

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

Alex Hespanhol Rodrigues

**ESTANQUEIDADE DE ALVENARIA REVESTIDA COM
DIFERENTES ARGAMASSAS E ACABAMENTOS:
APLICAÇÃO DA NBR 15575-4/2008**

Porto Alegre
dezembro 2010

ALEX HESPANHOL RODRIGUES

**ESTANQUEIDADE DE ALVENARIA REVESTIDA COM
DIFERENTES ARGAMASSAS E ACABAMENTOS:
APLICAÇÃO DA NBR 15575-4/2008**

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

Porto Alegre
dezembro 2010

ALEX HESPANHOL RODRIGUES

**ESTANQUEIDADE DE ALVENARIA REVESTIDA COM
DIFERENTES ARGAMASSAS E ACABAMENTOS:
APLICAÇÃO DA NBR 15575-4**

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, 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 (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Francieli Tiecher Bonsembiante (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

MEng. Juliana Alves de Lima Senisse
Ma. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha família e à meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Profa. Angela Borges Masuero pela paciência e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt pelas dicas e esclarecimentos durante a realização deste trabalho.

Agradeço a minha mãe Vera Lúcia por tudo.

A loucura e a genialidade são diferenciadas apenas pelo grau de sucesso.

Autor desconhecido

RESUMO

RODRIGUES, A. H. **Estanqueidade de alvenaria revestida com diferentes argamassas e acabamentos:** aplicação da NBR 15575-4/2008. 2010. 72 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Diversas manifestações patológicas nas edificações estão relacionadas com a penetração da água proveniente de chuvas nas fachadas. Para a capacidade da fachada de impedir a penetração da água dá-se o nome de estanqueidade. A Norma NBR 15575 – Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho estabelece novos parâmetros para se avaliar o desempenho de edificações. A quarta parte desta Norma é intitulada Sistemas de Vedações Verticais Externas e Internas e trata especificamente dos elementos de vedação das edificações, entre eles as fachadas, descrevendo os requisitos e critérios que estes elementos devem apresentar para que tenham um desempenho mínimo aceitável. Neste trabalho são apresentados os principais conceitos relativos à umidade de infiltração de água de chuva em edificações, bem como os mecanismos físicos pelos quais essa infiltração ocorre. Foi avaliada uma alvenaria de vedação feita com blocos cerâmicos e revestida com três argamassas distintas e seis acabamentos diferentes, com base em um dos ensaios que são indicados e descritos na NBR 15575-4/2008. Das diferentes combinações de revestimentos e acabamentos analisadas a que obteve o melhor desempenho quanto a estanqueidade foi o revestimento de argamassa com traço 1:1:6 (cimento CP IV, cal hidratada e areia fina úmida - traço em volume) que recebeu acabamento com selador acrílico e duas demãos de tinta acrílica. Infelizmente não foi possível se considerar estanque a alvenaria de vedação analisada, por uma falta de especificações da NBR 15575-4/2008. Estas especificações faltantes são apontadas e discutidas neste trabalho.

Palavras-chave: estanqueidade; umidade de infiltração; alvenaria de vedação; desempenho; fachada; NBR 15575-4.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: representação esquemática das etapas do projeto de pesquisa.....	18
Figura 2: distribuição dos tipos de problemas patológicos constatados.....	21
Figura 3: coeficiente $CDU_{\text{médio}}$ para cada forma de manifestação patológica (faces internas).....	22
Figura 4: chuva sendo defletida pela ação do vento.....	24
Figura 5: mapa brasileiro com os índices de precipitação anual em cada região.....	26
Figura 6: padrão de distribuição de pressões médias no mês de janeiro.....	27
Figura 7: movimentação atmosférica provocada pela rotação do globo terrestre.....	28
Figura 8: padrão de circulação geral da atmosfera (horizontal e vertical).....	28
Figura 9: condições de exposições ao vento conforme região brasileira.....	29
Figura 10: mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004.....	31
Figura 11: representação esquemática da difusão do vapor d'água.....	34
Figura 12: altura da ascensão capilar da água entre duas superfícies.....	36
Figura 13: forças que agem sobre uma molécula de um líquido em contato com um sólido.....	37
Figura 14: penetração da água da chuva provocada pela energia cinética.....	38
Figura 15: penetração da água provocada pela gravidade.....	38
Figura 16: penetração da água provocada pela pressão exercida pelo vento.....	39
Figura 17: solicitações impostas às alvenarias exteriores.....	40
Figura 18: fluxo de água em pingadeiras com diferentes geometrias.....	47
Figura 19: trajetória do fluxo de água nas esquadrias (a) peitoril favorecendo o desprendimento da água (b) peitoril favorecendo o acúmulo de água.....	48
Figura 20: câmara para ensaio de permeabilidade <i>in situ</i> de paredes.....	52
Figura 21: câmara para ensaio de permeabilidade de SVVIE.....	52
Figura 22: matriz experimental.....	54
Figura 23: paredes escolhidas para a realização dos ensaios (a) parede A (b) parede B..	55
Figura 24: preparo de superfície: remoção do revestimento existente nas paredes a serem ensaiadas (a) parede A (b) parede B.....	55
Figura 25: preparo de superfície: limpeza dos resquícios do revestimento removido (a) antes da limpeza (b) depois da limpeza.....	56
Figura 26: vista do chapisco lançado com colher sobre alvenaria de tijolos seis furos (a) parede A (b) parede B.....	56
Figura 27: vista das paredes com aplicação dos novos revestimentos em argamassa (a) industrializada e traço 1:1:6; (b) industrializada e traço 1:2:9.....	57

Figura 28: vistas das paredes com os acabamentos executados (a) parede A (b) parede B.....	58
Figura 29: aparato especificado pela NBR 15575 para a avaliação da estanqueidade (a) vista da face que fica em contato com a parede durante o ensaio (b) vista da forma na qual o aparelho deve ser posicionado sobre a parede durante o ensaio.....	59
Figura 30: detalhes geométricos da bureta utilizada.....	59
Figura 31: posicionamento do aparato junto da parede a ser ensaiada (a) antes da aplicação do selante (b) depois da aplicação do selante.....	60
Figura 32: problema com a utilização de selante flexível na realização do ensaio (a) antes do ensaio (b) durante o ensaio.....	61
Figura 33: vista superior do aparato sendo deslocado devido à pressão interna (a) antes do ensaio (b) durante o ensaio.....	61
Figura 34: sarrafo utilizado para pressionar o aparato contra a parede a ser ensaiada.....	62
Figura 35: níveis convencionados para a bureta em relação ao aparato.....	63
Figura 36: absorção de água ao longo do tempo em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos com diferentes revestimentos de argamassa e diferentes acabamentos (a) argamassa com traço 1:1:6 (b) argamassa industrializada (c) argamassa com traço 1:2:9.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais.....	33
Quadro 2: tempos de cura respeitados em cada etapa.....	58
Quadro 3: resultados de absorção de água ao longo do tempo em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos com diferentes revestimentos de argamassa e diferentes acabamentos.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: incidência de manifestações patológicas.....	20
Tabela 2: tipos de umidade na incidência de manifestações patológicas.....	24

LISTA DE SIGLAS

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CSTC: *Centre Scientifique et Technique de la Construcion*

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Norie/UFRGS: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação/UFRGS

SVVIE: Sistemas de Vedações Verticais Internos e Externos

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 MÉTODO DE PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	16
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	16
2.3 HIPÓTESES.....	16
2.4 PRESSUPOSTO.....	16
2.5 DELIMITAÇÕES.....	17
2.6 LIMITAÇÕES.....	17
2.7 DELINEAMENTO.....	17
3 UMIDADE	20
3.1 UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES.....	20
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES.....	23
3.3 UMIDADE DE INFILTRAÇÃO.....	24
3.3.1 Precipitação pluviométrica ou chuva	25
3.3.2 Vento	26
3.3.3 Chuva incidente ou dirigida	30
4 MECANISMOS DE TRANSPORTE DE UMIDADE NOS MATERIAIS	32
4.1 DIFUSÃO.....	34
4.2 CONVECÇÃO.....	34
4.3 CAPILARIDADE.....	35
4.4 FORÇAS EXTERNAS.....	37
4.4.1 Inércia	37
4.4.2 Gravidade	38
4.4.3 Pressão do vento	39
5 FACHADAS	40
5.1 MATERIAIS QUE CONSTITUEM O SISTEMA DE VEDAÇÃO.....	41
5.1.1 Argamassas	41
5.1.1.1 Argamassas de assentamento.....	42
5.1.1.2 Argamassas de revestimento.....	43
5.1.2 Blocos cerâmicos de vedação	44
5.1.3 Sistema de pintura	45
5.2 GEOMETRIA DAS FACHADAS.....	47
6 NBR 15575/2008 – NORMA DE DESEMPENHO	49

6.1 PARTE 1 – REQUISITOS GERAIS.....	49
6.2 PARTE 4 - SISTEMA DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS E INTERNAS	50
6.2.1 Infiltração de água de chuva em fachadas – critério e método de avaliação....	50
6.2.2 Umidade decorrente da ocupação do imóvel – critério e método de avaliação	51
6.3 MÉTODO DE ENSAIO - VERIFICAÇÃO DA PERMEABILIDADE À ÁGUA DE SVVIE.....	51
7 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	53
7.1 MATRIZ EXPERIMENTAL.....	53
7.2 MÉTODO DE ENSAIO.....	54
7.2.1 Execução dos revestimentos e acabamentos.....	54
7.2.2 Definição do equipamento utilizado.....	58
7.2.3 Execução dos ensaios.....	60
8 RESULTADOS.....	66
8.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	66
8.2 SUGESTÕES PARA MELHORIA DA NBR 15575-4/2008.....	69
9 CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais funções da habitação é a de proteção contra as intempéries (chuva, calor, frio, ruído, vento, etc.), sendo a fachada um dos principais elementos responsáveis por esse tipo de proteção e, dependendo do tipo dos materiais, da qualidade desses materiais e da forma de execução envolvidos no processo de construção, esta proverá uma maior ou menor proteção contra as intempéries. Os bens materiais devem cumprir com suas funções durante suas vidas úteis e, concebendo a edificação como um bem material, espera-se que a fachada cumpra com sua função de proteção contra as intempéries.

O presente trabalho trata especificamente da capacidade das fachadas em proteger contra a penetração da água da chuva. A relevância do tema é grande, tendo em vista que várias manifestações patológicas nas fachadas e no interior da edificação são provocadas pela penetração de umidade, sendo uma das fontes mais comuns desta umidade a incidência direta de chuva.

Para a propriedade que representa uma maior ou menor facilidade com que a percolação de água ocorre, através dos poros de um material, dá-se o nome de permeabilidade. Para a capacidade da fachada de impedir a penetração desses fluidos, dá-se o nome de estanqueidade. Portanto, para ser considerada estanque, a fachada deve ser pouco ou nada permeável.

O quão permeável a fachada de uma edificação pode ser depende de alguns fatores como, por exemplo, a finalidade da edificação em questão, o meio no qual a edificação está inserida, a sensibilidade dos usuários dessa edificação, entre outros. Portanto, para avaliar a estanqueidade de fachadas, devem ser fixados alguns parâmetros e utilizada alguma ferramenta para mensurar a permeabilidade da mesma.

Este trabalho tem como objetivo a avaliação da estanqueidade de alvenaria de vedação feita com blocos cerâmicos revestida com diferentes tipos de argamassas e diferentes tipos de acabamentos. Os parâmetros utilizados nessas avaliações foram os descritos na norma NBR 15575 – Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho, que trata de vários requisitos que uma edificação de até cinco pavimentos deve cumprir para ter um desempenho

aceitável. Como ferramenta de avaliação quantitativa, esta Norma fornece algumas opções de ensaios e no presente trabalho foi utilizado o ensaio descrito no seu anexo D.

Este trabalho está estruturado em nove capítulos e após este primeiro capítulo introdutório, no segundo capítulo, **método de pesquisa**, são apresentados a questão de pesquisa e os objetivos do trabalho, assim como a hipótese, os pressupostos, as delimitações e as limitações do estudo. É apontado também o delineamento do trabalho com as etapas desenvolvidas. No terceiro capítulo, **umidade**, são descritos a importância do tema sob o ponto de vista das manifestações patológicas nas edificações e os tipos de umidade que podem afetá-la, com enfoque na umidade de penetração e absorção de água de chuva. O quarto capítulo, **mecanismos de transporte de umidade nos materiais**, trata dos princípios físicos que estão associados à infiltração de água nos materiais. No quinto capítulo, **fachadas**, são apresentados alguns conceitos sobre os componentes da alvenaria de vedação e suas contribuições para a estanqueidade. O sexto capítulo, **NBR 15575-4/2008 – norma de desempenho**, descreve como a norma NBR 15575-4 pode ser utilizada para a avaliação da estanqueidade de SVVIE (Sistemas de Vedações Verticais Internos e Externos). No sétimo capítulo, **programa experimental**, é detalhada a alvenaria de vedação com os diferentes revestimentos e acabamentos que foram analisados neste estudo, é descrito o equipamento utilizado e como os ensaios foram realizados. O oitavo capítulo apresenta os **resultados** destes ensaios, uma análise destes resultados e algumas sugestões para a melhoria da NBR 15575-4/2008. O nono capítulo traz as conclusões do trabalho.

2 MÉTODO DE PESQUISA

A seguir a descrição do método de pesquisa que foi aplicado neste trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Foi proposta a seguinte questão de pesquisa: as alvenarias de vedação feitas com blocos cerâmicos e revestidas com diferentes argamassas e tipos de acabamentos estão de acordo com os critérios estabelecidos na norma NBR 15575-4/2008 no quesito estanqueidade?

2.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do trabalho é a avaliação da estanqueidade de alvenarias de vedação feitas com blocos cerâmicos e revestidas com diferentes argamassas e tipos de acabamentos pelos critérios da NBR 15575-4/2008, salientando se ocorrem diferenças de desempenho.

2.3 HIPÓTESE

A alvenaria revestida com as argamassas e acabamentos estudados é estanque à água, conforme critérios estabelecidos na NBR 15575-4/2008.

2.4 PRESSUPOSTOS

Tem-se como pressuposto para a pesquisa apresentada que a norma NBR 15575-4/2008, com seus critérios para avaliação da estanqueidade de sistemas de vedação verticais, está correta e é uma boa forma de avaliação.

2.5 DELIMITAÇÕES

A avaliação será feita somente em alvenaria de vedação feita de blocos cerâmicos e revestida com argamassa e acabamento com textura e/ou pintura.

2.6 LIMITAÇÕES

Como limitação do estudo tem-se que: serão analisados apenas três (3) tipos de argamassas e seis (6) tipos de acabamentos. Em virtude de ser uma amostra pequena, a pesquisa não é estatisticamente válida.

2.7 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento do trabalho abrangeu as seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) escolha das argamassas e acabamentos à serem analisados;
- c) análise da NBR 15575-4/2008 e preparo para ensaios;
- d) ensaios em campo;
- e) análise e conclusões.

A figura 1 representa de forma esquemática as etapas apresentadas e que serão detalhadas a seguir.

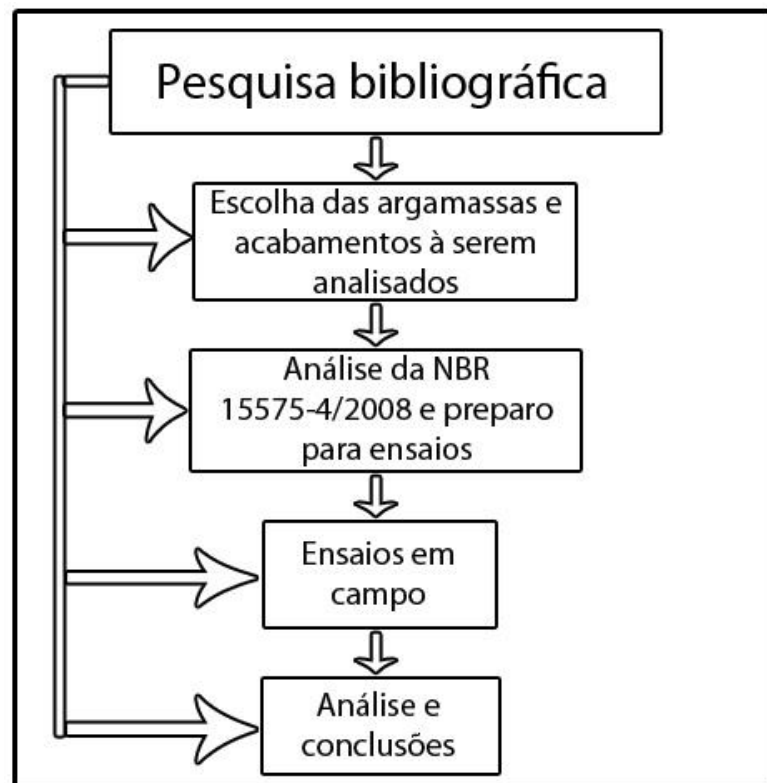


Figura 1: representação esquemática das etapas do projeto de pesquisa

A **pesquisa bibliográfica** foi desenvolvida com o intuito de agregar um maior conhecimento sobre o tema de pesquisa e auxiliar na elaboração das etapas seguintes utilizando-se livros, trabalhos acadêmicos, revistas técnicas, normas, etc.

Na etapa **escolha das argamassas e acabamentos a serem analisados** foram selecionados diferentes argamassas e acabamentos para a realização dos ensaios, baseando-se esta escolha em argamassas e acabamentos comumente utilizados na indústria da construção civil.

Na etapa **análise da NBR 15575-4/2008 e preparo para ensaios** foram revistos os requisitos e critérios de avaliação da estanqueidade de sistemas de vedação verticais, a aparelhagem necessária e as diretrizes a serem seguidas para a realização dos ensaios, todos descritos na NBR 15575-4/2008.

Na etapa **ensaios em campo** foram realizados os ensaios na alvenaria de vedação de blocos cerâmicos com os diferentes revestimentos e acabamentos escolhidos, com o objetivo de se verificar o desempenho da mesma quanto à estanqueidade.

Por fim, na etapa **análise e conclusões**, com os resultados obtidos nos ensaios, pôde-se chegar às conclusões a respeito de qual o melhor revestimento de argamassa e o melhor acabamento analisados.

3 UMIDADE

A seguir uma breve contextualização sobre o problema causado pela umidade nas edificações, sob o ponto de vista das manifestações patológicas, bem como uma introdução aos diferentes tipos de umidade, com enfoque na umidade de precipitação, ou seja, aquela proveniente da absorção e penetração de água de chuva nas fachadas das edificações.

3.1 UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES

Uma das maiores causas de manifestações patológicas em edificações são os problemas com umidade. Em levantamento realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981¹ apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 3) em 36 conjuntos habitacionais do estado de São Paulo, verificou-se que a umidade foi responsável por cerca de 60% dessas manifestações como ilustra a tabela 1.

Tabela 1: incidência de manifestações patológicas em edificações

Tipo de construção	Idade	Problemas típicos (%)		
		Umidade	Fissuras	Descolamento de revestimento
Casas térreas	1-3 anos	42	29	29
	4-7 anos	50	25	25
	> 8 anos	37	35	28
Apartamentos	1-3 anos	52	35	7
	4-7 anos	86	14	-
	> 8 anos	82	12	6

(fonte: adaptado de INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1981² apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 3)

O CSTC (*Centre Scientifique et Technique de la Construction*) analisou 1.200 problemas patológicos sendo que, em relação aos tipos de problemas, houveram maior incidência dos

¹INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Patologia na construção**. São Paulo, 1981. 31 f. Relatório 14.754.

²op. cit.

problemas relacionados com a umidade (37%), logo após problemas relativos à fissuração e descolamentos de revestimentos (figura 2) (Reygaerts *et al.*, 1976³ apud BAUER, 1987, p. 2).

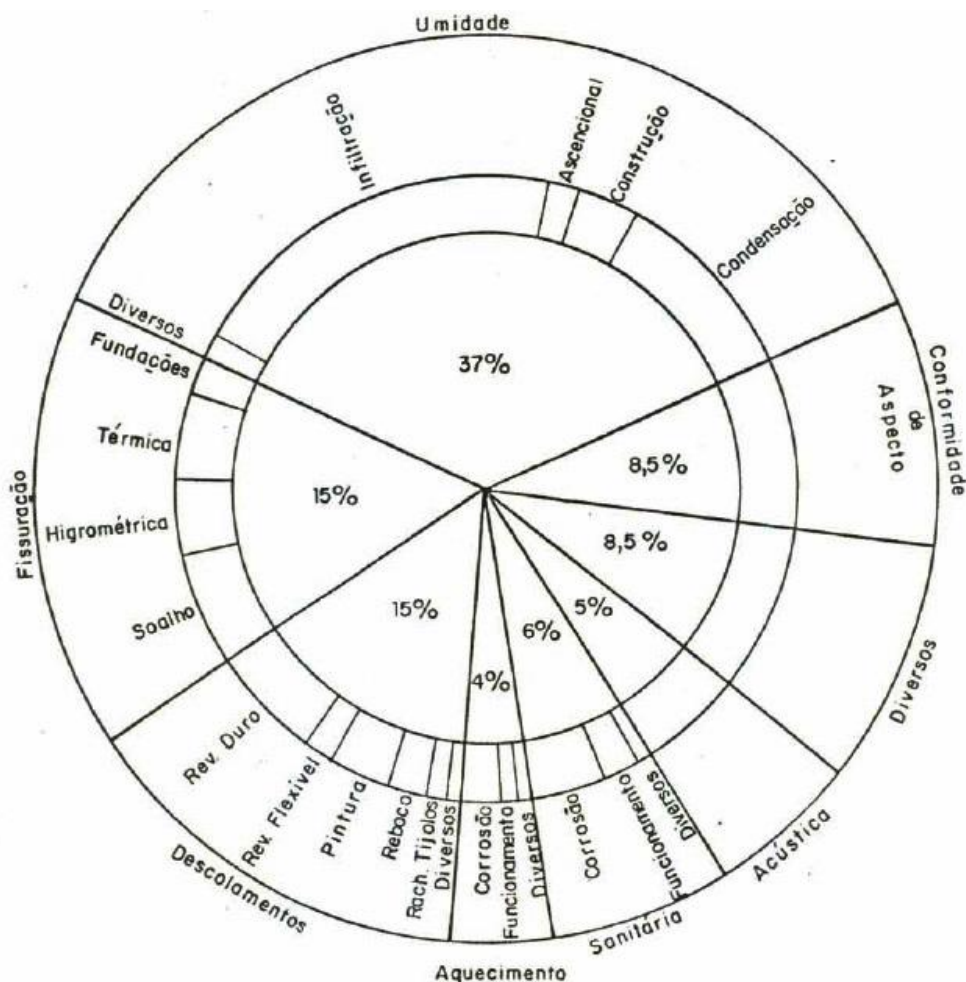


Figura 2: distribuição dos tipos de problemas patológicos constatados (BAUER, 1987, p. 3)

Em um estudo mais recente, sobre manifestações patológicas típicas da região de interface esquadria/alvenaria e seu entorno, Moch (2009) analisou dez edificações residenciais de interesse social no estado do Rio grande do Sul, utilizando um método de análise sistemática por observação direta proposto por Richter (2007, p. 85-86), e obteve para as faces internas das edificações estudadas os dados que constam na figura 3.

³REYGAERTS, J. G.; GASPER, M. B.; DUTORDOIR, C. 1200 Problems. In: **CSTC Revue**, Centre Scientifique et Technique de la Construcion. Bruxelles, n. 3, sept., 1976, p. 2-6.

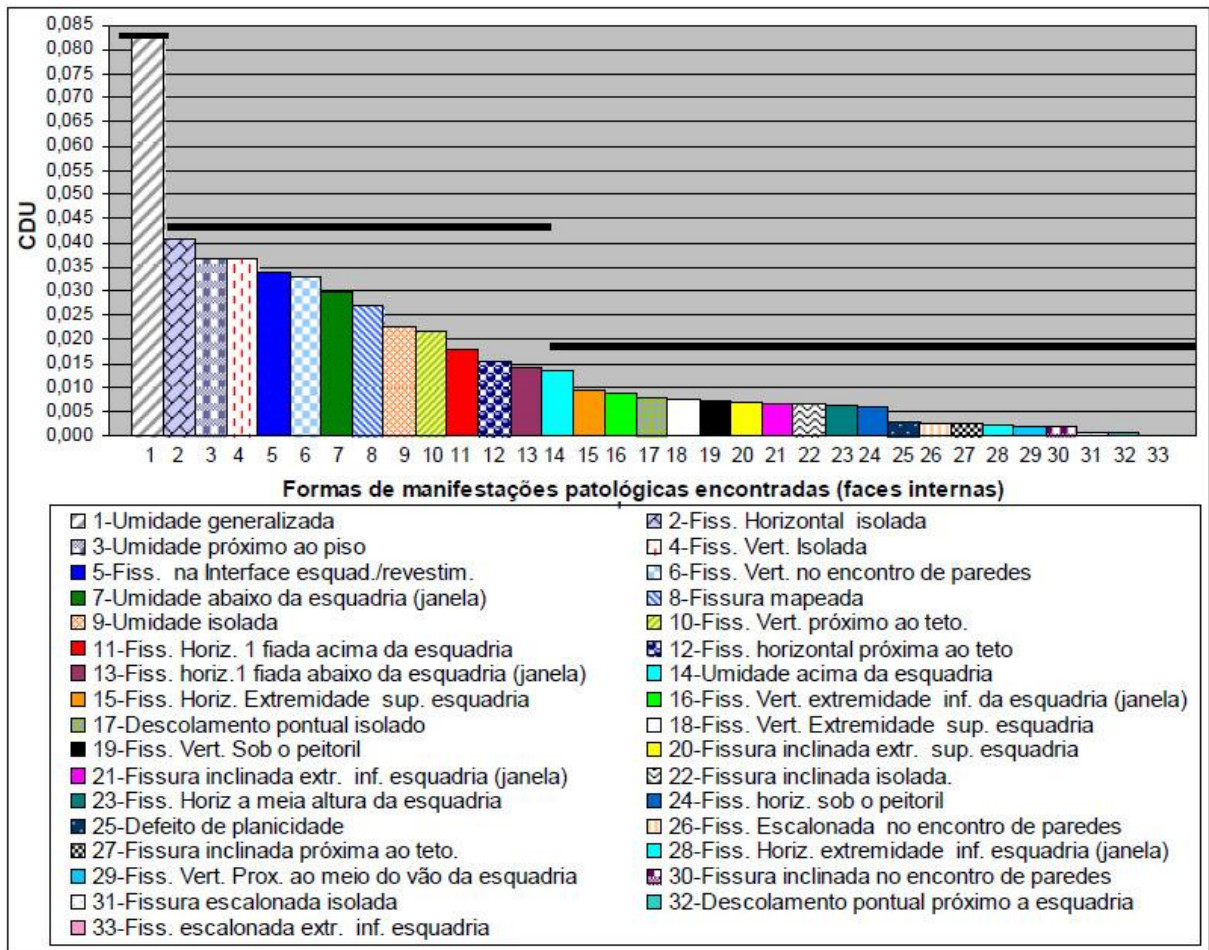


Figura 3: Coeficiente $CDU_{médio}$ para cada forma de manifestação patológica (faces internas) (MOCH, 2009, p. 74).

Em seu estudo Moch (2009, p. 63) utilizou o coeficiente CDU (Coeficiente de Defeitos por Unidade), que é calculado pela razão entre o número de defeitos e o número total de elementos, expresso pela equação 1:

$$CDU = \text{número de manifestações patológicas} / \text{número total de faces de paredes (equação 1)}$$

Em todos os casos a umidade foi uma das maiores causas de manifestações patológicas nas edificações, segundo os estudos apresentados. A seguir é apresentada a classificação dos tipos de umidade com base em suas fontes causadoras.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES

Segundo Perez (1985⁴ apud POLISSENI, 1986, p. 25), os problemas de umidade nas edificações não estão associados a uma única causa, mas há um conjunto de causas, sendo uma delas mais significativa.

Polisseni (1986, p. 25) explica que existe uma classificação que é aceita pelos grandes centros de pesquisas para o estudo e trabalhos sobre os problemas relacionados à umidade, com pequenas variações de um país para o outro, na qual se procura conciliar a origem do fenômeno e a forma como ele se manifesta.

Segundo o *Centre Scientifique et Technique de la Construcion* (1982⁵ apud POLISSENI, 1986, p. 26), as causas da umidificação nas construções estão relacionadas com umidade:

- a) ascensional do solo;
- b) de absorção e penetração de água de chuva;
- c) de condensação;
- d) devido a higroscopicidade dos materiais;
- e) incorporada durante o processo de construção;
- f) acidental.

No estudo apresentado anteriormente, realizado em 36 conjuntos habitacionais do estado de São Paulo (tabela 1), as manifestações patológicas causadas pela umidade (cerca de 60%) foram divididas de acordo com suas fontes causadoras como mostra a tabela 2.

Como pode-se perceber, uma importante fonte de umidade nas construções é a proveniente da penetração e absorção de água de chuva. Nos resultados apresentados nas tabelas 1 e 2 este tipo de umidade foi responsável por cerca de 42% do total das manifestações patológicas constatadas.

⁴PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. In: **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: PINI/IPT, 1985. p. 571-574.

⁵CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. (CSTC). Transport de l'humidite dans les materiaux poreux. Bases Theoriques. In: **CSTC Revue**, Centre Scientifique et Technique de la Construcion. Bruxelles, n. 1, mars, 1982, p. 7-12.

Tabela 2: tipos de umidade na incidência de manifestações patológicas

Idade	Incidência relativa de patologias devidas a (%)				
	Penetração de água de chuva	Condensação	Ascensional	Acidental	Diversos
1-3 anos	70	6	2	12	10
4-7 anos	78	6	-	13	3
> 8 anos	69	9	3	16	3

(fonte: adaptado de INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1981⁶ apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 4)

3.3 UMIDADE DE INFILTRAÇÃO

É de fundamental importância entender-se melhor as causas da umidade proveniente das precipitações, sendo esta uma das principais fontes de umidade nas construções.

Polisseni (1986, p. 27) afirma que a penetração de água da chuva nos edifícios através das fachadas, está associada fundamentalmente a dois fatores climáticos: chuva e vento. Sem o vento a chuva cairia verticalmente e pouco molharia as fachadas (figura 4).

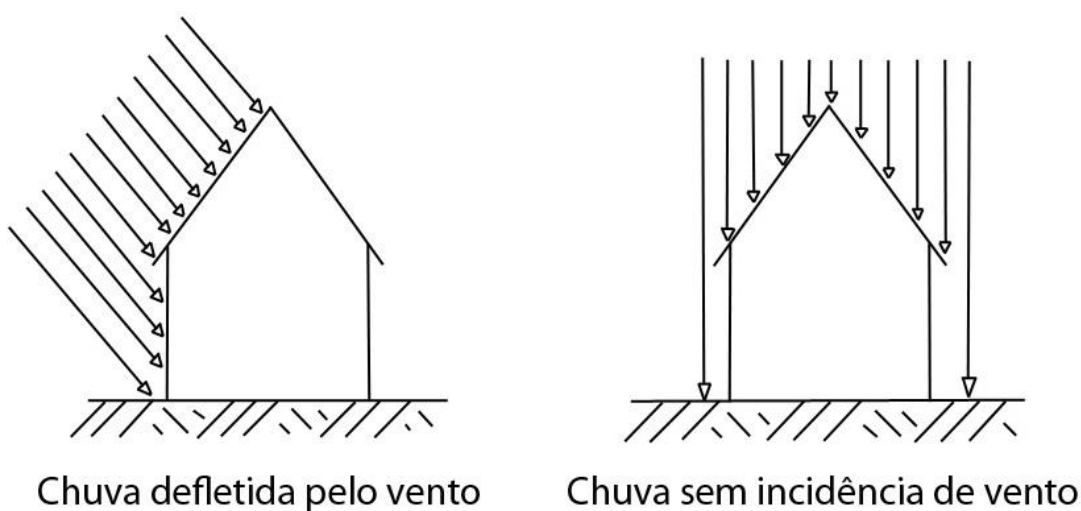


Figura 4: chuva sendo defletida pela ação do vento
(adaptado de BAUER, 1987, p. 32)

⁶INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Patologia na construção**. São Paulo, 1981. 31 f. Relatório 14.754.

Nappi (1996⁷ apud HATTGE, 2004, p. 48) reforça essa idéia afirmando que a chuva por si só, não constitui ação especialmente grave para as paredes dos edifícios, desde que o componente vento não lhe esteja associado. Contudo, na maior parte das situações, a chuva está acompanhada com uma dada intensidade de vento, que dá origem a um componente horizontal na trajetória da chuva, tanto maior quanto maior for a intensidade do vento. Assim, quando a trajetória da chuva se afasta da vertical por efeito do vento, as fachadas ficam sujeitas a uma ação de molhagem que pode ser um importante fator de risco de umedecimento dos paramentos interiores da edificação.

Disto concluí-se que em regiões com maior incidência de chuvas, não necessariamente haverá maior incidência de manifestações patológicas relacionadas à umidade de infiltração, pois o que deve ser levado em consideração é a associação chuva mais vento. A seguir alguns dados referentes à quantidade de chuvas, a intensidade de ventos e a associação de ambos nas diferentes regiões brasileiras.

3.3.1 Precipitação pluviométrica ou chuva

O termo precipitação, em meteorologia, é usado para qualquer deposição em forma líquida ou sólida da atmosfera. Este termo se refere às várias formas líquidas e congeladas de água, como a chuva, neve, granizo, orvalho, geada e nevoeiro. No entanto, somente a chuva e a neve contribuem expressivamente para os totais de precipitação, sendo que nos trópicos só a chuva contribui. O padrão da distribuição da precipitação sobre o globo é bastante complexo devido à influência de vários fatores, entre eles topográficos, da distância a partir dos grandes corpos hídricos, da direção e caráter das massas de ar predominantes, entre outros (AYOADE, 1998⁸ apud VIEIRA, 2005, p. 73).

A chuva é um fenômeno muito variável em sua intensidade, duração, frequência e diâmetro das gotas que a constituem, podendo consistir em um nevoeiro, no qual as gotas de água não

⁷NAPPI, S. C. B. Umidade em paredes. In: CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL, Florianópolis: **Anais...** 1996. p. 537-545.

⁸AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

são visíveis, até uma tempestade, cujas gotas atingem até 5 a 6mm de diâmetro (CARRIÉ *et al.*, 1975⁹ apud PETRUCCI, 2000, p.21).

O Brasil possui altos índices pluviométricos, bem distribuídos durante todo o ano. A figura 5 ilustra a distribuição pluviométrica nacional anual com base nos dados obtidos entre os anos de 1961 e 1990 segundo o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

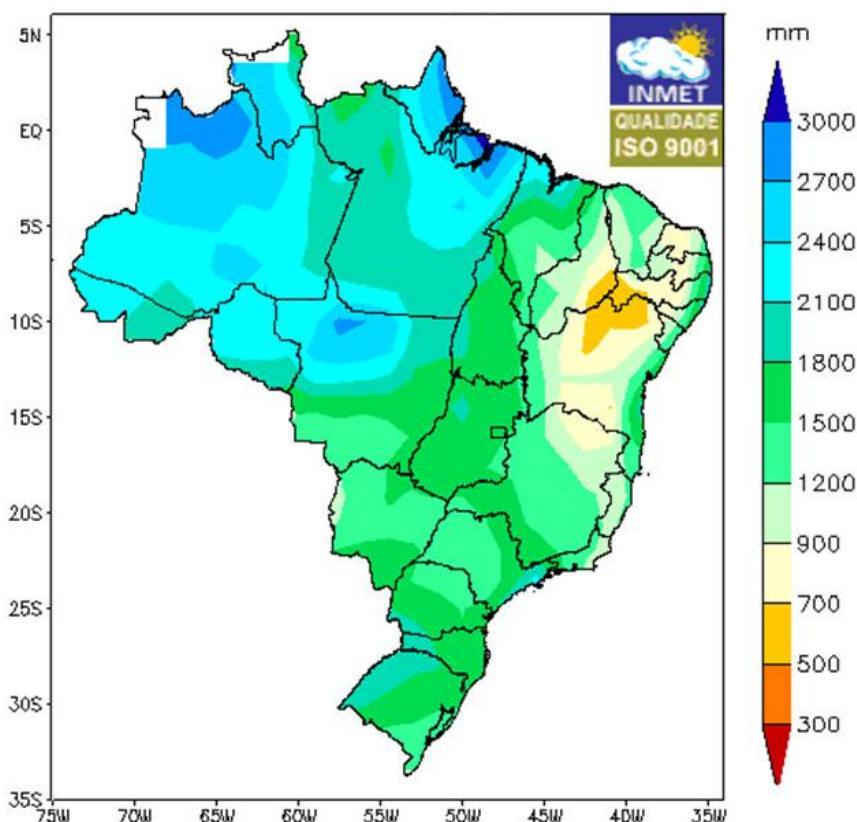


Figura 5: mapa brasileiro com os índices de precipitação anual em cada região (fonte: <http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas>)

A figura 5 mostra que na região nordeste ocorre o menor índice de precipitação do país, no qual algumas localidades apresentam índices menores do que 700 mm anuais. Já na região norte este índice é elevado, em algumas localidades verificam-se índices maiores do que 2700 mm anuais. Na região sul tem-se um índice de em média 1700 mm anuais.

⁹CARRIÉ, C.; MOREL, D.; FOURQUIN, J. *Salissures de façades*. Paris: Eyrolles, 1975..

3.3.2 Vento

A atmosfera está em constante movimento. Este movimento é causado principalmente pela soma de dois componentes, diferença de pressão, relacionada à diferença de temperatura das massas de ar, e arraste, relacionado à rotação do planeta Terra (CAMARGO *et al*, 2002¹⁰ apud VIEIRA, 2005, p. 57).

A radiação solar incidindo sobre superfícies distintas pode dar origem a diferenciais de temperatura do ar. Como o ar quente é menos denso que o ar frio, originam-se diferenciais de pressão que, em conjunto com o aquecimento diferencial da atmosfera, resulta no padrão de distribuição de pressões médias. Este padrão varia de acordo com a estação do ano, pois depende da inclinação do globo terrestre em relação ao sol. A figura 6 ilustra o padrão de distribuição de pressões para o mês de janeiro (SATTLER, 2009, p.4).

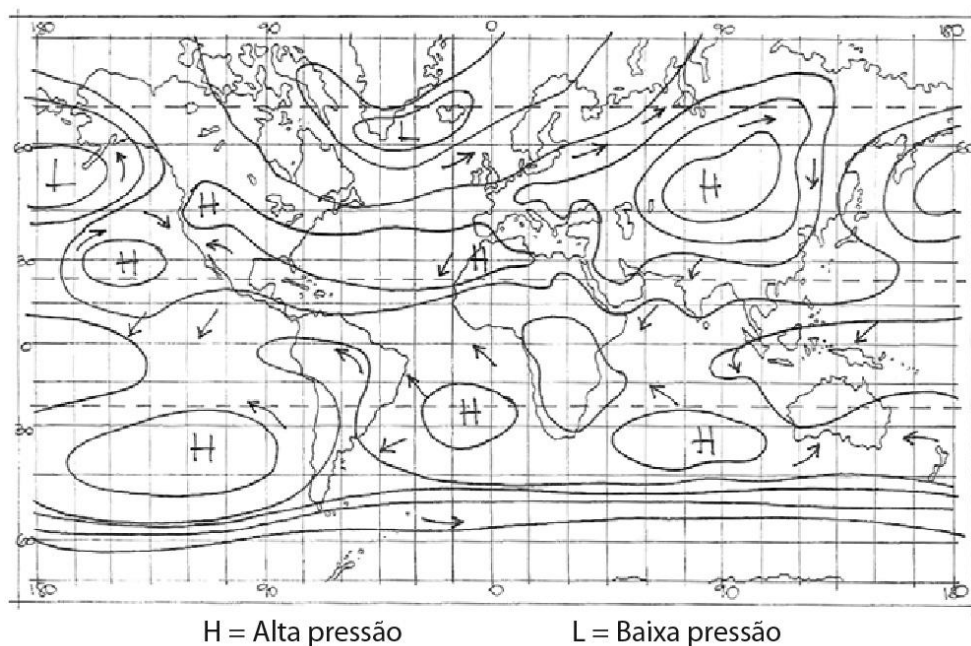


Figura 6: padrão de distribuição de pressões médias no mês de janeiro (SATTLER, 2009, p. 4)

A atmosfera acompanha o movimento de rotação terrestre. Sendo leve e comportando-se como um fluido ligado à superfície terrestre, apenas pela força da gravidade e fricção, ela tende a apresentar um retardo em relação à rotação, onde a Terra é mais rápida (no equador). Com isso ocorre um deslizamento ao nível da camada limite entre a superfície terrestre e a

¹⁰CAMARGO, O.A; SILVA, F. L., GRAVINO, N; CUSTÓDIO, R.S (coord.)Rio Grande do Sul: Atlas Eólico. Porto Alegre: SEMC, 2002. 69p.: il., mapas.

atmosfera adjacente, causada pelo que se convencionou denominar de força de Coriolis. O efeito resultante é semelhante ao de um vento soprando em direção oposta ao da rotação terrestre como ilustra a figura 7 (SATTLE, 2009, p.4).

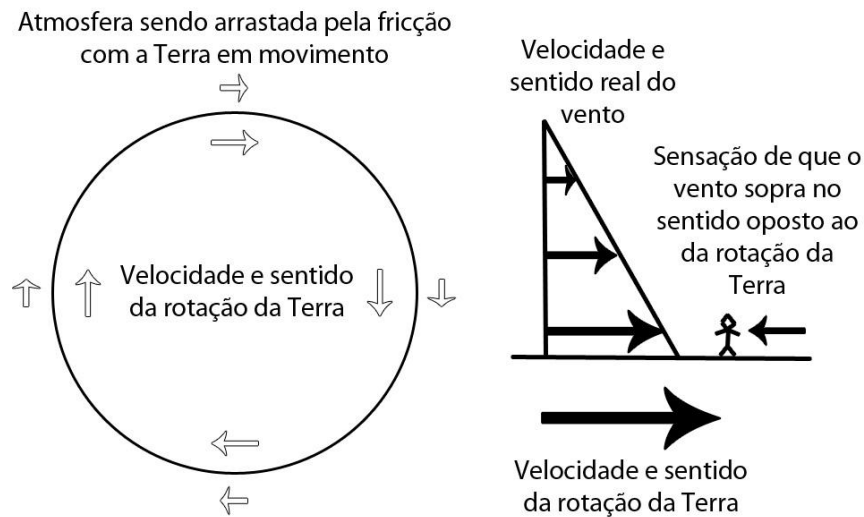


Figura 7: movimentação atmosférica provocada pela rotação do globo terrestre

A soma destes dois componentes, diferença de pressão e arraste, gera o padrão de circulação geral da atmosfera que é mostrado na figura 8.

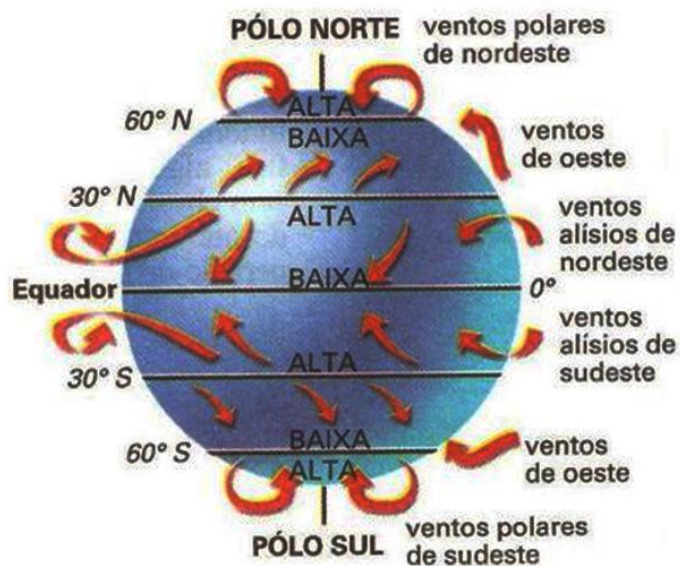


Figura 8: padrão de circulação geral da atmosfera (horizontal e vertical) (adaptado de SATTLE, 2009, p. 5)

Na mesoescala e microescala variações significativas ocorrem neste padrão geral de circulação atmosférica. Condições topográficas locais, características da rugosidade superficial, como geometria e altitude do terreno, assim como vegetação e distribuição de superfícies de terra e água influem no perfil da velocidade de escoamento do vento (BLESSMANN, 2001¹¹ apud VIEIRA, 2005, p. 58).

A velocidade do vento varia continuamente e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. De acordo com a NBR 6123/1988, a velocidade básica do vento é a velocidade de uma rajada de três segundos de duração, que ultrapassa em média esse valor, uma vez em cinquenta anos, a 10m de altura, em campo aberto e plano e defini-se por V_0 . A figura 9 representa os valores da velocidade básica dos ventos no Brasil através de curvas denominadas isopletas.

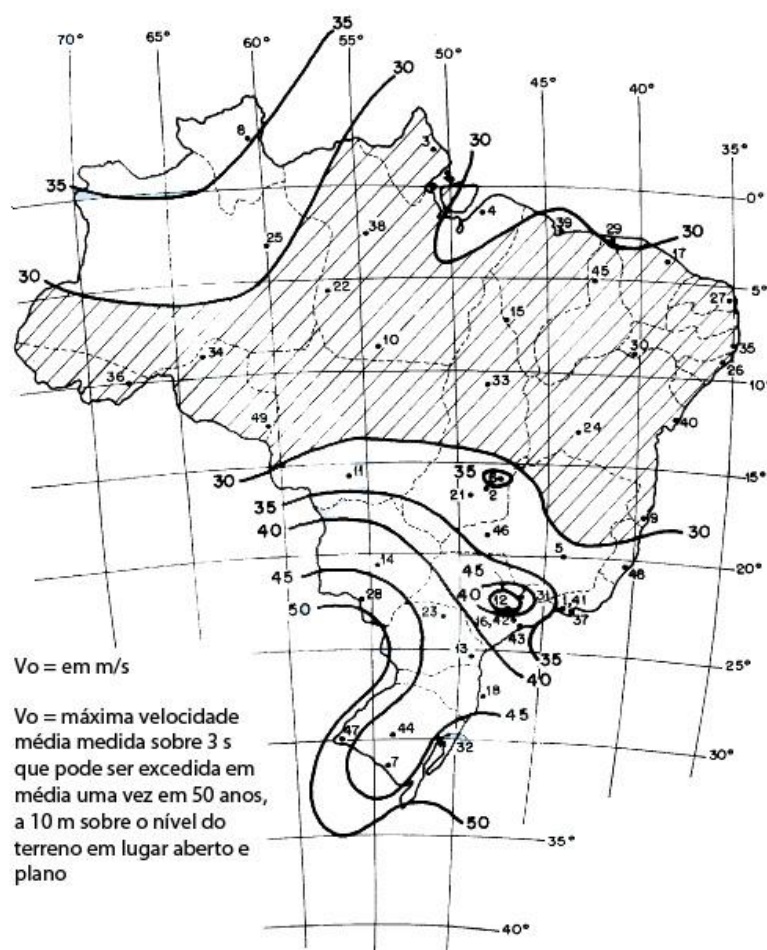


Figura 9: condições de exposições ao vento conforme região brasileira (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 6)

¹¹BLESMANN, J. **O vento na engenharia estrutural**. Porto Alegre: Ed.Universidade / UFRGS,1998.

Pode-se visualizar na figura 9 que na região nordeste ocorre a menor velocidade básica de ventos do país, onde o vento básico é inferior a 30 m/s. Na região norte esta velocidade é muito parecida com a da região nordeste, onde a maioria das localidades apresenta velocidades básicas menores do que 35 m/s, e que na região sul tem-se as maiores velocidades básicas de ventos do Brasil, com ventos chegando a 50 m/s.

3.3.3 Chuva incidente ou dirigida

Chuva incidente ou dirigida refere-se à ação em conjunto da chuva e do vento incidente nas fachadas (SILVA; GIRALT, 1995¹² apud POYASTRO, 2010*, p. 67).

De acordo com Lima e Morelli (2005¹³ apud POYASTRO, 2010*, p. 77-78), com base nos mapas de chuva e vento que se tem disponíveis (figuras 5 e 9), pouco se pode inferir sobre aspectos relativos à chuva dirigida, ou aos índices relacionados com este parâmetro. Os autores realizaram então um estudo onde foi elaborado um primeiro mapa para o índice de chuva dirigida para o Brasil (figura 10), apresentando, mesmo com restrições, informações importantes sobre o parâmetro chuva dirigida e considerações de macroclima específicas para o ano de 2004. Os dados de referência do mapa foram coletados no CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), optando-se por trabalhar os dados referentes a todas as estações disponíveis para o ano de 2004. Os autores ressaltam a importância da obtenção de médias de um número maior de anos para que se permita a representatividade para o clima nacional na última década.

* trabalho em fase de aprovação: POYASTRO, P. C. **Avaliação da influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

¹²SILVA, A. C. S. B.; GIRALT, R. P., Estabelecimento de um índice de chuva dirigida para Porto Alegre. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Rio de Janeiro, 1995. **Anais...** v2. Rio de Janeiro. 1995. p. 605-610.

¹³LIMA, M. G. L.; MORELLI, F. **Mapa brasileiro de “chuva dirigida” – algumas considerações**. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas e I International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis, 2005.

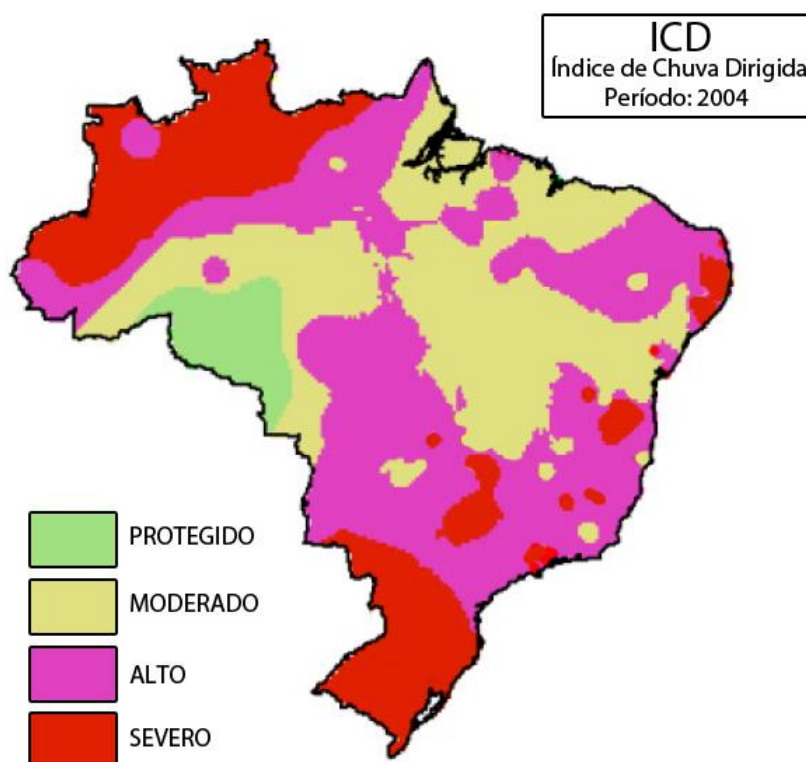


Figura 10: mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004
(adaptado de LIMA; MORELLI, 2005¹⁴ apud POYASTRO, 2010*, p. 78)

Note que a região sul do país, apesar de não ser a região com o maior índice de chuvas, recebeu o maior índice de chuva dirigida intitulado de severo. A explicação para isso é que esta é a região onde se encontram as maiores velocidades de ventos do país. Portanto em edificações situadas na região sul, deve-se ter maior preocupação com a fachada para que não haja problemas com infiltração de água da chuva.

* trabalho em fase de aprovação: POYASTRO, P. C. **Avaliação da influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

¹⁴LIMA, M. G. L.; MORELLI, F. **Mapa brasileiro de “chuva dirigida” – algumas considerações**. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas e I International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis, 2005.

4 MECANISMOS DE TRANSPORTE DE UMIDADE NOS MATERIAIS

Em seu trabalho Bauer (1987, p. 19) relata que a penetração da água da chuva nas fachadas está relacionada com diversos fenômenos físicos, os quais determinam a incidência da chuva sobre as paredes, com fenômenos que regem o comportamento dos materiais porosos quando solicitados pela chuva e com aspectos construtivos pertinentes a concepção e construção das paredes, tais como, detalhes de projeto, defeitos, componentes, tratamento superficial, etc. Existe um grande número de elementos que, agindo isoladamente ou em conjunto, apresentam uma ordem de classificação quanto à sua importância. Isso quer dizer que o modo pelo qual a água penetra é diferente para cada caso (material). Exemplificando: os elementos determinantes da penetração da água da chuva em uma junta de um painel pré-moldado são diferenciados dos elementos responsáveis pela penetração da água da chuva em um painel de alvenaria de tijolos.

Garden (1963¹⁵ apud KAZMIERCZAK, 1989, p. 22), salienta que, para que a água proveniente da chuva penetre no corpo da alvenaria, é necessária a ocorrência simultânea de três condições:

- a) filme de água sobre a superfície da parede;
- b) aberturas que permitam a penetração da água;
- c) forças que obriguem a penetração da água nessas aberturas.

A primeira condição, da existência de água sobre a superfície da parede, é suprida quando se tem a incidência de chuva em conjunto com o vento. Como já visto anteriormente, a chuva é então defletida em direção à fachada e escorre pela sua superfície, formando um filme de água.

A segunda condição, a existência de aberturas que possibilitem a penetração da água, é satisfeita devido a existência de poros, fissuras, rachaduras, interfaces e juntas mal ligadas entre materiais ou elementos. Salienta-se que certas aberturas são características dos materiais, como é o caso dos poros (materiais usados na construção civil em sua maioria são porosos), enquanto que outras aberturas têm sua origem em defeitos que muitas vezes são difíceis de evitar, como é o caso das fissuras. Também deve-se ressaltar a existência de

¹⁵GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. In: **Canadian Building Digest**, Division of Building Research, National Research Council of Canada. Ottawa, n. 40, April, 1963, p. 401-404.

aberturas de ordem construtiva, como as juntas de dilatação, que podem apresentar-se suscetíveis à penetração de água quando possuem problemas de vedação (GARDEN, 1963¹⁶ apud BAUER, 1987, p. 21).

As forças que obrigam a penetração, quando se trata do vapor d'água, são provocadas pela difusão e convecção e quando se trata da água no estado líquido, pela capilaridade e por forças externas (*Centre Scientifique et Technique de la Construcion*, 1982¹⁷ apud POLISSENI, 1986, p. 12)

Garden (1963¹⁸ apud BAUER, 1987, p. 22) subdivide as forças externas em forças de inércia, gravidade e pressão do vento. No quadro 1 tem-se os mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais de acordo com o estado físico no qual a água se encontra.

Estado físico da água	Forças que causam o deslocamento da água	
Líquido	Capilaridade	
	Forças externas:	Inércia
		Gravidade
	Pressão do vento	
Gasoso (vapor)	Difusão	
	Convecção	

Quadro 1: mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais
(adaptado de POLISSENI, 1986, p. 12)

A seguir uma descrição de cada uma das forças que obrigam o deslocamento da água nos materiais.

¹⁶GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. In: **Canadian Building Digest**, Division of Building Research, National Research Council of Canada. Ottawa, n. 40, April, 1963, p. 401-404.

¹⁷CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCION. (CSTC). Transport de l'humidite dans lês materiaux poreux. Bases Theoriques. In: **CSTC Revue**, Centre Scientifique et Technique de la Construcion. Bruxelles, n. 1, mars, 1982, p. 7-12.

¹⁸GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. In: **Canadian Building Digest**, Division of Building Research, National Research Council of Canada. Ottawa, n. 40, April, 1963, p. 401-404.

4.1 DIFUSÃO

A difusão do vapor d'água origina-se da diferença de concentração entre dois componentes da mistura gasosa: ar seco e vapor d'água. A difusão do vapor d'água é um exemplo específico do princípio físico, segundo o qual, em uma mistura de gases que apresentam diferentes concentrações ocorrerá um transporte de moléculas que permanecerá até o desaparecimento das diferenças de concentrações (*Centre Scientifique et Technique de la Construcion*, 1982¹⁹ apud HATTGE, 2004, p. 26). A figura 11 ilustra esse fenômeno.

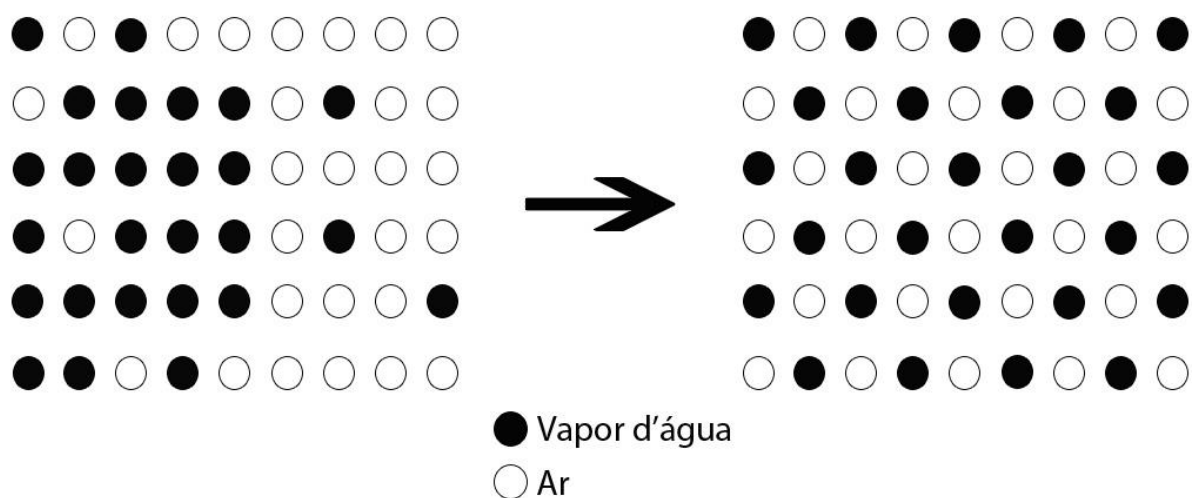


Figura 11: representação esquemática da difusão do vapor d'água (adaptado de CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCION, 1982²⁰ apud HATTGE, 2004, p. 26)

4.2 CONVECÇÃO

Segundo Costa (1982²¹ apud POLISSENI, 1986, p. 17), convecção é a ocorrência da passagem das moléculas do vapor d'água de um local para o outro de um fluido por efeito do movimento relativo das partículas desse mesmo fluido. Esse movimento pode ser provocado pela diferença de pressão ocasionada pela diferença de temperatura e conseqüente diferença de densidade da massa fluida.

¹⁹CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCION. (CSTC). Hydrofuges de surface – choix et mise en oeuvre. In: **Note d'Information Technique**, Centre Scientifique et Technique de la Construcion. Bruxelles, n. 140, fév., 1982.

²⁰op. cit.

²¹COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica**: condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

Diamant (1967²² apud POLISSENI, 1986, p. 17) salienta que, este fenômeno ocorre particularmente nas paredes ocas, isto é, paredes com vão central (formadas por 2 paramentos). Caso a espessura da camada de ar seja suficientemente grande (maior do que 4 cm), e as superfícies internas das paredes que confinam a camada de ar estejam com temperaturas diferentes, surgirão correntes de convecção que passarão o vapor d'água da superfície mais quente para a superfície mais fria.

4.3 CAPILARIDADE

Givoni (1981²³ apud BAUER, 1987, p. 24) descreve o fenômeno da capilaridade como sendo um processo que tem início quando a chuva incide na superfície externa da fachada. Caso a taxa de incidência da chuva seja menor que a taxa de absorção da parede, a quantidade de água absorvida pela parede depende somente da intensidade da chuva, e toda a chuva incidente é absorvida. Se a taxa de absorção for menor que a da chuva, forma-se um filme d'água sobre a superfície e a água em excesso escorre para baixo devido à força gravitacional.

Segundo Garden (1963²⁴ apud BAUER, 1987, p. 25), a absorção capilar age no sentido de succionar a água da superfície para o interior dos poros do material. Quando um material se aproxima do ponto de saturação, a absorção devido à capilaridade se aproxima de zero. A água absorvida dessa maneira não tem a tendência de se deslocar para dentro ou para fora, a menos que uma força diferencial externa seja introduzida (gravidade, pressão do vento).

Finos poros capilares succionam um pequeno volume de água com uma força de absorção elevada. Um grande volume de água, entretanto, é succionado através de aberturas maiores como fissuras, sendo a força de absorção capilar de magnitude bem menor. Essas aberturas maiores são importantes contribuidores para a penetração da chuva quando uma força adicional age em conjunto com a força de absorção capilar. A relação entre o diâmetro do poro e a força de absorção capilar é representada na figura 12.

²²DIAMANT, E. **Aislamiento térmico y acústico de edificios**. Madrid: Blume, 1967.

²³GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2. ed. London, Applied Science Publishers, 1981.

²⁴GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. In: **Canadian Building Digest**, Division of Building Research, National Research Council of Canada. Ottawa, n. 40, April, 1963, p. 401-404.

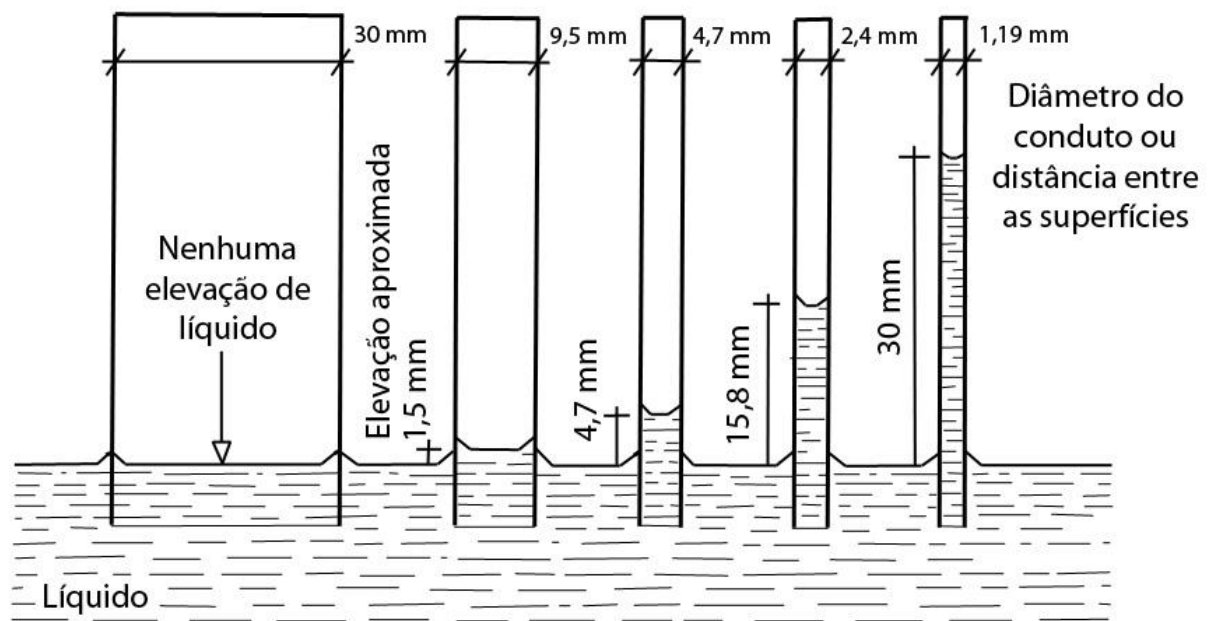


Figura 12: altura da ascensão capilar da água entre duas superfícies (adaptado de DIAMAND, 1967²⁵ apud POLISSENI, 1986, p. 22)

Em seu trabalho Polisseni (1986, p. 20) explica que, quando se coloca um líquido em contato com um sólido, as moléculas da camada superficial, colocadas próximas ao sólido, ficam submetidas à ação de duas forças de atração: a coesão (orientada para o interior do líquido) e a adesão (orientada para o interior do sólido). Diz-se que um líquido molha um sólido quando a força de adesão é maior que a força de coesão. Do contrário, diz-se que o líquido não molha o sólido.

Gonçalves (1970²⁶ apud POLISSENI, 1986, p. 20) explica essa relação entre a adesão e a coesão utilizando a figura 13, que ilustra as forças que agem sobre uma **molécula M**. A **força A** representa a adesão; a **força C** a coesão. A **molécula M** se encontra, portanto, submetida a uma **força resultante F**. A força resultante deve ser perpendicular à superfície livre (ou não haveria equilíbrio), esta superfície livre deverá ser côncava, isto na situação onde o líquido molha o sólido. Considerações análogas às anteriores levam a concluir que quando o líquido não molha o sólido a superfície livre deve ser convexa.

²⁵DIAMANT, E. *Aislamiento térmico y acústico de edificios*. Madrid: Blume, 1967.

²⁶GONÇALVES, D. *Física*. 7. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1970. v. 2.

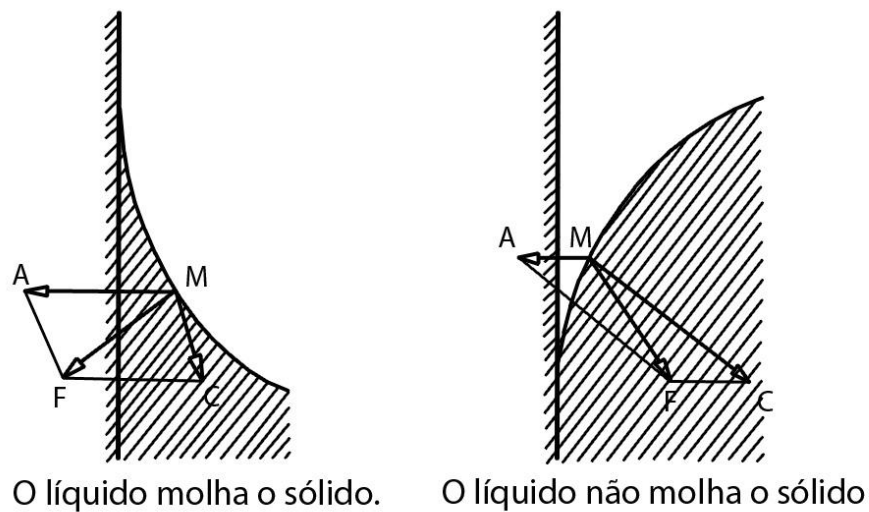


Figura 13: forças que agem sobre uma molécula de um líquido em contato com um sólido (adaptado de GONÇALVES, 1970²⁷ apud POLISSENI, 1986, p. 20)

4.4 FORÇAS EXTERNAS

A seguir uma breve descrição de cada uma das forças externas que colaboram com a penetração de água nos materiais.

4.4.1 Inércia

Devido à ação do vento, as gotas de chuva podem se aproximar da parede com considerável velocidade, sendo que, devido a sua energia cinética, é possível que penetrem em aberturas superiores a cinco milímetros (figura 14). Caso a abertura seja pequena, a gota irá se subdividir em gotículas devido ao impacto, sendo que essas pequenas gotas podem penetrar pela abertura. No entanto, caso não exista abertura suficiente, a água não pode penetrar por esse meio exclusivamente (KAZMIERCZAK, 1989, p. 24).

²⁷GONÇALVES, D. **Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1970. v. 2.

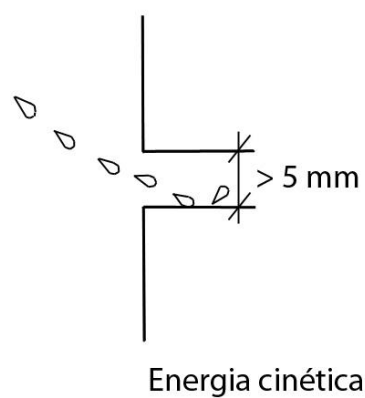


Figura 24: penetração da água da chuva provocada pela energia cinética
(adaptado de GARDEN, 1963²⁸ apud BAUER, 1987, p. 23)

4.4.2 Gravidade

A força da gravidade agindo na água sobre a superfície da fachada ou nas aberturas de maior dimensão irá propiciar a penetração de água, desde que o fluxo de água encontre uma abertura em posição descendente (figura 15). O fluxo de água também pode ser dirigido para o interior das aberturas através de irregularidades na superfície (GARDEN, 1963²⁹ apud BAUER, 1987, p. 29).

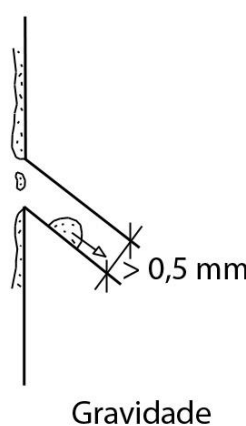


Figura 15: penetração da água provocada pela gravidade
(adaptado de GARDEN, 1963³⁰ apud BAUER, 1987, p. 23)

²⁸GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. In: **Canadian Building Digest**, Division of Building Research, National Research Council of Canada. Ottawa, n. 40, April, 1963, p. 401-404.

²⁹op. cit.

³⁰op. cit..

4.4.3 Pressão do vento

A diferença de pressão entre as superfícies externa e interna do material atua sobre aberturas de pequeno diâmetro, entre 0,01 e 6 milímetros (figura 16). A chuva forma um filme de água sobre a parede e o vento força a penetração da água pelas aberturas. A espessura do filme de água dependerá da intensidade da chuva incidente e da altura da edificação, e é mais um dos fatores que influem na penetração. (GIVONI, 1981³¹ apud BAUER, 1987, p. 30).

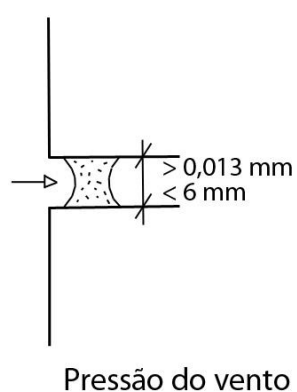


Figura 16: penetração da água provocada pela pressão exercida pelo vento (adaptado de GARDEN, 1963³² apud BAUER, 1987, p. 23)

A pressão dinâmica exercida pelo vento em uma edificação pode ser calculada utilizando-se a equação 2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4):

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

q = pressão dinâmica (em pascals);

V_k = velocidade do vento (em metros por segundo).

Lembrando que a equação 2 calcula somente a pressão externa. Para a infiltração de água em fachadas o que deve ser levado em consideração é a diferença de pressões entre as partes externa e interna das mesmas.

³¹GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2. ed. London, Applied Science Publishers, 1981.

³²GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. In: **Canadian Building Digest**, Division of Building Research, National Research Council of Canada. Ottawa, n. 40, April, 1963, p. 401-404.

5 FACHADAS

Segundo Bauer (1987, p. 1), edifícios são dotados de uma interface que separa o ambiente interno (protegido) do ambiente externo (desprotegido) e essa interface denomina-se envelope do edifício. O envelope do edifício tem a função de resistir às solicitações impostas pelos agentes externos tais como vento, chuva e ruído, impedindo ou amenizando a ação desses agentes para o ambiente interno. Uma parede de alvenaria, como elemento de fachada do edifício, faz parte do envelope desse edifício, sofrendo a agressão de solicitações externas. Algumas das solicitações as quais a alvenaria, como elemento de fachada, deve resistir são mostradas na figura 17.

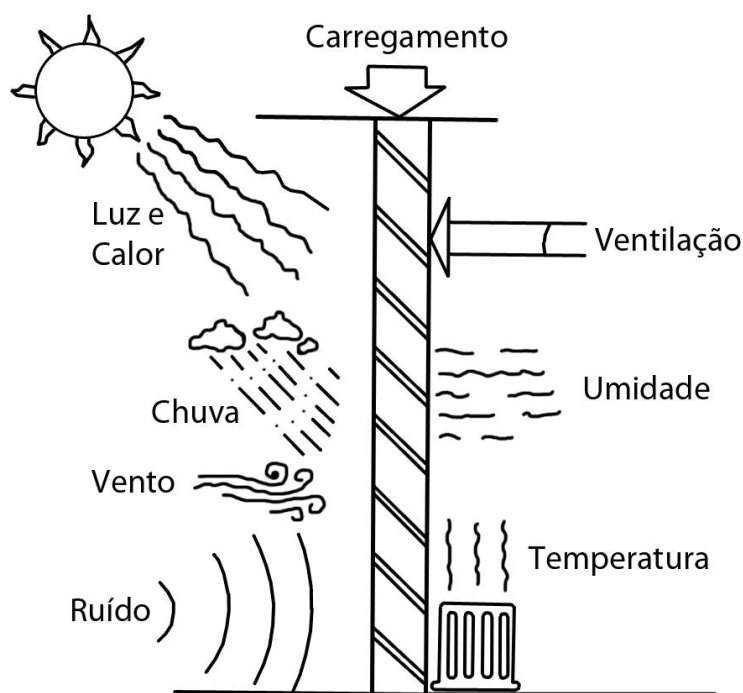


Figura 17: solicitações impostas às alvenarias exteriores
(BAUER, 1987, p. 2)

De especial interesse para este trabalho é a capacidade das fachadas em resistir à penetração da água proveniente da incidência de chuvas. A estanqueidade das fachadas depende, principalmente, de dois fatores, que são, os materiais constituintes e a geometria. Os principais aspectos relativos a estes fatores são apresentados a seguir.

5.1 MATERIAIS QUE CONSTITUEM O SISTEMA DE VEDAÇÃO

O presente trabalho trata somente de alvenarias de vedação feitas com blocos cerâmicos, revestimento em argamassa e acabamento com pintura. A seguir uma descrição dos principais materiais que constituem este tipo de sistema de vedação (argamassa de assentamento, blocos cerâmicos de vedação, argamassa de revestimento e o sistema de pintura) e suas contribuições para a estanqueidade. Neste trabalho não levou-se em consideração as esquadrias.

5.1.1 Argamassas

A NBR 13281 apresenta a seguinte definição para argamassa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001, p. 2):

Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Segundo Petrucci (1987, p. 352) as condições a que uma boa argamassa deve satisfazer são:

- a) resistência mecânica (tração e compressão);
- b) compacidade;
- c) impermeabilidade (retenção de água);
- d) aderência (tração e tração superficial);
- e) constância de volume;
- f) durabilidade;
- g) módulo de elasticidade.

A maior ou menor importância de uma destas condições depende da finalidade da argamassa. Estas propriedades dependem de alguns fatores, sendo estes principalmente a qualidade e quantidade do aglomerante (cimento e cal), a qualidade e quantidade do agregado (areia) e a quantidade de água (PETRUCCI, 1987, p. 352).

A seguir as principais características que se esperam das argamassas de assentamento e da argamassa de revestimento para que estas contribuam na redução da infiltração de água da chuva.

5.1.1.1 Argamassas de assentamento

A penetração da água da chuva ocorre na maioria das vezes através de pequenas fissuras entre a argamassa e o tijolo, sendo que essa alvenaria é bastante permeável caso receba a incidência direta da chuva. A resistência à penetração da água da chuva depende de se obter um perfeito enchimento das juntas e uma boa ligação entre a argamassa de assentamento e o tijolo. Certas propriedades influem grandemente na natureza da ligação entre tijolo e argamassa. Nesse respeito, propriedades de retenção de água e trabalhabilidade da argamassa são os mais importantes (BAUER, 1987, p. 12).

Retenção de água é a capacidade da argamassa de reter a água da mistura quando em contato com a superfície de um material absorvente como o tijolo. Um tijolo tende a absorver a água da argamassa quando estão em contato um com o outro. Se a argamassa perde água muito rapidamente para o tijolo, ela enrijece muito rapidamente, diminuindo sua trabalhabilidade, o que pode ocasionar uma má ligação com o tijolo (BAUER, 1987, p. 12).

A trabalhabilidade é importante porque a argamassa de assentamento precisa ser plástica o suficiente para que seja facilmente espalhada pelos componentes da alvenaria e colocada nas juntas verticais pelo pedreiro. Se a trabalhabilidade não for adequada, a adesão entre a argamassa e os componentes pode ser incompleta, possibilitando a passagem de água (KAZMIERCZAK, 1989, p. 50).

Segundo Petrucci (1987, p. 355) as argamassas de cimento tornam-se, pela adição de cal, mais trabalháveis. As argamassas de cal retêm por mais tempo a água de amassamento; as pedras, os tijolos e blocos das alvenarias, quando secos, retiram a água das argamassas de cimento mais rapidamente do que das argamassas de cal. Estas razões demonstram ser vantajoso, tanto para a retenção de água como para a trabalhabilidade das argamassas, o emprego da cal.

5.1.1.2 Argamassas de revestimento

O revestimento é uma barreira a mais no sentido de se aumentar a resistência à penetração da chuva. Neste sentido, a característica fundamental do revestimento de argamassa é sua permeabilidade.

O revestimento de argamassa tem sua permeabilidade definida pelo traço utilizado na sua mistura. Com relação ao traço da argamassa, os principais fatores que influenciam a absorção d'água são (BIANCHIN, 1999, p. 60):

- a) teor de finos da areia, principalmente os finos argilosos: em virtude do aumento da superfície específica, aumentam a absorção da água da argamassa, tornando-a mais permeável;
- b) teor de cal: a argamassa com cal, tendo em vista a maior superfície específica da cal, absorve mais água em relação à argamassa de cimento;
- c) teor de cimento: a capilaridade das argamassas diminui com o aumento do teor de cimento;
- d) teor de água: quanto maior for a relação água/aglomerante mais porosa será a argamassa.

Petrucci (1987, p. 351-352) afirma que a areia adicionada à pasta para formar a argamassa serve para reduzir o custo do produto e minimizar a variação de volume na secagem. Todos os grãos do agregado miúdo devem ser envolvidos pela pasta e estar bem aderidos a ela; os vazios entre os grãos também devem ser preenchidos pela pasta.

O mesmo autor classifica as argamassas segundo a dosagem em (PETRUCCI, 1987, p.354):

- a) pobres (magras): quando não há quantidade suficiente de aglomerante para preencher os espaços entre os grãos de areia;
- b) cheias: quando a quantidade de pasta é exata para preencher os vazios do agregado;
- c) ricas (gordas): quando existe pasta além do necessário para o preenchimento dos vazios.

Se não houver completo preenchimento dos espaços entre os grãos do agregado, a argamassa apresentará baixa resistência à tração e alta permeabilidade, como a de traço pobre em aglomerante. Isso não é desejável, em especial para revestimentos de fachada, onde a estanqueidade deve ser assegurada, e pode ser evitado através de uma dosagem adequada.

5.1.2 Blocos cerâmicos de vedação

A NBR 15270 apresenta a seguinte definição para blocos cerâmicos de vedação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 1):

Componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm.

Dentre os diferentes tipos de blocos cerâmicos existentes, o mais utilizado em alvenarias de vedação é o tijolo comum furado. Segundo Petrucci (1987, p. 33-34) os tijolos comuns furados se caracterizam por serem materiais feitos de argila, geralmente apresentando cor avermelhada devido a presença de óxido de ferro, com forma paralelepípedica, de dimensões aproximadamente na proporção 4 : 2 : 1, e que se utilizam fundamentalmente para alvenarias.

De acordo com Kazmierczak (1989, p. 43), na análise de tijolos segundo o desempenho em relação à estanqueidade à água, a propriedade de maior importância dos tijolos é a absorção. A ligação entre os tijolos e a argamassa sofre grande influência da capacidade de absorção inicial dos tijolos, pois uma grande absorção pode retirar grande quantidade da água de amassamento da argamassa e diminuir a trabalhabilidade, proporcionando uma má ligação entre os elementos da alvenaria.

Muitas vezes associa-se a resistência do tijolo com sua “impermeabilidade”. Da análise de vários trabalhos sobre permeabilidade de alvenarias, Bauer (1987, p. 14) pôde constatar que paredes com tijolos de maior resistência apresentaram melhores resultados no que se refere à estanqueidade. Na verdade o que ocorre é que tijolos de maior resistência geralmente são feitos de matéria prima de melhor qualidade e tem um processo de fabricação mais controlado. Disso resulta um material que tem índices de absorção menores. Em função disso, a penetração da água será menor tanto através do tijolo (índice de absorção menor) como pela interface tijolo/argamassa (melhor ligação e extensão de ligação entre eles).

Um recurso utilizado em obra para diminuir a absorção inicial de tijolos é molhá-los previamente, utilizando-os após a secagem superficial. Tal prática é recomendada para tijolos de alta absorção, proporcionando melhora considerável na adesão (KAZMIERCZAK, 1989, p. 45).

Kazmierczak (1989, p. 44) adverte que tijolos com uma absorção inicial muito baixa, que a primeira vista são sinônimos de um bom desempenho quanto a estanqueidade, tem sua aderência com a argamassa comprometida, pois o fenômeno de encunhamento entre a argamassa e os tijolos fica prejudicado. Não havendo absorção pelo tijolo, o material aglomerante da argamassa (cimento e/ou cal) não irá penetrar nos poros superficiais do tijolo, resultando em má adesão. Pode ocorrer também a formação de um filme de água entre a argamassa e o tijolo, resultando em má aderência.

5.1.3 Sistema de pintura

As pinturas, por proporcionarem elevada capacidade de proteção e por seu efeito estético, têm ocupado um lugar cada vez maior como material de acabamento de superfícies externas e internas de edifícios. Elas representam a parcela mais visível de uma obra, têm uma grande influência no desempenho e durabilidade das edificações e dão o toque final que valoriza o empreendimento (UEMOTO, 2002, p. 9).

Segundo a mesma autora, o chamado sistema de pintura não deve ser entendido apenas como a tinta de acabamento. O sistema de pintura é composto por fundos e líquidos preparadores de parede, massas e, por fim, a tinta de acabamento (UEMOTO, 2002, p. 16).

A seguir a definição de cada um dos principais componentes do sistema de pintura:

Fundo: é um produto destinado à primeira demão ou mais demãos sobre a superfície e funciona como uma ponte entre o substrato e a tinta de acabamento. O fundo é chamado de selador quando aplicado sobre superfícies de argamassa e é indicado para reduzir e/ou uniformizar a absorção de substratos (UEMOTO, 2002, p. 16).

Massa: é um produto pastoso, altamente pigmentado e serve para a correção de irregularidades da superfície já selada. Este produto deve ser aplicado em camadas muito finas para evitar o aparecimento de fissuras ou reentrâncias (UEMOTO, 2002, p. 16).

Tinta: qualquer material de revestimento, de consistência líquida ou pastosa, apto a cobrir, proteger e colorir a superfície de um objeto. O elemento que gera a película é, salvo para algumas pinturas murais, de natureza orgânica. Duas são as funções que normalmente deve preencher uma tinta, quais sejam, a de proteger e a de embelezar (PETRUCCI, 1987, p. 370).

As tintas são constituídas essencialmente de uma suspensão de partículas opacas (pigmentos) em veículo fluido. A principal função das partículas é cobrir e decorar a superfície; a do veículo, aglutinar as partículas e formar a película de proteção. Com exceção do aparecimento

de novos pigmentos orgânicos, o grande avanço que tem havido na tecnologia das tintas se deve a alterações efetuadas no veículo. Nas tintas emulsionáveis, que apareceram no mercado em 1949, o veículo é uma emulsão em que a fase contínua é água e a fase dispersa, gotas de óleo secativo, ou de um látex de borracha ou resina, podendo conter pigmentos e outras substâncias. Atualmente, fabricam-se tintas que atendem as mais diversas finalidades, assim existem tintas luminescentes, tintas que inibem o ataque de fungos, bactérias, algas e outros organismos, tintas resistentes ao calor, à prova de fogo, etc. (BAUER, 1992, p. 643).

Quanto à classificação dos diferentes tipos de tintas, atualmente, os produtos do comércio diferem tanto entre si, que escapam às limitações de qualquer classificação, quer se baseie na origem do pigmento, quer no veículo usado ou na finalidade. Uma classificação, para fins puramente didáticos, das tintas mais utilizadas na construção civil são (BAUER, 1992, p. 644):

- a) tintas látex;
- b) tintas à óleo;
- c) esmaltes;
- d) tintas a base de cal ou cimento;
- e) vernizes;
- f) tintas epóxi.

Cada uma destas tintas tem uma aplicação distinta na indústria da construção civil. Os vernizes (incolores), por exemplo, são utilizados na proteção de madeiras, os esmaltes são utilizados sobre metais e as tintas látex são usualmente utilizadas em substratos à base de cimento (alvenarias revestidas ou concreto). A tinta látex PVA (formulação baseada em acetato de polivinila) é indicada para as áreas internas da edificação, enquanto que a tinta látex acrílica (formulação baseada em acrilonitrila) é indicada para as áreas externas por possuir uma maior resistência a água e maior durabilidade, quando comparada com a látex PVA (YAZIGI, 2008, p. 627-632).

O sistema de pintura tem então como objetivo, além de embelezar, proteger a superfície, incluindo-se nesta proteção a de resistir à infiltração de água. Neste trabalho serão analisadas somente as tintas látex PVA e látex acrílica, pois estas são as mais recomendadas para serem aplicadas sobre alvenarias revestidas com argamassa.

5.2 GEOMETRIA DAS FACHADAS

O volume de água escorrida pelos planos de uma fachada depende da quantidade de água da chuva que incide diretamente sobre os mesmos e da eficiência de alguns elementos mais expostos à ação da água da chuva de despejarem-na de volta para o campo da chuva, protegendo as superfícies contíguas de sua incidência (PETRUCCI, 2000, p. 42).

Detalhes arquitetônicos de fachada, como pequenas saliências ou projeções, são capazes de reduzir até a metade do fluxo (50%) de água que normalmente incidiria sobre as superfícies das fachadas (THOMAZ, 1990³³ apud VIEIRA, 2005, p. 82).

Perez (1985³⁴ apud VIEIRA, 2005, p.82) e Thomaz (1990³⁵ apud VIEIRA, 2005, p.82) ao analisarem diagramas de fluxos de água em pingadeiras com diferentes tamanhos e geometrias, conforme figura 18, mostram o descolamento da lâmina de água da superfície das fachadas. Esses elementos construtivos são capazes de redirecionar o fluxo de água que normalmente escorreria diretamente pela parede.

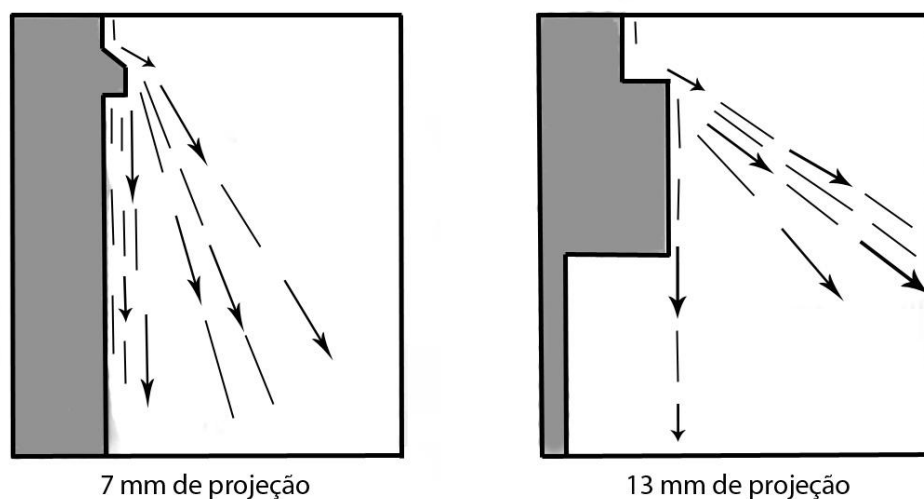


Figura 18: fluxo de água em pingadeiras com diferentes geometrias
(adaptado de VIEIRA, 2005, p. 83)

³³THOMAZ, E. Manual técnico de alvenaria. **Patologia**. São Paulo: Ed. Projeto, 1990. p. 97-117.

³⁴PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. In: **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: PINI/IPT, 1985. p. 571-574.

³⁵THOMAZ, E. Manual técnico de alvenaria. **Patologia**. São Paulo: Ed. Projeto, 1990. p. 97-117.

Segundo Thomaz (1990³⁶ apud VIEIRA, 2005, p. 86) a presença de janelas ou portas forma saliências e/ou reentrâncias nas fachadas, essas discontinuidades alterarão o fluxo descendente da água na superfície da edificação. Essa água poderá concentrar-se nos vértices inferiores do vão. No caso de peitoris de janelas, a água que incide sobre a superfície envidraçada certamente resultará em fluxos laterais ao peitoril (figura 19).

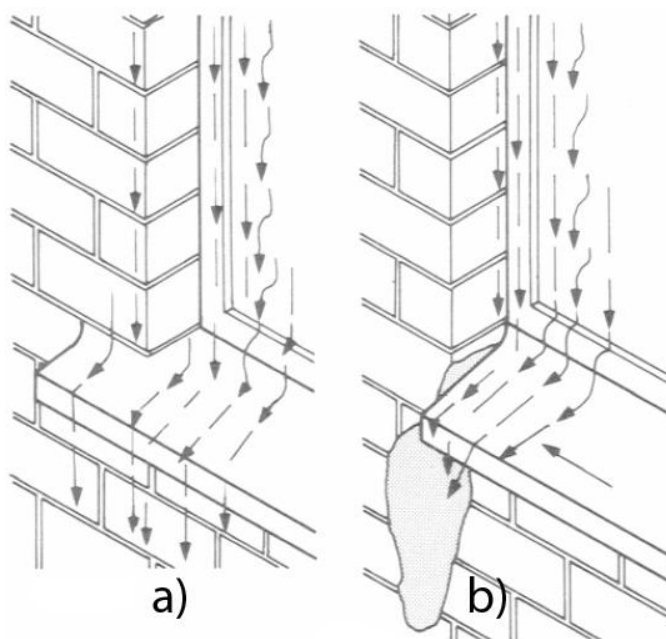


Figura 19: trajetória do fluxo de água nas esquadrias (a) peitoril favorecendo o desprendimento da água (b) peitoril favorecendo o acúmulo de água (THOMAZ 1990³⁷ apud VIEIRA, 2005, p. 86)

Incluindo-se elementos como pingadeiras e detalhes arquitetônicos nas fachadas e tomando-se cuidado com a execução de peitoris, pode-se reduzir bastante a quantidade de água da chuva que escorre pela fachada, diminuindo-se assim a quantidade de água que infiltra na mesma.

³⁶ THOMAZ, E. Manual técnico de alvenaria. **Patologia**. São Paulo: Ed. Projeto, 1990. p. 97-117.

³⁷op. cit.

6 NBR 15575/2008 - NORMA DE DESEMPENHO

A norma NBR 15575/2008 – Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho apresenta o seguinte conceito:

Norma de Desempenho: conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para um produto, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes, com base em exigências do usuário segundo as Normas Técnicas vigentes. A norma de desempenho inclui, ainda, os métodos de avaliação do atendimento, ou não, às exigências estabelecidas.

Essa Norma é diferente das demais, pois apresenta condições qualitativas e quantitativas que devem ser cumpridas pela edificação a fim de se assegurar uma qualidade mínima para o usuário. As exigências desses usuários, subjetivas, passaram a ser requisitos e critérios técnicos, com parâmetros bem definidos. A Norma é dividida em seis partes, sendo estas:

- a) parte 1: requisitos gerais;
- b) parte 2: requisitos para os sistemas estruturais;
- c) parte 3: requisitos para os sistemas de pisos internos;
- d) parte 4: sistema de vedações verticais externas e internas;
- e) parte 5: requisitos para sistemas de coberturas;
- f) parte 6: sistemas hidrossanitários.

A seguir algumas definições importantes descritas na Parte 1, os critérios e métodos de avaliação da estanqueidade de paredes descritos na Parte 4 e o método de avaliação escolhido para utilização neste trabalho descrito também na Parte 4.

6.1 PARTE 1 – REQUISITOS GERAIS

Nesta parte tem-se as seguintes definições (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008a, p. 8):

Desempenho: comportamento em uso de um produto.

Usuário: pessoa que ocupa a edificação.

Exigências do usuário: exigências de caráter humano expressas de forma qualitativa em relação ao comportamento em uso da edificação habitacional. Para todos os

efeitos, considera-se que o atendimento aos requisitos e critérios dessa norma satisfaz as exigências do usuário.

Condições de exposição: conjunto de ações atuantes sobre a edificação habitacional durante a vida útil de projeto, incluindo cargas gravitacionais, ações externas (clima, solo, ventos etc.) e as próprias ações resultantes da ocupação (solicitações mecânicas, geração de vapor, utilização controlada do fogo etc.).

Requisitos de desempenho: condições qualitativas que devem ser cumpridas pela habitação, a fim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário.

Crítérios de desempenho: conjunto de especificações e procedimentos que visam representar tecnicamente as exigências do usuário segundo as Normas Técnicas vigentes. São expressos de forma a possibilitar a análise objetiva do atendimento ou não as exigências estabelecidas.

6.2 PARTE 4 – SISTEMA DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS E INTERNAS

Um dos temas para avaliação abordados na Parte 4 da NBR 15575/2008 é a estanqueidade. Este tema é dividido em duas partes, cada uma com seus respectivos critérios e métodos de avaliação, sendo estas:

- a) infiltração de água dos sistemas de vedações verticais externas (fachadas);
- b) umidade nas vedações verticais externas e internas decorrentes da ocupação do imóvel.

Seus critérios e métodos de avaliação são descritos a seguir.

6.2.1 Infiltração de água de chuva em fachadas – critério e método de avaliação

Para assegurar a estanqueidade das fachadas da edificação à água de chuva a Norma fornece o seguinte critério (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008b, p. 17):

(...), os sistemas de vedação vertical externa do edifício habitacional, incluindo a junção entre a janela e a parede devem permanecer estanques e não apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, ou escorrimentos ou formação de gotas de água aderentes na face interna, podendo ocorrer pequenas manchas de umidade, com áreas limitadas (...).

A Norma descreve os possíveis métodos de avaliação e entre eles está o ensaio descrito no anexo D da NBR 15575-4/2008, que foi o método de ensaio utilizado neste trabalho, porém a Norma não deixa claro qual o resultado esperado do ensaio para que a fachada seja considerada estanque. Nela existem duas tabelas, uma referente à pressão estática durante o ensaio e outra referente a percentuais máximos de manchas de umidade em relação à área do corpo de prova, mas ambas não se aplicam para o método do anexo D da Norma, visto que neste ensaio não se pode definir uma pressão estática e não existe corpo de prova já que o ensaio é realizado *in situ*.

6.2.2 Umidade decorrente da ocupação do imóvel – critério e método de avaliação

Para as chamadas áreas molhadas da edificação, a Norma fornece o seguinte critério (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008b, p. 19):

A quantidade de água que penetra não deve ser superior a 3 cm³, por um período de 24 h, numa área exposta com dimensões de 34 cm x 16 cm.

Desta vez a Norma indica como único método de avaliação o método descrito no anexo D da NBR 15575-4/2008 que, como mencionado anteriormente, foi o ensaio utilizado neste trabalho. Desta vez a norma é muito clara a respeito do resultado esperado do ensaio para que a parede seja considerada estanque.

6.3 MÉTODO DE ENSAIO - VERIFICAÇÃO DA PERMEABILIDADE À ÁGUA DE SVVIE

No anexo D da NBR15575 – Parte 4 tem-se a descrição do ensaio, escolhido para a avaliação da estanqueidade de paredes neste trabalho, como segue (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008b, p. 39-40):

Diretrizes: o ensaio consiste em submeter um trecho de parede à presença de água, com pressão constante, por meio de uma câmara acoplada à parede (...).

Aparelhagem: câmara com formato de caixa, com dimensões internas de 16 cm x 34 cm, contendo no seu perímetro uma moldura para acoplamento com a parede. Bureta graduada em centímetros cúbicos, para manutenção da pressão constante no interior

da câmara e para medida do volume de água eventualmente infiltrado na parede. A bureta deve ser emborcada na câmara, de tal forma que sua boca tangencie o nível de água no seu interior; caso haja infiltração de água na parede, o mesmo volume de água infiltrada deve ser repostado pela água contida na bureta, mantendo-se constante o nível de água no interior da câmara e permitindo-se a quantificação de água infiltrada (...).

Procedimento: acoplar a câmara de ensaio na região desejada da parede, selando-se suas bordas com mastique ou outro material. Preencher a câmara e a bureta com água; registrar o nível inicial de água. Registrar o nível de água na bureta após os seguintes períodos: 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 6 h e 24 h.

As figuras 20 e 21 mostram representações esquemáticas do aparato utilizado para a realização do ensaio.

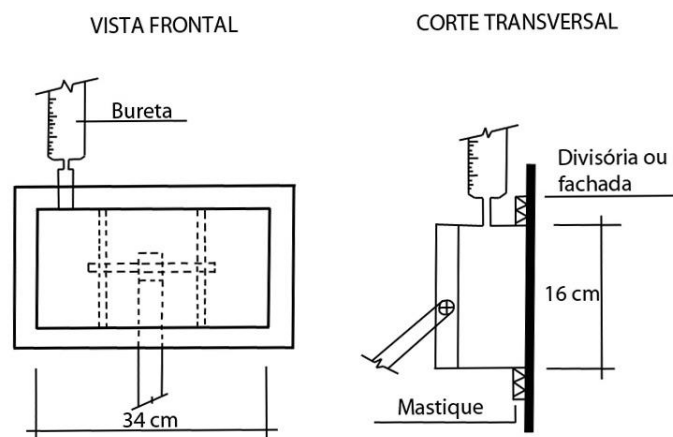


Figura 20: câmara para ensaio de permeabilidade *in situ* de paredes (HATTGE, 2004, p. 81)

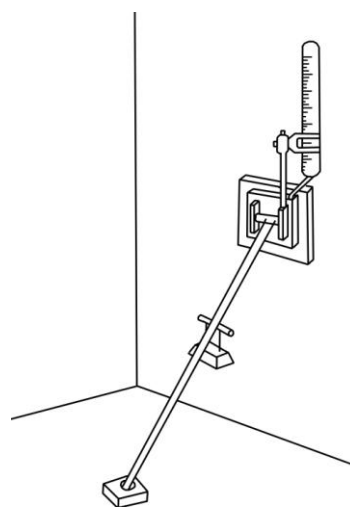


Figura 21: câmara para ensaio de permeabilidade de SVVIE (adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008b, p.39)

7 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O método de ensaio descrito na NBR 15575-4/2008 – Anexo D foi o escolhido para a verificação da estanqueidade do sistema de vedação vertical neste trabalho. Neste capítulo são apresentadas uma descrição do sistema de vedação avaliado e do método de ensaio.

7.1 MATRIZ EXPERIMENTAL

Tendo como base os revestimentos em argamassa mais utilizados nas construções, os revestimentos escolhidos para serem ensaiados foram argamassas em camada única:

- a) feita in loco com traço 1:1:6 (cimento CP IV, cal hidratada e areia fina úmida - traço em volume);
- b) feita in loco com traço 1:2:9 (cimento CP IV, cal hidratada e areia fina úmida - traço em volume);
- c) industrializada.

Seguindo a mesma lógica, os acabamentos escolhidos foram:

- a) selador acrílico;
- b) selador acrílico + tinta látex PVA;
- c) selador acrílico + tinta látex acrílica;
- d) selador acrílico + textura acrílica lisa;
- e) selador acrílico + textura acrílica lisa + tinta látex PVA;
- f) selador acrílico + textura acrílica lisa + tinta látex acrílica.

A figura 22 ilustra todas as combinações analisadas.

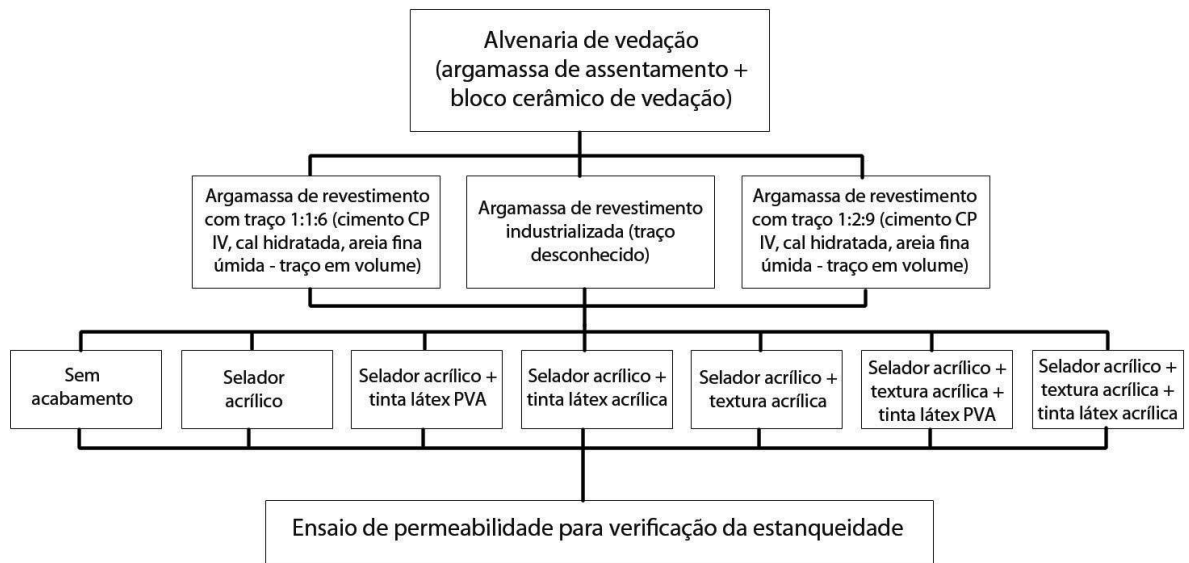


Figura 22: matriz experimental

7.2 MÉTODO DE ENSAIO

A seguir uma descrição da execução dos revestimentos e acabamentos analisados e da aparelhagem utilizada para a realização dos ensaios.

7.2.1 Execução dos revestimentos e acabamentos

Para realização deste trabalho optou-se por aplicar os revestimentos que seriam avaliados sobre uma parede previamente construída. Desta forma, o substrato que serviria de base para os diferentes revestimentos seria o mesmo.

Como a alvenaria escolhida para a realização dos ensaios já possuía revestimento em argamassa no qual o traço e a espessura eram desconhecidos (figura 23), optou-se por removê-lo (figura 24) e realizar-se a aplicação de um novo revestimento em argamassa, com traço e espessura definidos.



Figura 23: paredes escolhidas para a realização dos ensaios (a) parede A (b) parede B



Figura 24: preparo de superfície: remoção do revestimento existente nas paredes a serem ensaiadas (a) parede A (b) parede B

Após a remoção do revestimento existente, a superfície da parede se encontrava com muito pó e resquícios do revestimento removido. A superfície da parede foi então lavada conforme recomendações de execução da norma NBR 7200/1998, para uma melhor aderência do novo revestimento (figura 25) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 5-6):

Limpeza da base: a base a ser revestida deve estar limpa, livre de pó, graxa, óleo, eflorescência, materiais soltos ou quaisquer produtos ou incrustações que venham a prejudicar a aderência do revestimento. Antes do início de qualquer procedimento de lavagem, a base deve ser saturada com água limpa, para evitar a penetração, em profundidade, da solução de lavagem empregada. (...) Após quaisquer dos procedimentos de lavagem, deve-se esperar a completa secagem da base para se prosseguir com a aplicação do revestimento.



Figura 25: preparo de superfície: limpeza dos resquícios do revestimento removido
(a) antes da limpeza (b) depois da limpeza

Após a limpeza, foi executado um chapisco (figura 26) com traço 1:3 (cimento CP IV e areia grossa úmida - traço em volume), conforme recomendações de execução da norma NBR 7200/1998 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 6):

Aplicação do chapisco: a argamassa de chapisco deve ser aplicada com uma consistência fluida, assegurando maior facilidade de penetração da pasta de cimento na base a ser revestida e melhorando a aderência na interface revestimento-base. O chapisco deve ser aplicado por lançamento, com o cuidado de não cobrir completamente a base.



Figura 26: vista do chapisco lançado com colher sobre alvenaria de tijolos seis furos
(a) parede A (b) parede B

Os três revestimentos em argamassa foram executados nas paredes A e B sobre o chapisco. Cada revestimento foi dividido em quatro partes para posterior execução dos diferentes acabamentos (figura 27).

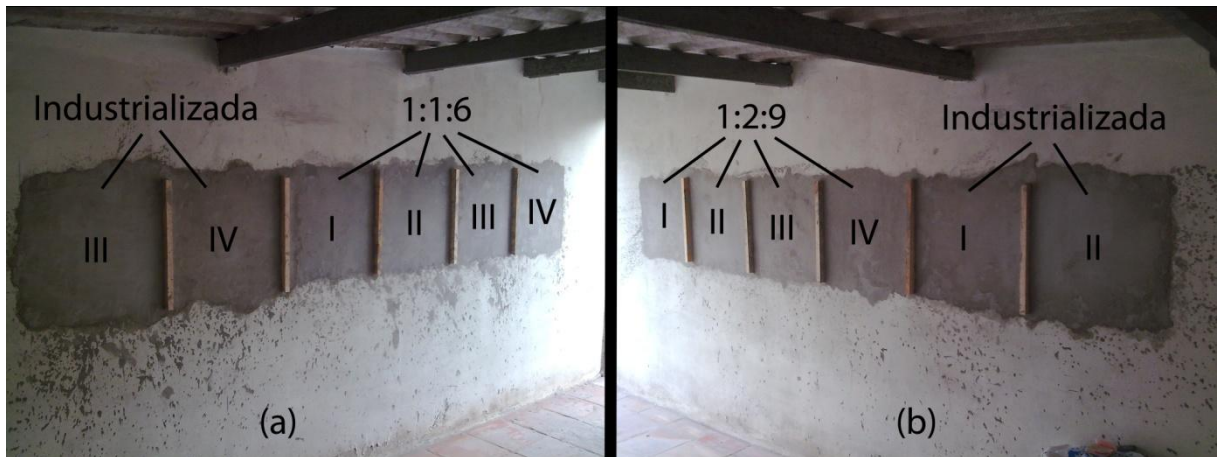


Figura 27: vista das paredes com aplicação dos novos revestimentos em argamassa
 (a) industrializada e traço 1:1:6; (b) industrializada e traço 1:2:9

A execução dessas argamassas seguiu as recomendações de execução da norma NBR 7200/1998 e o acabamento da superfície escolhido foi o desempenado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 6):

Execução de emboço ou revestimento de camada única: para definição do plano de revestimento, devem ser atendidas as espessuras constantes no projeto do revestimento e estar de acordo com as exigências estabelecidas na NBR 13749. (...) Estando a área totalmente preenchida e tendo a argamassa adquirido consistência adequada, faz-se a retirada do excesso de argamassa e a regularização da superfície pela passagem da régua. Em seguida, preenchem-se as depressões mediante novos lançamentos de argamassa nos pontos necessários, repetindo-se a operação de sarrafeamento até conseguir uma superfície plana e homogênea.

Acabamento da superfície – desempenado: executar o alisamento da superfície sarrafeada através da passagem da desempenadeira (desempoladeira).

Os revestimentos de argamassa em camada única foram executados com espessura igual a 20 mm seguindo a exigência de espessuras de revestimentos da NBR 13749/1996.

Sobre os revestimentos foram executados os seis tipos de acabamentos (figura 28):



Figura 28: vistas das paredes com os acabamentos executados (a) parede A (b) parede B

Em todas as etapas foram respeitados os tempos de cura exigidos pelas normas vigentes, como mostra o quadro 2.

Etapa	Tempo de cura (dias)	Norma
Lavagem	1	-
Chapisco	3	NBR 7200
Revestimento	21	NBR 7200
Selador	1	-
Textura	1	-
Tinta (cada demão)	1	-

Quadro 2: tempos de cura respeitados em cada etapa

7.2.2 Definição do equipamento utilizado

Seguindo as especificações da NBR 15575-4/2008 – Anexo D foi construído no Norie (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação) o aparato para a realização dos ensaios de estanqueidade (figura 29). Note que foram acrescentados dois registros esfera de PVC, classe 15 com diâmetro nominal de 20 mm, ao aparato de aço, para facilitar o preenchimento do mesmo com água no início dos ensaios e facilitar a saída de ar durante este preenchimento.

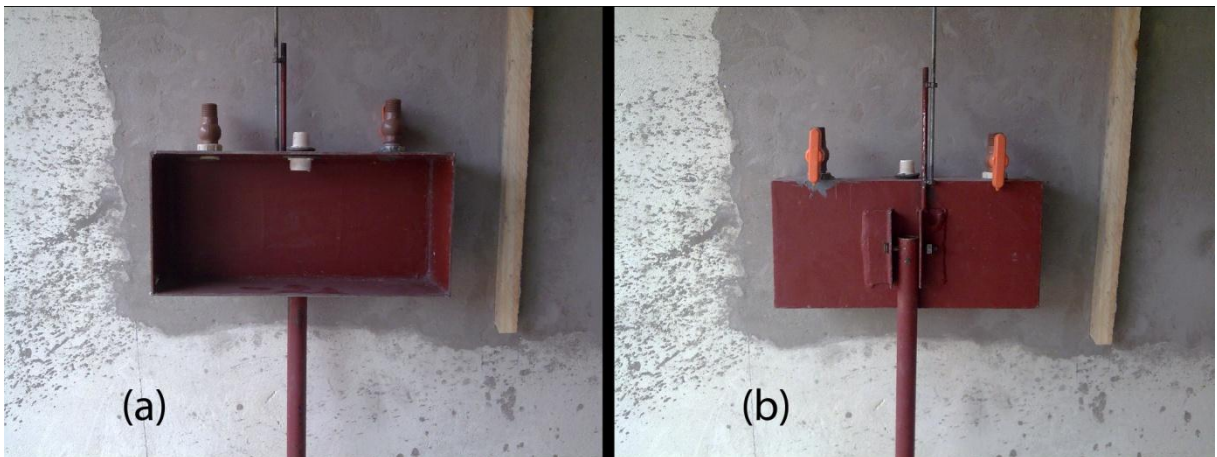


Figura 29: aparato especificado pela NBR 15575 para a avaliação da estanqueidade (a) vista da face que fica em contato com a parede durante o ensaio (b) vista da forma na qual o aparelho deve ser posicionado sobre a parede durante o ensaio.

A bureta utilizada, de formato cilíndrico, é graduada em centímetros cúbicos com um total de 25 graduações (volume igual a 25 cm³). Cada graduação com um afastamento de 1,5 cm fazendo com que a bureta possua 37,5 cm de altura e um diâmetro interno de 0,92 cm (figura 30). É importante detalhar a bureta utilizada, pois suas dimensões (largura e altura) se mostraram fundamentais na análise dos resultados dos ensaios.

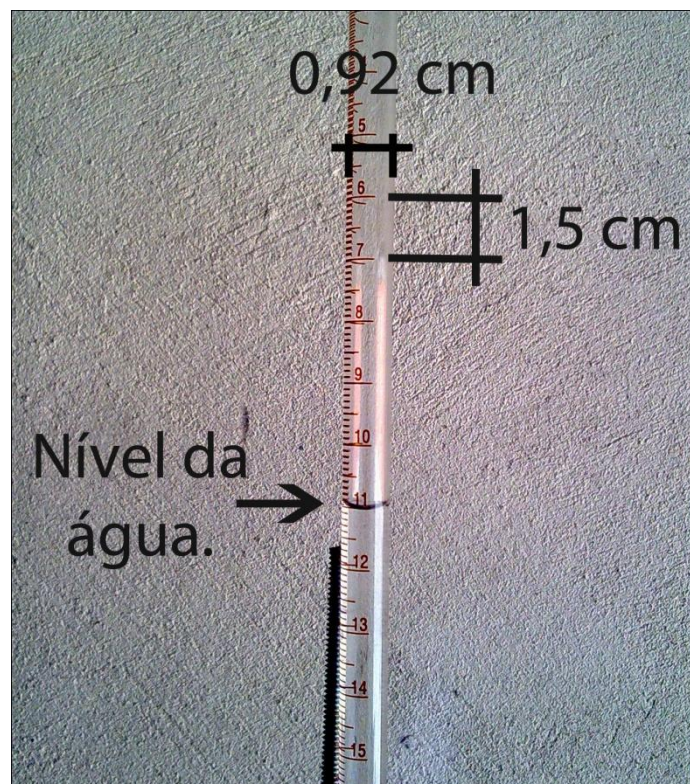


Figura 30: detalhes geométricos da bureta utilizada

7.2.3 Execução dos ensaios

Inicialmente é necessário realizar-se a fixação do aparato à parede a ser ensaiada, para isto posiciona-se o aparato com a face aberta de encontro à parede (figura 31a) e selam-se suas bordas (figura 31b) para que a água, durante os ensaios, não vaze pela interface aparato/parede.

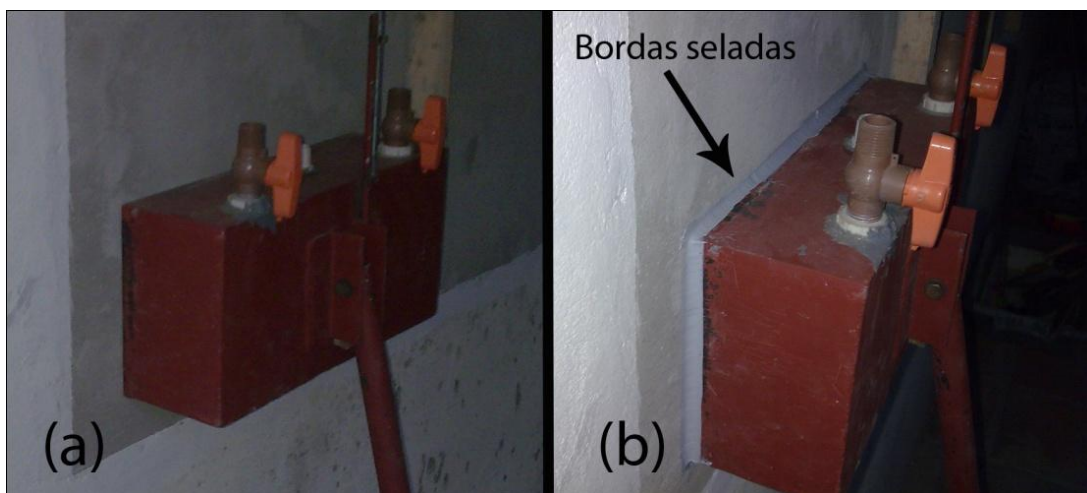


Figura 31: posicionamento do aparato junto da parede a ser ensaiada (a) antes da aplicação do selante (b) depois da aplicação do selante

Passado o tempo de cura do selante pode-se começar o ensaio. Acopla-se a bureta ao aparato e enche-se o mesmo de água através de um dos registros. Após o completo preenchimento fecham-se os registros e preenche-se a bureta com água. Foram utilizados dois registros para facilitar a saída do ar.

O selante utilizado nas primeiras tentativas de ensaio foi o silicone, porém não se obteve o resultado esperado. O silicone não apresentou uma boa aderência com o aço (material do qual o aparato foi feito) e, devido à grande pressão que o silicone era submetido, durante o ensaio, a água vertia pela interface silicone/aço. Optou-se posteriormente pela utilização de um selante à base de poliuretano, o qual é utilizado na indústria da construção civil em juntas de movimentação.

Este selante apresentou uma excelente aderência tanto com a parede quanto com o aço, porém devido à grande pressão a qual era submetido, durante os ensaios, o selante se deformava (figura 32) à medida que o aparato se deslocava na direção oposta à parede, aumentando

assim o volume interno do aparato e, por consequência, alterando o resultado dos ensaios, demonstrado esquematicamente na figura 33.

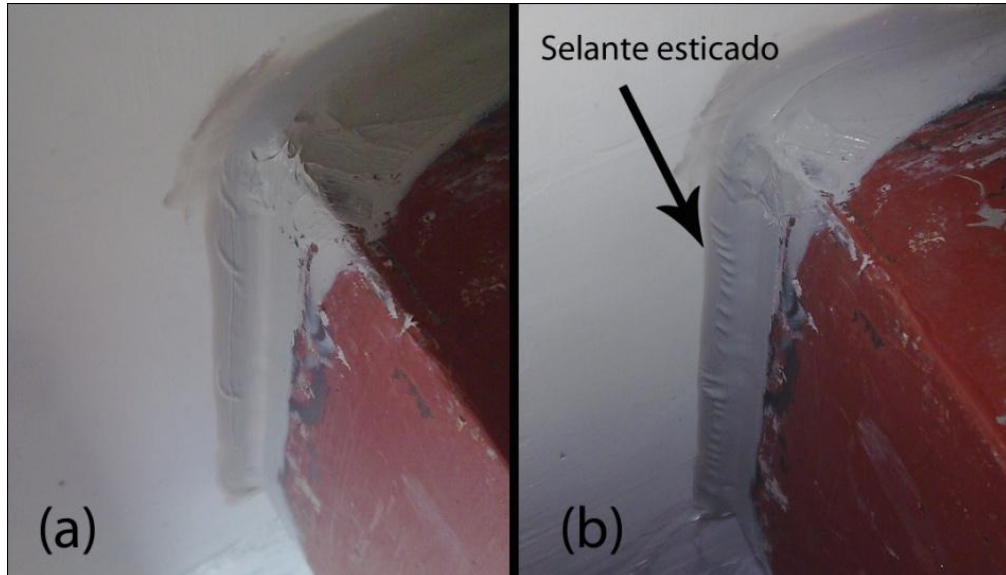


Figura 32: problema com a utilização de selante flexível na realização do ensaio (a) antes do ensaio (b) durante o ensaio

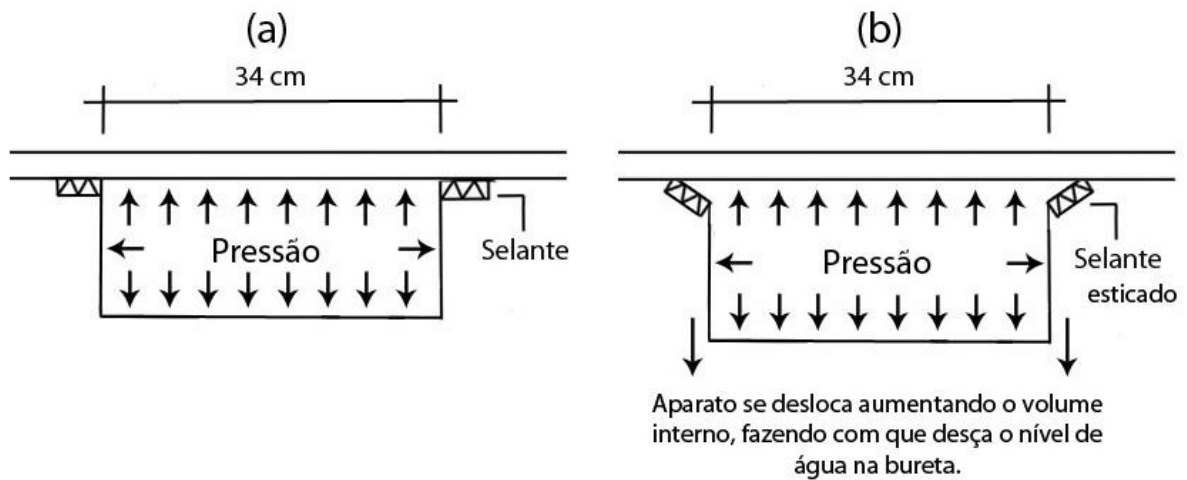


Figura 33: vista superior do aparato sendo deslocado devido à pressão interna (a) antes do ensaio (b) durante o ensaio

Para solucionar o problema do deslocamento, foi decidido se utilizar um sarrafo de madeira entre o aparato e a parede oposta à parede ensaiada, provocando-se assim uma força que age no sentido de impedir o deslocamento (figura 34).



Figura 34: sarrafo utilizado para pressionar o aparato contra a parede a ser ensaiada

Somente após a conclusão de todos os ensaios é que se verificou que dever-se-ia ter utilizado um peso no centro da haste de suporte do aparelho (figura 21). Este peso certamente tem por objetivo impedir que a pressão interna da caixa a afaste da parede como aconteceu em alguns ensaios, cujos resultados foram comprometidos e, portanto, desconsiderados. Salientando que a NBR 15575-4/2008 faz menção a este peso somente na ilustração, não deixando claro qual a massa do mesmo.

A NBR 15575-4/2008 afirma que este ensaio deva ser realizado sobre pressão constante. Porém a pressão no interior do aparato é ditada pelo tamanho da coluna d'água na bureta. Esta coluna d'água varia conforme a água infiltra na parede, portanto a pressão deve variar também. Pensando nisso foi convencionado que o nível inicial de água na bureta fosse sempre o mesmo e que a bureta deveria estar sempre na mesma posição em relação ao aparato em todos os ensaios. O nível inicial de água na bureta (0 cm³ de água infiltrada) se situou exatamente 67,5 cm acima do aparato e o nível final de água na bureta (25 cm³ de água infiltrada) se situou exatamente 30 cm acima do aparato em todos os ensaios conforme ilustra a figura 35.

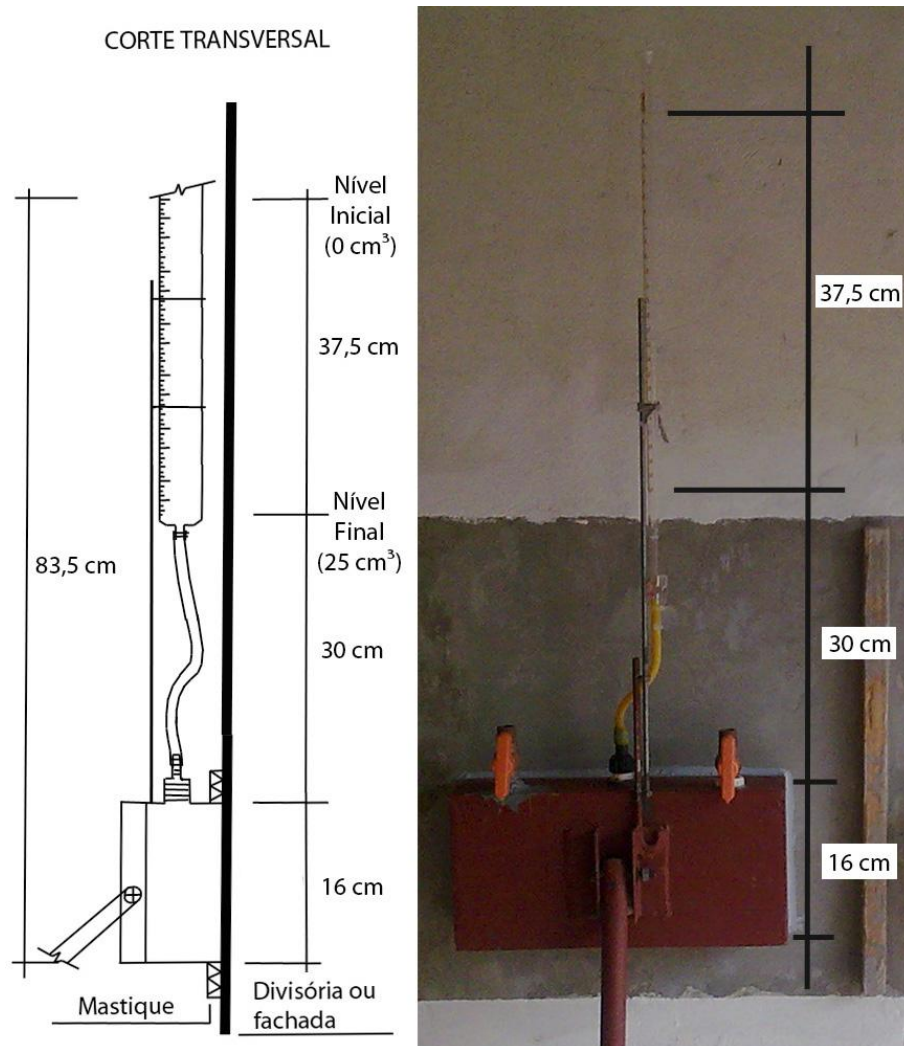


Figura 35: níveis convencionados para a bureta em relação ao aparato

Utilizando-se a equação 3 é possível calcular-se a pressão inicial e final nos ensaios realizados:

$$P = \rho \times g \times h \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

P = pressão hidrostática (em pascals);

ρ = densidade da água (em quilogramas por metro cúbico);

g = aceleração da gravidade (em metros por segundo ao quadrado);

h = altura de coluna d'água acima do ponto em estudo (em metros).

Para o cálculo da pressão total no interior da câmara, dever-se-ia levar em consideração também a pressão atmosférica, porém, esta foi desconsiderada por ser igual em ambos os lados da parede ensaiada, não influenciando, portanto, na diferença de pressão entre os dois lados da parede.

Para o ponto de maior pressão no interior do aparato, que se situava na parte inferior interna da câmara, calculou-se então a pressão hidrostática no início de cada ensaio utilizando-se a equação 3:

$$P_{\text{max inicial}} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 9,80665 \text{ m/s}^2 \times 0,835 \text{ m}$$

$$P_{\text{max inicial}} = 8188,55 \text{ Pa}$$

Ao final do ensaio a pressão hidrostática no mesmo ponto foi calculada da seguinte forma utilizando-se a equação 3:

$$P_{\text{max final}} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 9,80665 \text{ m/s}^2 \times 0,46 \text{ m}$$

$$P_{\text{max final}} = 4511,1 \text{ Pa}$$

Para se ter uma idéia da grandeza desses valores a norma NBR 15575-4, também para o quesito estanqueidade, quando da escolha da utilização do método de ensaio descrito no anexo C, recomenda uma pressão estática de no máximo 50 Pa.

Utilizando-se a equação 2 pode-se calcular a velocidade do vento necessária para provocar uma pressão de 8188,55 Pa como segue:

$$8188,55 = 0,613 V_k^2$$

$$V_k = 115,58 \text{ m/s} = 416,1 \text{ km/h}$$

Estes valores tão altos de pressão obtidos são decorrentes da elevada coluna d'água. Nos ensaios realizados neste trabalho se utilizou uma mangueira de borracha para se conectar a bureta ao aparato. Esta mangueira contribuiu significativamente para o aumento desta coluna d'água e, desta forma, recomenda-se fixar a bureta diretamente ao aparato ou se utilizar uma mangueira mais curta.

Da mesma forma, no que diz respeito à variação da coluna d'água, a geometria da bureta é importante. A explicação para isto é que quanto mais larga for a bureta, menor será a variação da altura de coluna d'água para cada cm^3 de água infiltrada. Como a bureta utilizada neste trabalho tinha 1,5 cm de altura para cada cm^3 de volume interno, a variação de pressão por cm^3 de água infiltrada é calculada, utilizando-se a equação 3, da seguinte forma:

$$P_{\text{variando a cada cm}^3} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 9,80665 \text{ m/s}^2 \times 0,015 \text{ m}$$

$$P_{\text{variando a cada cm}^3} = 148 \text{ Pa}$$

8 RESULTADOS

A seguir a apresentação e análise dos resultados obtidos na realização dos ensaios sobre a alvenaria analisada bem como algumas sugestões de melhorias para a NBR 15575-4/2008.

8.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apesar de a NBR 15575-4/2008 recomendar a anotação do primeiro dado relativo à quantidade de água infiltrada somente após trinta minutos do início do ensaio, isto se mostrou inviável, visto que, grande parte dos ensaios não durou trinta minutos. Sendo assim, optou-se por anotarem-se os dados a cada trinta segundos. Os resultados de todos os ensaios estão descritos no quadro 3 e na figura 36.

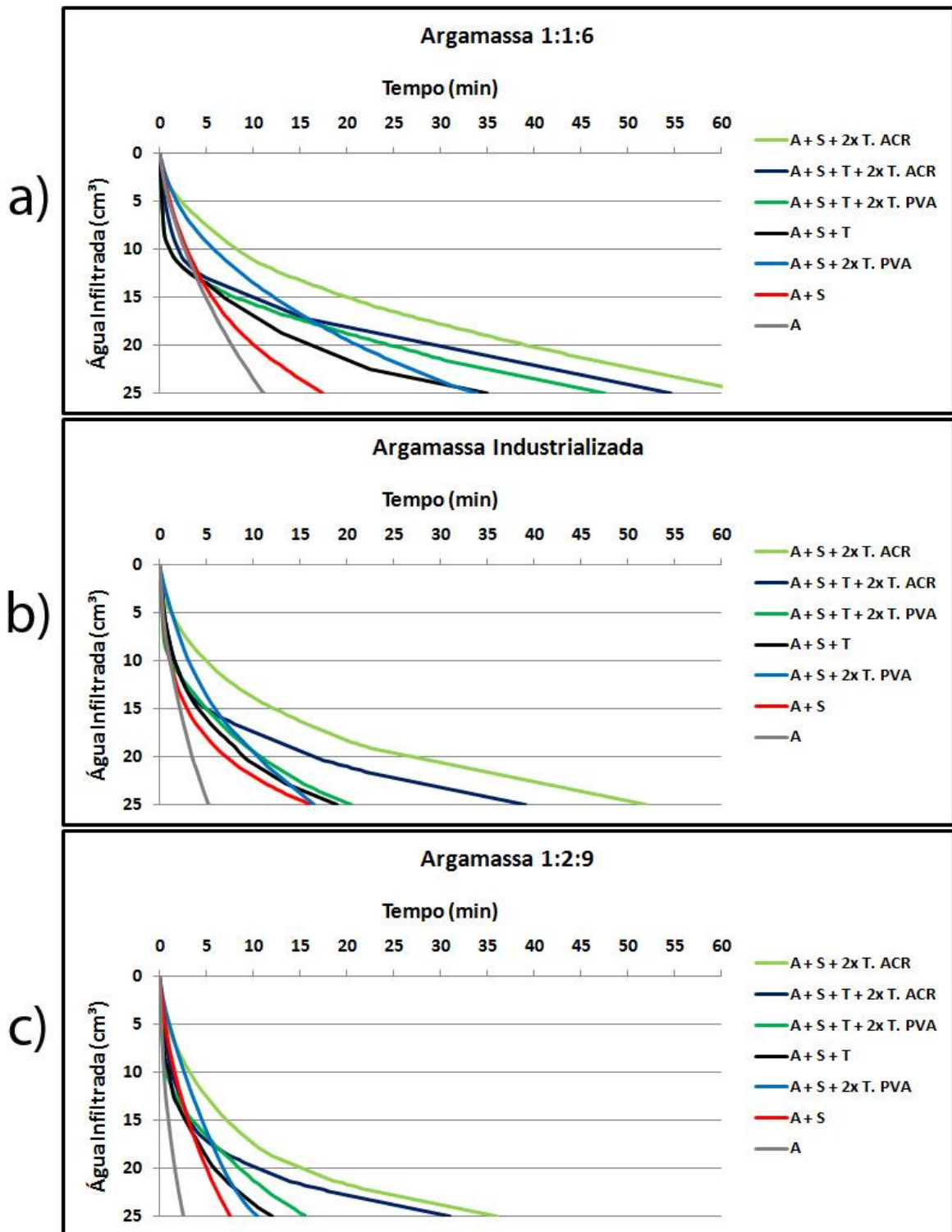
Em relação aos diferentes revestimentos em argamassa analisados, o que obteve o melhor desempenho foi a argamassa 1:1:6 (cimento CP IV, cal hidratada, areia fina úmida – traço em volume) e o que obteve o pior desempenho foi a argamassa 1:2:9 (cimento CP IV, cal hidratada, areia fina úmida – traço em volume). Isto não foi uma surpresa, visto que na revisão bibliográfica fica claro que a principal característica das argamassas de revestimento é a permeabilidade e esta está associada ao traço da argamassa. Quanto maior for a proporção de cal hidratada em relação ao cimento, mais permeável a argamassa será. A menor relação cal hidratada / cimento entre as argamassas com traço conhecido se deu no traço 1:1:6, portanto, era esperado que esta argamassa apresentasse uma baixa permeabilidade.

Com a argamassa industrializada este tipo de comparação direta não pôde ser feito, pois seu traço era desconhecido, porém sabe-se que neste tipo de argamassa usualmente não se emprega a cal, mas sim aditivos incorporadores de ar, que tem a finalidade de conferir a plasticidade e trabalhabilidade à argamassa, com a vantagem de não aumentar tanto a permeabilidade da mesma, quando comparado ao emprego da cal.

Em relação aos diferentes acabamentos analisados, foi verificado que para o acabamento compreendido por uma demão de selador acrílico e duas demãos de tinta acrílica se obteve a maior resistência a infiltração de água, onde foi observada uma melhora no desempenho de em média 11,4 vezes, em relação aos mesmos revestimentos sem acabamento nenhum.

Acabamento	Argamassa de Revestimento	Tempo (min)											Quantidade de água infiltrada (cm ³)					
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	
Sem acabamento	1:1:6	0	6.5	11	14.8	18	20.9	23.6										
	IND.	0	9.4	14.3	18.3	21.6	24.5											
	1:2:9	0	15.5	22.4														
Selador Acrílico	1:1:6	0	4.5	7.7	10.2	12.2	14	15.5	16.9	18	19	19.9						
	IND.	0	9.5	13	15.1	16.7	17.9	19	19.9	20.7	21.4	22						
	1:2:9	0	7.2	11.5	14.8	17.6	20	22.2	24.1									
Selador Acrílico + 2 Demãos de Tinta PVA	1:1:6	0	3.2	5.3	6.9	8.1	9.2	10.2	11.1	11.9	12.7	13.5	19.4	23.7				
	IND.	0	4	7.1	9.8	11.8	13.6	15.1	16.4	17.5	18.5	19.5						
	1:2:9	0	4.8	8.1	11	13.6	16.1	18.3	20.4	22.1	23.5	24.6						
Selador Acrílico + 2 Demãos de Tinta Acrílica	1:1:6	0	3.4	4.6	5.7	6.6	7.5	8.3	9.1	9.8	10.5	11.1	15	17.8	20.2	22.3	24.3	
	IND.	0	4.6	6.3	7.8	9	10	11	11.8	12.5	13.2	13.8	18.3	20.6	22.6	24.6		
	1:2:9	0	5.5	7.7	9.6	11.2	12.5	13.7	14.8	15.7	16.6	17.4	21.7	23.8				
Selador Acrílico + Textura Acrílica	1:1:6	0	9.8	11.4	12.3	13	13.5	14.3	15.1	15.7	16.3	16.9	21.5	24				
	IND.	0	7.7	11	13.2	14.8	16	17.1	18	18.9	20	20.7						
	1:2:9	0	10	13.5	15.4	17.1	18.8	20.2	21.2	22.1	22.9	23.7						
Selador Acrílico + Textura Acrílica + 2 Demãos de Tinta PVA	1:1:6	0	9.8	11.4	12.3	13	13.5	14	14.5	15	15.3	15.7	18.8	21.4	23.5			
	IND.	0	9.5	11.3	12.6	13.8	15	16	17	17.9	18.7	19.4	24.8					
	1:2:9	0	10.8	12.8	14.4	15.5	16.6	17.7	18.6	19.5	20.4	21.3						
Selador Acrílico + Textura Acrílica + 2 Demãos de Tinta Acrílica	1:1:6	0	7	10	11.5	12.4	13	13.4	13.8	14.2	14.6	15	18.1	20.1	22.1	24.1		
	IND.	0	7.7	11	13.2	14.3	15	15.6	16.1	16.6	17	17.4	21	23.2				
	1:2:9	0	8.6	12	14.5	16.2	17.1	17.8	18.4	18.9	19.4	19.8	22.8	24.8				

Quadro 3: resultados de absorção de água ao longo do tempo em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos com diferentes revestimentos de argamassa e diferentes acabamentos



Legenda:

A = Argamassa S = Selador Acrílico T = Textura Acrílica;
 T. PVA = Tinta PVA T. ACR = Tinta Acrílica

Figura 36: absorção de água ao longo do tempo em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos com diferentes revestimentos de argamassa e diferentes acabamentos (a) argamassa com traço 1:1:6 (b) argamassa industrializada (c) argamassa com traço 1:2:9

A importância da tinta, na melhora da capacidade do sistema de vedação vertical em impedir a infiltração de água, fica muito evidente na figura 36. Somente a aplicação do fundo (selador), como acabamento, não é suficiente para que se tenha uma melhora significativa no desempenho do sistema.

Infelizmente não foi possível considerar-se a alvenaria ensaiada estanque à água, utilizando-se os critérios na NBR 15575-4, pois a Norma não deixa claro qual o critério de avaliação quando se utiliza o ensaio descrito no anexo D da mesma. E mesmo que estes critérios fossem claros ainda assim a avaliação não poderia ser feita, pois o ensaio descrito no anexo D da Norma não tem seus equipamentos e parâmetros iniciais padronizados.

Quando da utilização de buretas mais largas, quando comparadas com buretas menos largas, a pressão interna no aparato sofreria uma menor alteração para uma mesma quantidade de água infiltrada na parede. Caso os ensaios fossem realizados com níveis iniciais de água diferentes, para uma mesma bureta, a pressão inicial do ensaio seria diferente e também a taxa de infiltração inicial. Em ambos os casos ficaria impossibilitada a comparação entre os resultados.

8.2 SUGESTÕES PARA MELHORIA DA NBR 15575-4/2008

Com base nas constatações feitas durante a realização dos ensaios pôde-se chegar a algumas sugestões para a melhoria da NBR 15575-4/2008. Em relação ao critério de avaliação da estanqueidade de fachadas quando da escolha do método de avaliação descrito no anexo D da Norma as sugestões são o acréscimo da indicação:

- a) da quantidade máxima de água infiltrada permitida;
- b) do tempo de ensaio.

Para o anexo D da NBR 15575-4/2008, sugere-se que sejam padronizados os parâmetros iniciais do ensaio. As sugestões são o acréscimo da indicação:

- a) das dimensões (geometria) da bureta;
- b) do método de fixação da bureta ao aparato (a Norma especifica que a boca da bureta deve tangenciar o nível de água no interior do aparato, porém a figura ilustrativa da Norma mostra uma situação diferente, figura 21);
- c) da altura de coluna d'água inicial nos ensaios;

9 CONCLUSÕES

Em relação aos revestimentos de argamassa analisados, chegou-se a conclusão de que a argamassa de traço 1:1:6 (cimento CP IV, cal hidratada, areia fina úmida – traço em volume) é a mais indicada para ser utilizada em revestimentos externos (fachadas), visto que esta apresentou o melhor desempenho apresentando uma maior resistência à penetração da água.

Quanto aos acabamentos, verificou-se que os mesmos são imprescindíveis para a redução do volume de água infiltrada nos revestimentos de argamassa. O melhor desempenho verificado foi o do acabamento que incluía uma demão de selador acrílico e duas demãos de tinta acrílica, chegando-se a uma melhora de, em média, 11,4 vezes na resistência a penetração de água em relação aos mesmos revestimentos sem acabamento.

Como pressuposto neste trabalho tem-se que a Norma NBR 15575-4/2008 com seus critérios para avaliação da estanqueidade de SVVIE (Sistemas de Vedações Verticais Internos e Externos) está correta e é uma boa forma de avaliação deste fenômeno. Porém, como visto no desenvolvimento do trabalho, a Norma apresenta uma falta de especificações que impossibilita a sua utilização para a verificação da estanqueidade de sistemas de vedação verticais, quando o método de ensaio escolhido é o descrito no anexo D da mesma Norma.

A Norma NBR 15575 está em processo de revisão e, espera-se que de alguma forma este trabalho venha a colaborar com esta revisão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

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

_____. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15270**: componentes cerâmicos – parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008a.

_____. **NBR 15575**: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – parte 4: sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2008b.

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) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1992. 2. v.

BIANCHIN, A. C. **Influência do proporcionamento dos materiais constituintes no desempenho de argamassas para reboco de recuperação de alvenarias contaminadas por umidade e sais**. 1999. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HATTGE, A. F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto**. 2004. 136 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de paredes de materiais cerâmicos à penetração de água da chuva**: uma análise de fatores condicionantes. 1989. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MOCH, T. **Interface esquadria/alvenaria e seu entorno**: análise das manifestações patológicas típicas e propostas de soluções. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 8. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios**: interação entre as condições ambientais e a forma construída. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

POLISSENI, A. E. **Método para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede**: método do cachimbo. 1986. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda**: uma análise da confiabilidade e da conformidade. 2007. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SATTLER, M. A. **Caracterização dos fatores e elementos do clima**. Notas de aula da disciplina Habitabilidade. Porto Alegre, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

UEMOTO, K. L. **Projeto, Execução e Inspeção de Pinturas**. São Paulo: O nome da Rosa, 2002 (Coleção primeiros passos no canteiro de obras).

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 de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 9. ed. rev. e atual. São Paulo: Pini, : SindusCon, 2008.