas no quadro 7.

| | |
|--------------|--|
| Fachada | Sul |
| Substrato | Bloco de Concreto |
| Temperatura | 15°C |
| Revestimento | Argamassa Misturada <i>in loco</i> , traço 1:1:6 |

Quadro 7: características do ensaio 4

Os resultados obtidos neste ensaio são mostrados na tabela 4.

Tabela 4: resistência à tração do revestimento no ensaio 4

| CP | Área (mm ²) | Carga de ruptura (N) | F1 (N) | Tensão (MPa) | Forma de ruptura |
|----|-------------------------|----------------------|---------|--------------|------------------|
| 1 | 1256 | 155 | 744,90 | 0,59 | na argamassa |
| 2 | 1256 | 138 | 663,52 | 0,53 | na argamassa |
| 3 | 1256 | 40 | 194,39 | 0,15 | na argamassa |
| 4 | 1256 | 253 | 1214,03 | 0,97 | na argamassa |
| 5 | 1256 | 152 | 730,53 | 0,58 | na argamassa |
| 6 | 1256 | 130 | 625,22 | 0,50 | na argamassa |

Observa-se na tabela 4, que cinco valores foram superiores a 0,3 MPa, portanto o revestimento está de acordo com as especificações da Norma. Também se observa valores de resistência bem consistentes e o maior valor quase chegando a 1 MPa, realmente em boas condições de aderência.

Na sequência, o quinto teste realizado foi na edificação D, com as características descritas no quadro 8.

| | |
|--------------|---------------------------|
| Fachada | Sudeste |
| Substrato | Bloco de Concreto |
| Temperatura | 15°C |
| Revestimento | Argamassa Industrializada |

Quadro 8: características ensaio 5

Além das características básicas, ressalta-se que os ensaios realizados na edificação C, contaram com mão-de-obra diferente dos demais empreendimentos, e que este primeiro ensaio tinha revestimento pouco espesso, de aproximadamente 1 cm. Os resultados obtidos são expressos na tabela 5.

Tabela 5: resistência à tração do revestimento no ensaio 5

| CP | Área (mm ²) | Carga de ruptura (N) | F1 (N) | Tensão (MPa) | Forma de ruptura |
|----|-------------------------|----------------------|--------|--------------|------------------|
| 1 | 1256 | 175 | 840,64 | 0,67 | na argamassa |
| 2 | 1256 | 60 | 290,13 | 0,23 | na argamassa |
| 3 | 1256 | 15 | 74,71 | 0,06 | na argamassa |
| 4 | 1256 | 10 | 50,78 | 0,04 | na argamassa |
| 5 | 1256 | 0 | 2,91 | 0,00 | na argamassa |
| 6 | 1256 | 50 | 242,26 | 0,19 | na argamassa |

Conforme a tabela 5, pode-se observar que apenas um valor obteve tensão de resistência à aderência maior do que 0,3 MPa. Os demais valores foram muito baixos, portanto longe das exigências da Norma. Sendo assim o revestimento não está em boas condições de aderência.

O sexto ensaio, realizado na edificação D, tem as características mostradas no quadro 9:

| | |
|--------------|---------------------------|
| Fachada | Sudoeste |
| Substrato | Bloco Cerâmico |
| Temperatura | 13°C |
| Revestimento | Argamassa Industrializada |

Quadro 9: características do ensaio 6

Os resultados obtidos são mostrados na tabela 6.

Tabela 6: resistência à tração do revestimento no ensaio 6

| CP | Área (mm ²) | Carga de ruptura (N) | F1 (N) | Tensão (MPa) | Forma de ruptura |
|----|-------------------------|----------------------|--------|--------------|------------------|
| 1 | 1256 | 20 | 98,65 | 0,08 | argamassa/cola |
| 2 | 1256 | 25 | 122,58 | 0,10 | argamassa/cola |
| 3 | 1256 | 30 | 146,52 | 0,12 | na argamassa |
| 4 | 1256 | 60 | 290,13 | 0,23 | na argamassa |
| 5 | 1256 | 50 | 242,26 | 0,19 | na argamassa |
| 6 | 1256 | 35 | 170,45 | 0,14 | na argamassa |

Observando os resultados da tabela 8, percebe-se que nenhum corpo-de-prova atingiu o valor mínimo estabelecido pela Norma, e também que as tensões obtidas são muito pequenas. Configurando então um revestimento em más condições de resistência à aderência.

O sétimo e último ensaio realizado na edificação D foi feito em revestimento argamassado com as características descritas no quadro 10.

| | |
|---------------------|-------------------------------------|
| Fachada | Sudoeste |
| Substrato | Bloco Cerâmica/Elemento de Concreto |
| Temperatura | 13°C |
| Revestimento | Mineral Especial para Camada Única |

Quadro 10: características ensaio 7

A seguir a tabela 7 mostra os resultados do último ensaio de resistência à aderência. Analisando-se os resultados mostrados na tabela 7, mostra três valores acima do mínimo exigido pela Norma NBR 13749/1997, um valor muito próximo a isto e outros bem aquém. Não se pode considerar que o revestimento está em más condições de aderência, pois as duas tensões mais baixas possuem forma de ruptura do tipo F, ou seja, problemas com a cola.

Tabela 7: resistência à tração do revestimento no ensaio 7

| CP | Área (mm ²) | Carga de ruptura (N) | F1 (N) | Tensão (MPa) | Forma de ruptura |
|----|-------------------------|----------------------|--------|--------------|------------------|
| 1 | 1256 | 25 | 122,58 | 0,10 | argamassa/cola |
| 2 | 1256 | 63 | 304,49 | 0,24 | na argamassa |
| 3 | 1256 | 150 | 720,96 | 0,57 | na argamassa |
| 4 | 1256 | 100 | 481,61 | 0,38 | na argamassa |
| 5 | 1256 | 20 | 98,65 | 0,08 | argamassa/cola |
| 6 | 1256 | 120 | 577,35 | 0,46 | na argamassa |

5.1.2 Conclusão geral dos ensaios de resistência à aderência

De uma forma geral analisando os ensaios de acordo com os critérios da Norma NBR 13749/1997, apenas um dos revestimentos testados está de acordo, portanto em boas condições de aderência. Este ensaio foi o de número 4 realizado na edificação C; o revestimento foi confeccionado com argamassa misturada *in loco*, composta de cimento, cal e areia e com traço 1:1:6.

Em geral se sabe que a argamassa misturada *in loco* costuma ter bons resultados de aderência. A figura 26 mostra o número de corpos-de-prova em cada ensaio que obtiveram valor superior ao mínimo exigido pela Norma de tensão de aderência.

Analisando a figura 26 também se pode fazer destaque aos ensaios 2 e 7, por alcançarem três corpos-de-prova aprovados. Ressalta-se também que o ensaio 2 teve formalmente três corpos-de-prova aprovados, mas também apresentaram mais dois valores muito próximos do mínimo exigido, a rigor o revestimento não estaria em boas condições de aderência, mas a análise minuciosa do ensaio denota que este revestimento não está em más condições de aderência. O que ocorre é que este é um ensaio que apresenta muita variabilidade. Isto pode mascarar os resultados. Não foram identificadas e nem observadas nenhuma situação que indicasse que o revestimento não apresentasse desempenho adequado.

ensaio 1 ■ ensaio 2 ■ ensaio 3 ■ ensaio 4 ■ ensaio 5 ■ ensaio 6 ■ ensaio 7

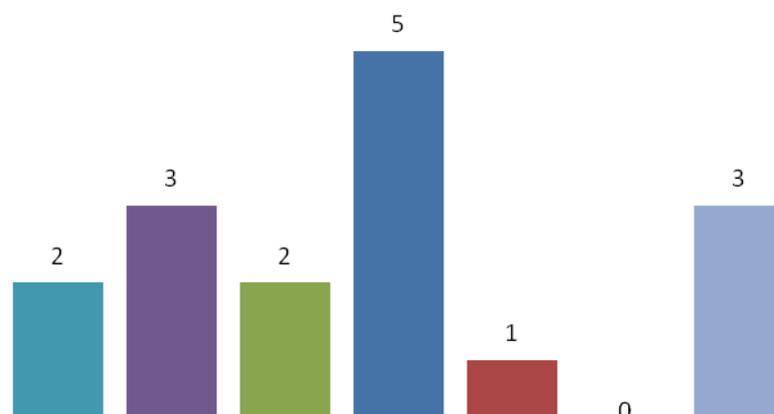


Figura 26: número de corpos-de-prova aprovados por ensaio conforme NBR 13749/96

A tabela 8 mostra os resultados dos ensaios em comparação direta, para melhor visualização. Valores em casas azuis indicam valores aprovados pela Norma, valores hachurados em vermelho indicam corpos-de-prova que obtiveram falhas no ensaio devido ao procedimento de cola, portanto não válidos para comparação entre argamassas.

Tabela 8: comparação direta entre valores de tensões nos ensaios

| TENSÕES DE RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA (MPa) | | | | | | | |
|--|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | ensaio 1 | ensaio 2 | ensaio 3 | ensaio 4 | ensaio 5 | ensaio 6 | ensaio 7 |
| FACHADA | OESTE | OESTE | OESTE | SUL | SUDESTE | SUDOESTE | SUDOESTE |
| ARGAMASSA | INDUSTR. | <i>IN LOCO (1:1:6)</i> | <i>IN LOCO (1:2:6)</i> | <i>IN LOCO (1:1:6)</i> | INDUSTR. | INDUSTR. | MINERAL |
| SUBSTRATO | CONCRETO | CONCRETO | CONCRETO | BLOCO CONC. | BLOCO CONC. | BLOCO CERAM. | BLOCO CERAM. |
| CP\EDIF. | A | | B | C | D | | |
| 1 | 0,21 | 0,26 | 0,36 | 0,59 | 0,67 | 0,08 | 0,10 |
| 2 | 0,39 | 0,29 | 0,19 | 0,53 | 0,23 | 0,10 | 0,24 |
| 3 | 0,26 | 0,28 | 0,12 | 0,15 | 0,06 | 0,12 | 0,57 |
| 4 | 0,36 | 0,42 | 0,48 | 0,97 | 0,04 | 0,23 | 0,38 |
| 5 | 0,21 | 0,61 | 0,19 | 0,58 | 0,00 | 0,19 | 0,08 |
| 6 | 0,13 | 0,37 | 0,19 | 0,50 | 0,19 | 0,14 | 0,46 |

Observando a tabela 8, nota-se a grande variabilidade nos resultados obtidos neste ensaio. Por exemplo no ensaio 5, obteve-se resultados variando-se de 0 a 0,67. Sendo assim a modificação na Norma NBR 13528, que agora recomenda ensaios com 12 corpos-de-prova e não mais com 6, mostra-se coerente e bem aplicada.

Observando-se ainda na tabela 8, verifica-se que ao se comparar os ensaios realizados em revestimentos com argamassa misturada *in loco*; ensaios 2, 3 e 4; a adição de cal não teve muito efeito sobre a aderência, visto que os traços com menor quantidade de cal obtiveram resultados semelhantes ao ensaio 3. Cabe ressaltar que a carbonatação da cal é um processo lento, desta forma aos 28 dias a sua contribuição como aglomerante ainda é pequena.

Também se nota a situação crítica do ensaio 6, no qual além de valores baixíssimos de tensão de aderência, nenhum corpo-de-prova atingiu 0,3 MPa. O fato de o substrato ser de blocos cerâmicos pode proporcionar valores inferiores a uma mesma situação com blocos de concreto, mas ao se fazer uma comparação direta ao ensaio 1 que possui mesma argamassa sobre parede de concreto, é visível a falta de resistência à aderência no ensaio 6, pois o substrato de blocos cerâmicos propicia valores maiores de resistência à aderência do que o substrato de concreto.

O quinto ensaio teve apenas uma tensão alta e aprovada, os demais valores muito baixos, o que caracteriza más condições de aderência. Já os ensaios 1 e 3 mostram situações típicas, a dificuldade de se atingir 0,3 MPa aos 28 dias, e a maior homogeneidade nos valores, proporcionada pela argamassa industrializada.

O ensaio 7, mostra que a argamassa mineral especial para camada única é uma boa opção em questões de aderência, ignorando-se o resultado com falha no teste tem-se 60% dos valores aprovados pela Norma.

Com esta análise conclui-se, então, que os revestimentos estudados em Caxias do Sul em geral não estão de acordo com a Norma, enfrentam um problema comum ao meio da construção, que é a dificuldade de resistência nos primeiros 28 dias.

Em relação a influência da posição solar nos resultados obtidos, com a ausência de um ensaio em fachada norte não se pode fazer uma avaliação muito precisa pois sabe-se que a fachada sul é de menor exposição solar e obteve o melhor resultado, mas como não houve ensaio em

que a variável em evidência fosse somente a posição solar, ficaria impreciso uma análise deste fator.

Tirando algumas exceções, por pequenos detalhes mais alguns ensaios não estão de acordo, o que não caracteriza de forma geral que sejam revestimentos de má qualidade. A figura 27 ilustra de forma geral os ensaios realizados.

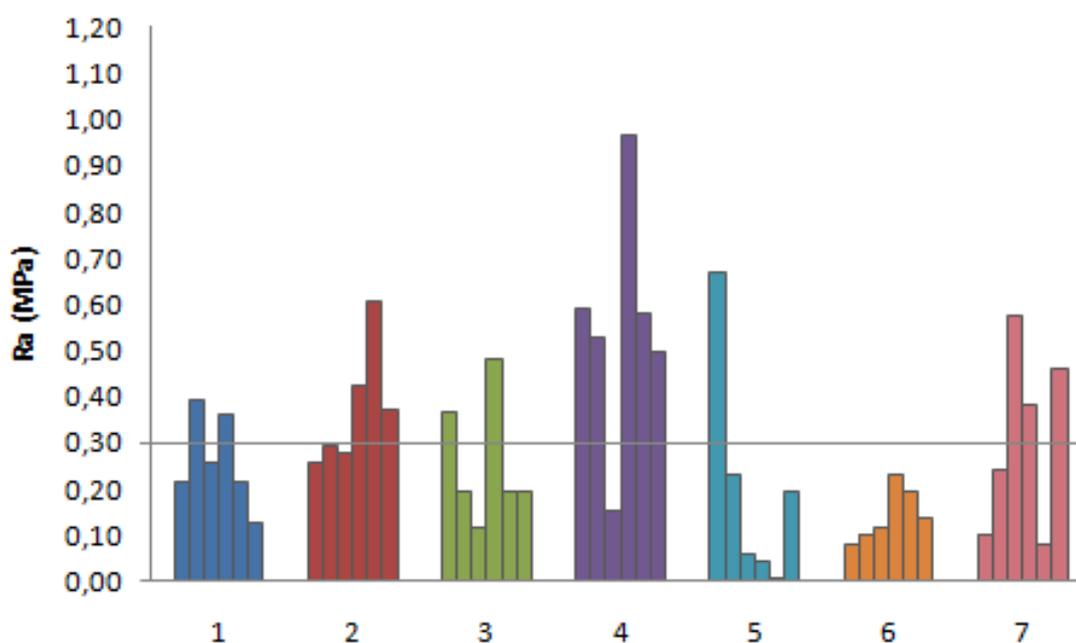


Figura 27: tensões de resistência à aderência por ensaio

5.2 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

Foram feitos dois ensaios simultâneos, nos painéis da edificação A, os quais não obtiveram resultados devido a não estabilização da água na bureta. Isto ocorreu pela característica do revestimento argamassado de ser altamente poroso. O que exatamente aconteceu quando se tentava completar a bureta com água é que a água rapidamente descia de nível, sendo absorvida pelo revestimento.

Depois disso, foi realizada mais uma tentativa do ensaio na edificação D que também foi inconclusiva. Neste ensaio a água até se manteve estabilizada na bureta alguns instantes, mas

nas medições periódicas ao se conferir o nível de água na bureta a mesma se encontrava sempre vazia.

Mais um ensaio foi realizado com intuito de se obter um resultado adequado, este, então, foi feito na edificação B. Primeiramente água se estabilizou e foram possíveis algumas medições, mostradas na tabela 9.

Tabela 9: resultados teste de permeabilidade

| Ensaio Permeabilidade | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Δh | Água abs. (cm ³) |
| 1h | >30 |
| 2h | 15,5 |
| 4h | 26 |
| 6h | 15,9 |
| 24h | >30 |

Acredita-se que a coluna d'água deste ensaio foi a única a estabilizar, pelo fato do revestimento estar sobre blocos maciços de concreto, que faziam parte da vedação da edificação. A temperatura média no dia do ensaio era de 17° C e a fachada testada foi a leste.

Observando a tabela 9, nota-se que o teste sofreu uma modificação da indicação da Norma 15575-4/2008 para sua realização. Observa-se isto pelo fato de a primeira medição ter absorvido mais de 30 cm³ de água e assim caracteriza-se a falta de pressão na câmara.

Concluindo que não se podia avaliar a permeabilidade de revestimentos argamassados sem camada de acabamento, pois o teste indicado pela Norma NBR 15575-4/2008 não é aplicável para esta finalidade. Verifica-se a importância do uso de acabamento como uma película de pintura ou uso de textura, uma vez que as argamassas de revestimento possuem alta permeabilidade.

Posteriormente foram feitos mais dois ensaios, estes em revestimentos argamassados com pintura acrílica, com função de análise em relação à aplicabilidade do teste.

Os dois ensaios foram realizados na edificação A, fachadas sul e leste. A temperatura média no dia dos ensaios era de 13° C. A tabela 12 mostra os resultados obtidos nos ensaios.

Tabela 12: resultados ensaios de permeabilidade sobre pintura acrílica

| Fachada Sul | | Fachada Leste | |
|--------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Δh | Água abs. (cm ³) | Δh | Água abs. (cm ³) |
| 0,5h | 0,3 | 0,5h | 0,4 |
| 1h | 0,4 | 1h | 0,6 |
| 2h | 0,4 | 2h | 0,9 |
| 4h | 0,45 | 4h | 1 |
| 6h | 0,6 | 6h | 1,1 |
| 24h | 1,3 | 24h | 2 |

Observa-se na tabela 12, que nas últimas medições houve uma maior variação da absorção d'água em função do maior intervalo de tempo entre as medidas, este último foi 18 horas, e também por evaporação da água através da bureta no intervalo de tempo mais longo. Observa-se também uma maior absorção no ensaio da fachada leste, talvez pela incidência de sol pela manhã.

Considerando o critério especificado pela norma NBR 15575-4/08 para umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel com incidência de água, que especifica como quantidade máxima de absorção d'água 3 cm³ em 24h, e não o específico para fachadas que diz respeito ao percentual de aparecimento de manchas, pode-se afirmar que foi possível realizar uma avaliação de revestimentos com pintura, pois o máximo absorvido foi 2 cm³ em 24 h. Com uma melhor visualização das análises são expostos os resultados na figura 28.

Observando a figura 28 pode-se notar a elevada absorção no início e fim do teste, explicado pelo fato da sucção inicial de um revestimento seco e na medição final pelo período ser muito maior que os das demais medições.

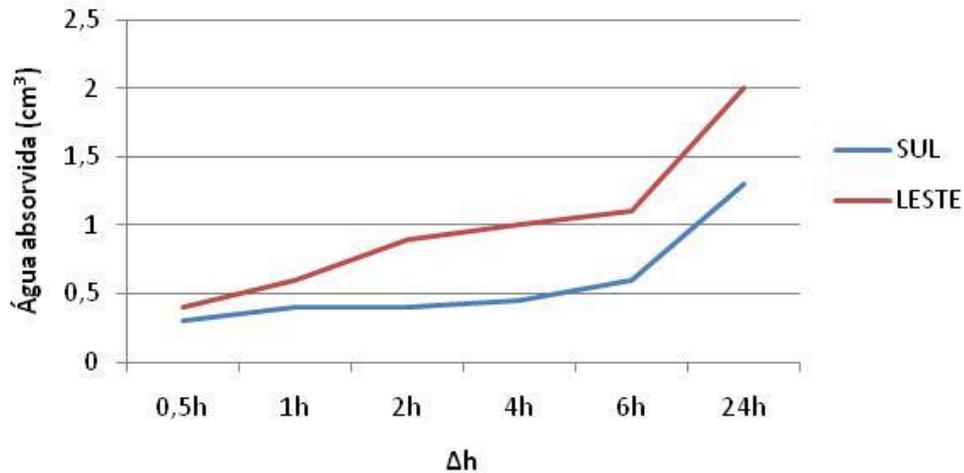


Figura 28: resultados do ensaio de permeabilidade

Não foram realizados ensaios na edificação C, que possuía acabamento impermeabilizante, porque esta tinha revestimento com textura em relevo, o que tornaria quase impossível a realização de vedação na câmara visto a dificuldade encontrada neste trabalho em vedá-las mesmo em paredes lisas.

Ao longo da realização do ensaio de permeabilidade preconizado pelo anexo D, verificou que seria importante fixar alguns parâmetros, como o diâmetro da bureta empregada, por exemplo. O uso de uma bureta com o diâmetro pequeno é muito mais sensível a uma variação de pressão do que uma bureta com o diâmetro maior. Da mesma forma, não é indicado qual deve ser o nível inicial de água para o início do ensaio.

6 CONCLUSÃO

Por se tratar de um trabalho de campo, existiam muitas variáveis para a comparação dos resultados entre si, com uma visão geral dos resultados obtidos nos ensaios de aderência pode-se chegar a algumas conclusões:

- a) validade da modificação no número de corpos-de-prova de 6 para 12 na NBR 13528, pelo fato da alta variabilidade de tensões em um mesmo ensaio;
- b) dificuldade de atingir 0,3 Mpa aos 28 dias de idade;
- c) revestimento mineral mostra-se uma boa opção.

No que se refere ao ensaio de permeabilidade, este teve caráter exploratório. Diversos foram os fatores que impediram uma avaliação de desempenho, o fato de a Norma que indica sua execução, NBR 15575-4/2008 anexo D, não ser minuciosa e bem detalhada, também sua difícil execução inviabilizou a realização de um maior número de ensaios e assim mais dados para avaliação.

Conclui-se, então, para o ensaio de permeabilidade a viabilidade de sua aplicação em revestimentos com camada protetora.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificação. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 15575-4**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

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

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos**: uma análise de desempenho. 1987. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 1**. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. Aderência de revestimentos de argamassa: aplicação em obra e resultados de 20 anos de pesquisa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR; ANTAC, 2009, 1 CD.

CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland e unidades de alvenaria**. São Paulo: EPUSP, 1997. Boletim Técnico – série BT/PCC. n. 179.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. Requisitos e critérios de desempenho para revestimento de camada única em argamassas de cimento e cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG ; ANTAC, 1995. p. 326-337. 1 CD.

DUAILIBE, R. P.; CAVANI, G. R.; OLIVEIRA, M. C. B. Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC; ANTAC, 2005. p. 508-517. 1 CD.

GALLEGOS, H.; Adhésion entre el mortero y lãs unidades de albañeria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG; ANTAC, 1995. p. 117-133. 1 CD.

GEYER, R. M. T.; **Influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato**. 1994. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GOOGLE, Google Earth, version 5.2: earth viewer software. [S.I.]: Google, 2010. Conjunto de programas. Disponível em: <<http://earth.google.com/intl/pt/>>.

LIMA, M. G. L.; MORELLI, F. Mapa brasileiro de “chuva dirigida”: algumas considerações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC; ANTAC, 2005. p. 620-634. 1 CD.

MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto**: influência das condições e temperatura e ventilação na cura do chapisco. 2007. 232 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PARAVISI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PEREIRA, P. C.; IKEDA, N. A.; CAMPOS, C. O.; TEIXEIRA, L. M.; CARASEK, H. Teor de cimento ou a/c: quem exerce maior influência na resistência de aderência? In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: UFES; ANTAC, 1999, p. 189-502.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação**. 2004. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa**. 2007. 273 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao estudo de aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substrato**. 2009. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SATO, N. M. N.; UEMOTO, K. L.; SHIRAKAWA, M. A; SAHADE, R. F. Condensação de vapor de água e desenvolvimento e microorganismos em fachadas de edifícios: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNONOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: UFPR; ANTAC, 2002, p. 1191-1198.

VIEIRA, A. A. **Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro histórico de Porto Alegre**: estudo de caso. 2005. 162 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso Profissionalizante da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.