

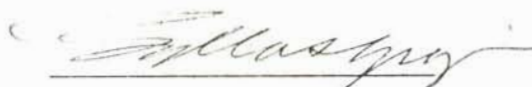
RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DA CHUVA EM FACHADAS
DE ALVENARIA DE MATERIAIS CERÂMICOS
- UMA ANÁLISE DE DESEMPENHO -

ELTON BAUER

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA

Porto Alegre

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof. Syllas Grazia
Orientador



Prof. José Carlos Ferraz Hennemann
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Eng. Civil

BANCA EXAMINADORA

Prof. Syllas Grazia (Orientador)
M.Sc. pela S.M.U., USA

Prof. Reinaldo Roesch da Silva
M.Sc. pela Universidade de Montreal

Prof. João Luiz Campagnolo
M.Sc. pelo CPGEC, UFRGS

À minha esposa Célia

Aos meus pais, Darcy
e Delma

À mana Edna

AGRADECIMENTOS

A Deus que é razão e sentido do universo.

Aos meus familiares, em particular a minha esposa Célia e a meus pais que sempre me incentivaram e auxiliaram no transcurso dessa etapa de minha vida.

Aos professores Paulo Roberto do Lago Helene e Reinaldo Roesch da Silva pela orientação e incentivo no transcurso desse trabalho.

À coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo apoio.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil que nos deram valiosas contribuições no decorrer desse período.

Aos colegas com quem desfrutamos esses anos de convívio.

Ao 8º Distrito de Meteorologia do Ministério da Agricultura que nos forneceu material essencial para o desenvolvimento da metodologia empregada.

Aos funcionários do Laboratório de Concreto da UFRGS: André, Flávio e Bueno com quem trabalhamos no desenvolvimento do equipamento e na execução dos ensaios.

Ao Cláudio que nos auxiliou no período em que estivemos ausentes e na documentação do trabalho.

Às funcionárias da Biblioteca do Curso de Engenharia Civil que nos auxiliaram na revisão bibliográfica.

À Silvia Selmo que nos auxiliou na obtenção de material bibliográfico junto ao IPT.

Aos colegas da UnB que nos auxiliaram para que fosse possível a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Nesse trabalho abordam-se de maneira geral as diversas características e propriedades dos materiais que influem na penetração da água em fachadas de alvenaria.

Analiza-se os principais mecanismos de infiltração da água bem como o comportamento da água sobre a superfície das fachadas. Uma análise também é feita com respeito a determinação do grau de exposição da fachada.

Com o fim de avaliar o desempenho de fachadas de alvenaria, com relação a sua resistência a penetração da chuva, utiliza-se a metodologia de desempenho. Faz-se uma aplicação prática para as condições de Porto Alegre, apresentando-se os resultados obtidos.

ABSTRACT

This paper deals with the material properties and components that affect the rain penetration in external masonry walls.

The main mechanisms of rain penetration as well as the behaviour of water on the front surface is analysed. An analysis is also carried out to evaluate the front degree of exposure.

The Performance Methodology is used in order to evaluate the performance of external masonry walls with respect to its rain resistance. A practical application to the conditions in Porto Alegre is made and the results obtained are presented.

SUMÁRIO

	Pág.
DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
RESUMO/ABSTRACT	III
SUMÁRIO	IV
RELAÇÃO DE FIGURAS	VI
RELAÇÃO DE FOTOS	XIII
RELAÇÃO DE TABELAS	XV
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	01
1.1 Justificativa do tema	01
1.2 Objetivos do trabalho	05
CAPÍTULO 2 - ALVENARIAS - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS BÁSICOS	06
2.1 Introdução	06
2.2 Concepção de alvenarias	06
2.3 Propriedades dos materiais	11
CAPÍTULO 3 - INCIDÊNCIA DA CHUVA SOBRE A ALVENARIA ...	19
3.1 Introdução	19
3.2 Mecanismos de penetração da água sobre a alvenaria	19
3.3 Exposição da parede	30

3.4 A chuva sobre a superfície da parede	64
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE DESEMPENHO	76
4.1 Caracterização da metodologia	77
4.2 A exigência estanqueidade	90
CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO PARA AS CONDIÇÕES DE PORTO ALE- GRE	134
5.1 Levantamento das condições de exposição	134
5.2 Determinação dos parâmetros de ensaio	146
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	157
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1.1 -Solicitações impostas às alvenarias exteriores.	02
Figura 1.2 -Distribuição dos tipos de problemas patológicos encontrados	03
Figura 2.1 -Exemplos de alvenaria tipo I	09
Figura 2.2(a)-Exemplos de alvenaria tipo IIa	10
Figura 2.2(b)-Exemplos de alvenaria tipo IIb	10
Figura 2.3 -Exemplos de alvenaria tipo III	10
Figura 2.4 -Exemplos de alvenaria tipo IV	11
Figura 3.1 -Ação de uma força em um capilar cheio de água	22
Figura 3.2 -Forças produzindo penetração de chuva ..	24

Figura 3.3	-Sistema de forças sobre uma molécula de um líquido em contato com um sólido	26
Figura 3.4	-Tensão superficial	27
Figura 3.5	-Ligações superficiais não equilibradas dão origem à tensão superficial	27
Figura 3.6	-Ângulo de contato	28
Figura 3.7(a)	-Chuva defletada pelo vento	32
Figura 3.7(b)	-Chuva vertical	32
Figura 3.8	-Sistema de forças atuantes sobre uma gota de chuva	33
Figura 3.9	-Relação entre o diâmetro e a velocidade terminal da gota	35
Figura 3.10	-Curvas de distribuição típicas dos diferentes tamanhos de gota para três taxas de intensidade de chuva	36
Figura 3.11	-Relação entre a taxa de intensidade de chuva e o diâmetro médio da gota	36

Figura 3.12	-Relação entre a intensidade de chuva em uma superfície vertical, intensidade de chuva horizontal e velocidade do vento .	37
Figura 3.13	-Exemplo de coletor de chuva incidente sobre superfície	39
Figura 3.14	-Posicionamento dos coletores nas fachadas	40
Figura 3.15	-Gradiente de velocidade de vento em função da altura	41
Figura 3.16	-Velocidade básica do vento	42
Figura 3.17	-Incidência do vento sobre o edifício - Zonas de pressão e sucção	46
Figura 3.18	-Fluxo de ar sobre a superfície do edifício	48
Figura 3.19	-Efeito barreira	48
Figura 3.20	-Efeito Venturi	49
Figura 3.21	-Efeito de conexões de pressão	50

Figura 3.22	-Efeito de abertura	51
Figura 3.23	-Efeito de canto	52
Figura 3.24	-Efeito de rastro	53
Figura 3.25	-Difusão do fluxo do meio ambiente	54
Figura 3.26	-Efeito de canal	54
Figura 3.27	-Turbulências	55
Figura 3.28	-Proteção	56
Figura 3.29	-Determinação da altura	58
Figura 3.30	-Fachadas abrigadas e não abrigadas	60
Figura 3.31	-Fachadas abrigadas e não abrigadas	61
Figura 3.32	-Características da incidência da chuva .	65
Figura 3.33	-Padrões de umedecimento	67
Figura 3.34	-Desvio das gotas de chuva pelos fluxos de ar	67

Figura 3.35	-Processo de umedecimento	69
Figura 3.36	-Comportamento do fluxo de água superficial	70
Figura 3.37	-Acumulação de fluxos de água	71
Figura 3.38	-Fluxos concentrados em canais contínuos.	73
Figura 3.39	-Fluxos planares	74
Figura 3.40	-Canais e planos combinados	75
Figura 4.1	-Esquema da metodologia de desempenho ...	77
Figura 4.2	-Variação da velocidade do vento	92
Figura 4.3	-Curvas de intensidade, duração e tempo de recorrência	95
Figura 4.4	-Determinação dos requisitos	96
Figura 4.5	-Câmara de ensaios	101
Figura 4.6	-Detalhe da câmara de ensaios	102

Figura 4.7	-Circuito de alimentação do equipamento..	103
Figura 4.8	-Equipamento de ensaio de estanqueidade (CSTB)	105
Figura 4.9	-Equipamento de ensaio de estanqueidade (BSI)	107
Figura 4.10	-Fluxo de alimentação da câmara de ensa- ios	112
Figura 4.11	-Câmara de ensaios	113
Figura 4.12	-Disposição da câmara de ensaios	117
Figura 4.13	-Circuitos de alimentação da câmara	118
Figura 5.1	-Exemplo de combinação de intensidade de chuva	139
Figura 5.2	-Curva de distribuição de probabilidades.	140
Figura 5.3	-Relação entre a intensidade de chuva in- cidente e a velocidade do vento	144
Figura 5.4	-Parede 1 (sem revestimento, espessura 15 cm)	151

Figura 5.5	-Parede 2 (sem revestimento, espessura 15 cm)	152
Figura 5.6	-Parede 3 (sem revestimento, espessura 20 cm)	153
Figura 5.7	-Parede 4 (sem revestimento, espessura 20 cm)	154
Figura 5.8	-Parede 1 (sem revestimento, espessura 15 cm)	155
Figura 5.9	-Parede 2 (com revestimento, espessura 15 cm)	155
Figura 5.10	-Paredes 3 e 4 (com revestimento, espessura 20cm)	156

LISTA DE FOTOS

	pág.
Foto 01 -Detalhe da área de exposição da câmara	118
Foto 02 -Detalhe da barra de aspersão (sem aplicação de ar)	119
Foto 03 -Sistema de fornecimento de ar	120
Foto 04 -Sistema de fornecimento de água	120
Foto 05 -Sistema de esgotamento de água	121
Foto 06 -Sistema de medição e regulagem da vazão e pressão	122
Foto 07 -Fase "I" do ensaio	123
Foto 08 -Aproximação da câmara ao corpo de prova	124
Foto 09 -Fixação da câmara ao corpo de prova	125
Foto 10 -Detalhe da fixação	126

Foto 11	-Ajuste grosseiro da pressão de ar	127
Foto 12	-Ajuste fino da pressão de ar	128
Foto 13	-Ajuste grosseiro da vazão de água	129
Foto 14	-Ajuste fino da vazão de água	130
Foto 15	-Detalhe dos corpos de prova	131
Foto 16	-Mancha de umidade provocada por infiltração de água	132
Foto 17	-Avaliação da área umedecida	132
Foto 18	-Avaliação da área umedecida	133

LISTA DE TABELAS

	pág.
Tabela 1.1 -Divisão dos fenômenos patológicos em al- venarias exteriores em função de sua na- tureza	04
Tabela 1.2 -Incidência de manifestações patológicas.	04
Tabela 3.1 -Ordem de grandeza das aberturas.	21
Tabela 3.2 -Ordem de grandeza de forças de penetra- ção de água.	29
Tabela 3.3 -Importância relativa das diferentes esca- las meteorológicas nos estágios de deci- são.	31
Tabela 3.4 -Fator topográfico.	42
Tabela 3.5 -Classes de edificação.	43

Tabela 3.6	-Rugosidade do terreno.	43
Tabela 3.7	-Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura acima do terreno.	44
Tabela 3.8	-Fator estatístico.	44
Tabela 3.9	-Escolha do tipo de alvenaria em função da exposição à chuva.	59
Tabela 4.1	-Exigências do usuário.	79
Tabela 4.2	-Classificação e caracterização dos principais agentes atuantes na edificação.	82
Tabela 4.3	-Priorização dos requisitos.	84
Tabela 4.4	-Métodos e procedimentos para seleção de critérios de desempenho.	86
Tabela 4.5	-Fator S2.	93
Tabela 4.6	-Classificação em função da pressão de vazamento.	109
Tabela 5.1	-Classificação das chuvas.	137

Tabela 5.2	-Classificação adotada.	137
Tabela 5.3	-Classificação da velocidade do vento. ...	138
Tabela 5.4	-Distribuição de frequência da intensidade de chuva incidente.	141
Tabela 5.5	-Faixas de precipitação.	142
Tabela 5.6	-Intensidade de chuva das faixas.	142
Tabela 5.7	-Duração relativa média das faixas.	143
Tabela 5.8	-Duração das faixas.	143
Tabela 5.9	-Parâmetros de solicitação.	143
Tabela 5.10	-Parâmetros finais.	145
Tabela 5.11	-Parâmetros: duração, intensidade e velo- cidade.	146
Tabela 5.12	-Parâmetros: duração, vazão e pressão. ...	147
Tabela 5.13	-Parâmetros básicos de ensaio.	147
Tabela 5.14	-Características dos materiais utilizados.	149

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa do tema

Uma das mais antigas, senão a principal função da habitação, é proteger o homem das ações e intempéries climáticas.

Concebendo o edifício como habitação, o mesmo é dotado de uma interface a qual separa o ambiente interno (protegido) do ambiente externo (desprotegido). Essa interface denominada "envelope do edifício", tem a função de resistir as solicitações impostas pelos agentes externos (vento, chuva, ruído, etc), impedindo ou em alguns casos, amenizando a ação desses para o ambiente interno.

Uma parede de alvenaria, como elemento de fachada de um edifício, faz parte do envelope desse edifício sofrendo, portanto, a agressão de solicitações externas. Entretanto, a alvenaria também está sujeita a solicitações oriundas da utilização do meio interno pelo homem, como por exemplo: umidade, temperatura e ventilação (fig. 1.1).

Todo o conjunto de solicitações e ações citadas nos levam a conceber a alvenaria de fachada não como um simples elemento de separação entre dois ambientes. A alvenaria é um elemento de grande importância no desempenho das funções de envelope do edifício, respondendo pelo desempenho de uma série de requisitos no

que se refere a funções e solicitações impostas à mesma (capacidade de suporte, resistência à penetração da chuva, conforto térmico, conforto higrotérmico, conforto acústico, etc.) (fig. 1.1).

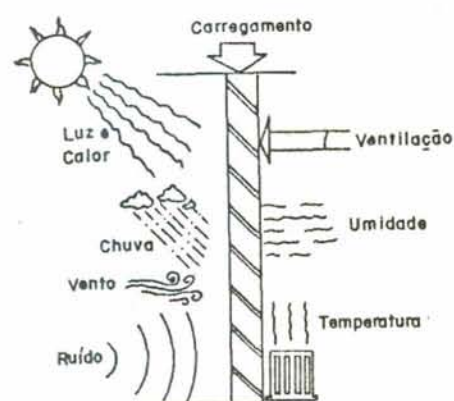


Fig. 1.1 - Solicitações impostas às alvenarias exteriores.

Nos últimos tempos, várias instituições de pesquisa têm estudado os fenômenos patológicos nas edificações. Basicamente a ocorrência de um fenômeno patológico é ocorrência direta da perda de desempenho do componente em questão.

Em 1976 o CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) analisou 1.200 problemas patológicos sendo que em relação aos tipos de problemas, houve maior incidência dos problemas relativos à umidade (37%), logo após problemas relativos a fissuração (16%) e descolamentos de revestimentos (15%) (fig. 1.2) [1].

Em um levantamento realizado pelo BUREAU SECURITAS sobre 12.200 fenômenos patológicos na França (1982) [2], obteve-se para o caso de alvenarias externas o índice de 21,4% dos fenômenos totais (o maior índice).

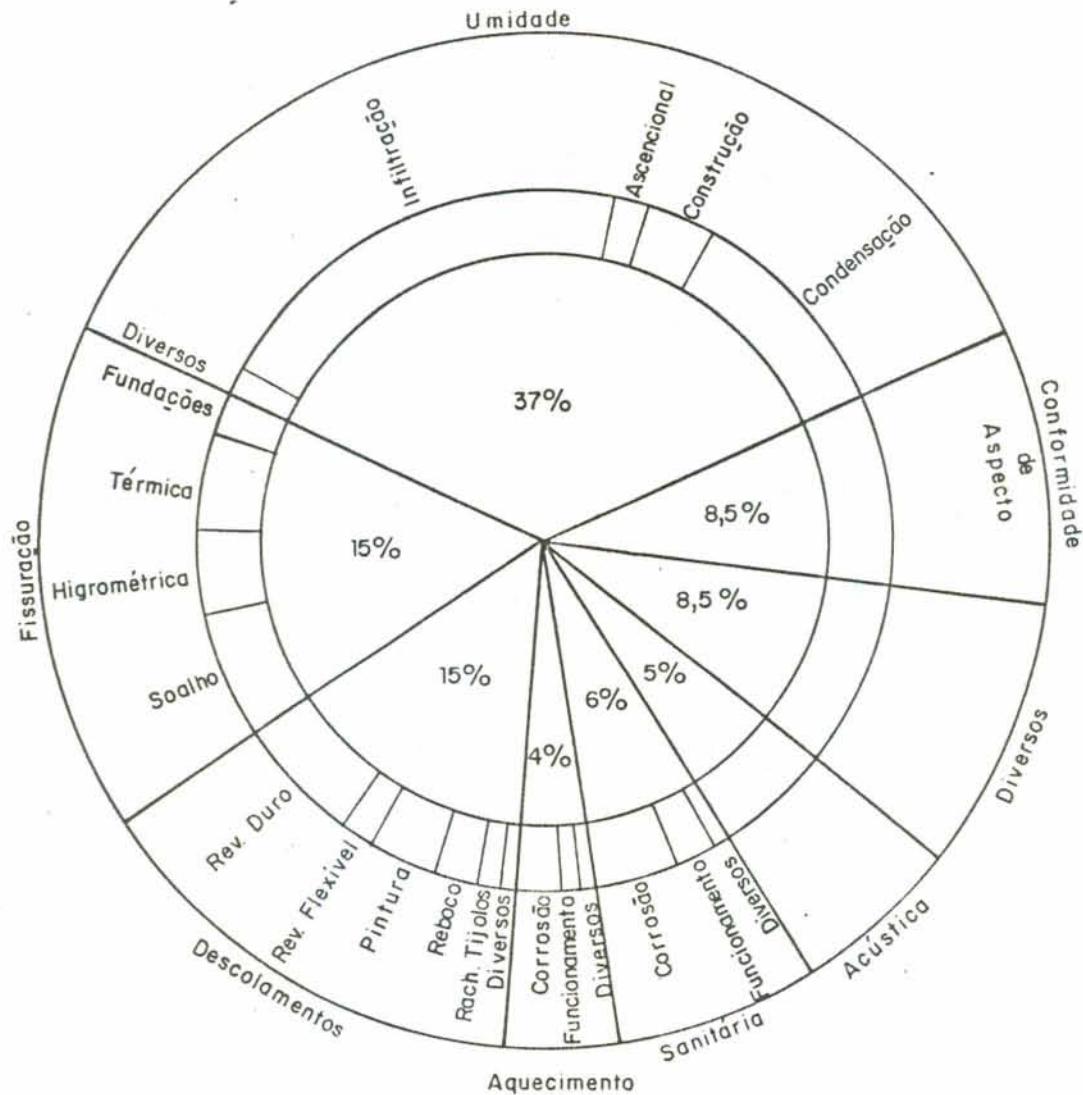


Fig. 1.2 - Distribuição dos tipos de problemas patológicos constatados.

No que se refere a divisão dos fenômenos (em alvenarias externas) em função de sua natureza temos a tabela 1.1.

Os fenômenos devidos a infiltração tiveram os maiores índices.

No Brasil temos o trabalho realizado no IPT em 1980 onde foram visitados 36 conjuntos habitacionais num total de 500 habitações. Os resultados são indicados na tabela 1.2 [3].

Tabela 1.1 - Divisão dos fenômenos patológicos em alvenarias exteriores em função de sua natureza.

Residências	Fenômenos que afetam a estabilidade	Fenômenos que não afetam a estabilidade (%)	
	(%)	Infiltrações	Outros
Individuais	2,8	31,0	29,6
Coletivas	0,1	5,7	4,2

* % relativos ao total de casos em alvenarias

Tabela 1.2 - Incidência de manifestações patológicas

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

A infiltração ou penetração da água através das alvenarias exteriores tem relação direta com 2 fatores:

- falta de avaliação do grau de exposição da parede ou "agressividade do meio externo".
- erros de concepção da parede (alvenaria) quanto a soli

citações a ela impostas.

Logicamente fatores diversos podem propiciar condições de modo a favorecer a infiltração da água pela alvenaria. Pode-se, por exemplo, ter o caso de que um excesso de carregamento provoque fissuras na alvenaria e a água penetre através dessas fissuras.

1.2 Objetivos do trabalho

Basicamente pode-se dividir em dois os objetivos principais do trabalho.

Como primeiro objetivo pretende-se analisar os fenômenos que envolvem a penetração da água da chuva em fachadas de alvenaria no que diz respeito à penetração da água pelo corpo da parede. Se pretende também ter condições de determinar e avaliar o grau de exposição da fachada frente a ação da chuva. Outro enfoque será dado nas características da alvenaria e seus componentes bem como dos fatores que podem influir na penetração da água da chuva.

Como segundo objetivo se procura utilizar um meio para avaliação da "estanqueidade" das alvenarias. Para isso se utiliza a metodologia de desempenho (descrita no capítulo 4), fazendo-se uma exemplificação e aplicação para as condições climáticas de Porto Alegre (capítulos 4 e 5).

CAPÍTULO 2

ALVENARIAS - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS BÁSICOS

2.1 - Introdução

É necessário se conhecer a forma como os elementos componentes da alvenaria se comportam no sentido de se ter uma alvenaria resistente a ação da chuva. Vários são os fatores e elementos a serem analisados.

2.2 - Concepção da alvenaria

Basicamente, o uso de diversos tipos de alvenaria com o intuito de resistência a penetração da chuva varia de local para local em função das condições de exposição. Assim é, que se utiliza certo tipo de alvenaria, por exemplo, no litoral e outro tipo de alvenaria em locais abrigados de vento e chuva.

Tal desenvolvimento é basicamente empírico baseado no "feed back" da utilização.

Em função disso, o CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment) sistematizou as alvenarias no que se refere a resistência a chuva da seguinte maneira [4]:

I. Alvenarias tipo I (fig. 2.1)

São alvenarias que não possuem :

- nenhum revestimento estanque sobre a face exterior;
- nenhuma interrupção da capilaridade da parede no sentido da espessura da alvenaria.

Com respeito a esse tipo de alvenaria não existe nenhum dispositivo capaz de se opor à infiltração de água pela parede. A estanqueidade a água está ligada diretamente à suscetibilidade da parede em absorver a água, sendo que a conservação da função estanqueidade depende diretamente da conservação da alvenaria em um bom estado.

II. Alvenaria tipo II (fig. 2.2)

São alvenarias que não possuem revestimento estanque sobre a superfície exterior, mas são dotados de dispositivo capaz de interromper a infiltração da água por capilaridade.

A conservação da estanqueidade é diretamente dependente da conservação de um bom estado da alvenaria.

Com respeito a essa alvenaria temos dois tipos:

a) Alvenaria tipo IIa

Nesse caso o dispositivo de interrupção da infiltração por capilaridade consiste em painéis não hidrófilos adequadamente posicionados.

b) Alvenaria tipo IIb

Nesse caso a interrupção da infiltração por capilaridade é feita por uma lâmina de ar contínua no interior da parede.

III. Alvenaria tipo III (fig. 2.3)

São alvenarias nas quais a parede exterior não é protegida por revestimento estanque, sendo duplicado por uma segunda parede (interior), separada da primeira por uma lâmina de ar contí

nua, possuindo dispositivos de coleta e evacuação para o exterior da água que eventualmente infiltra.

IV. Alvenaria tipo IV (fig. 2.4).

São alvenarias ditas estanques a chuva, sendo assegurada essa estanqueidade por um revestimento estanque situado na face externa da parede.

A característica principal dessa alvenaria é o fato de que uma fissuração eventual não acarreta diretamente em perda da estanqueidade.

A escolha de um ou outro tipo de alvenaria é derivada da especificação das condições de exposição (capítulo 3, item 3.3.3, tabela 3.8).

A concepção da alvenaria, portanto, deriva da análise das características dos materiais, disposições, formas de combinação de modo a se ter uma alvenaria estanque às condições de exposição existentes.

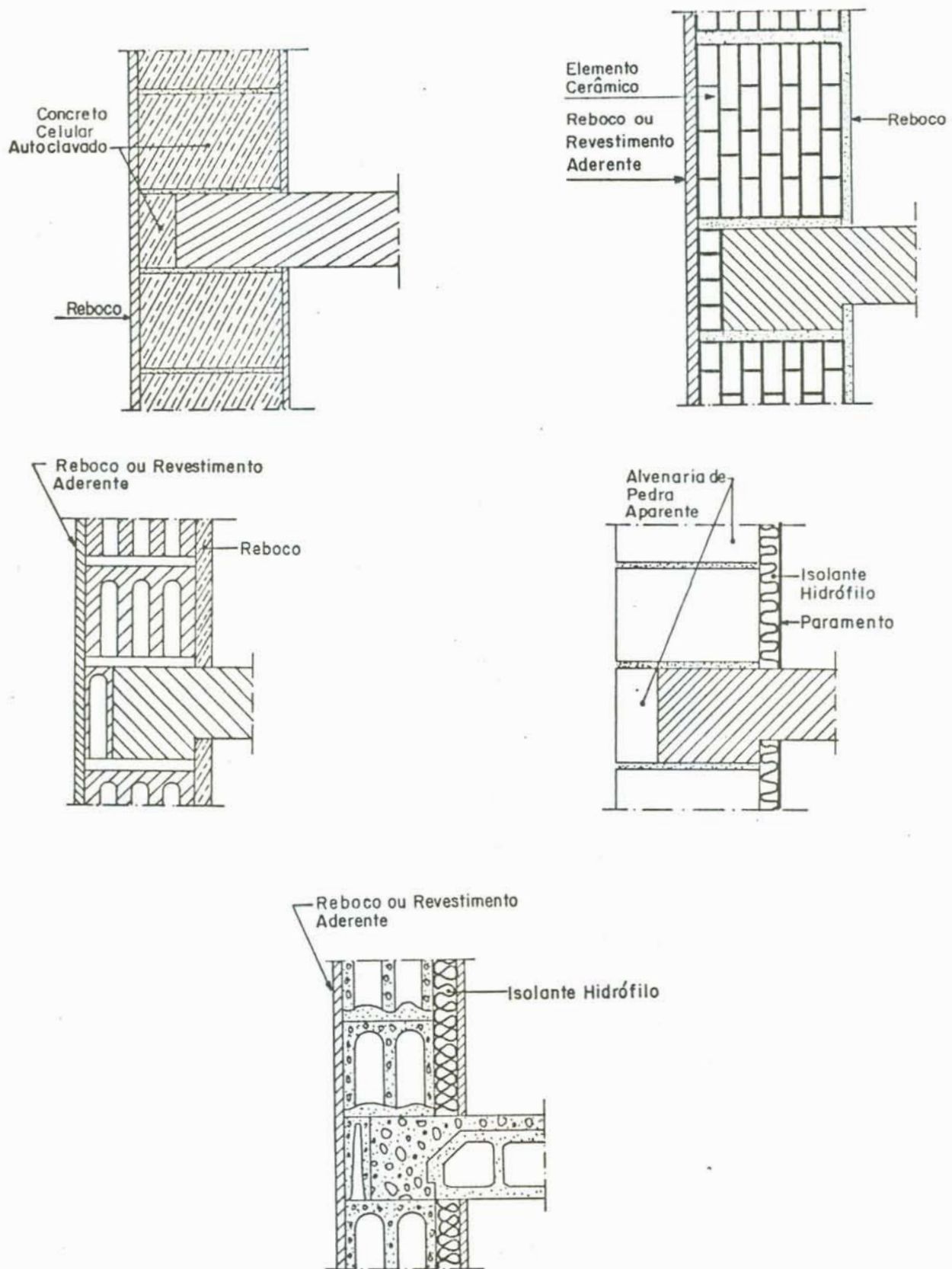


Fig. 2.1 - Exemplos de alvenaria tipo I.

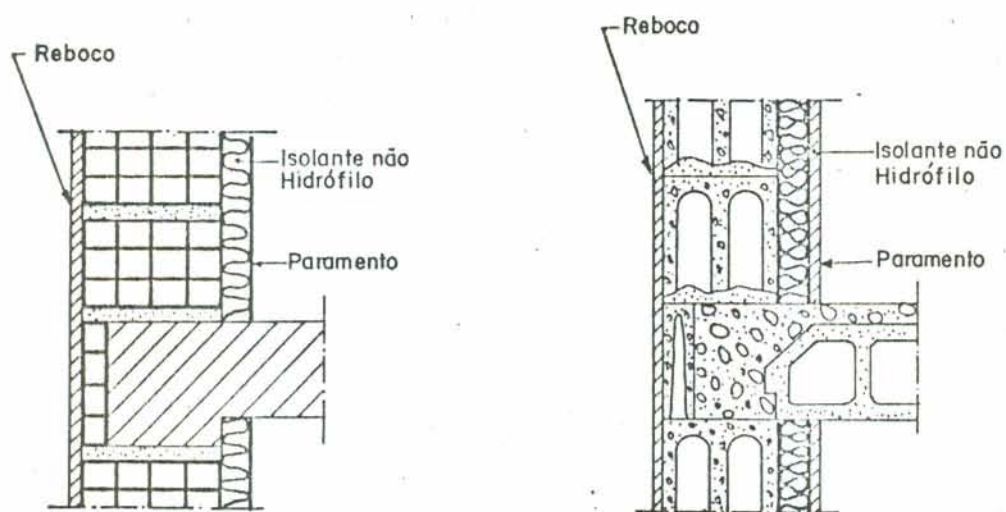


Fig. 2.2 (a) - Exemplos de alvenaria tipo IIa.



Fig. 2.2 (b) - Exemplos de alvenaria tipo IIb.

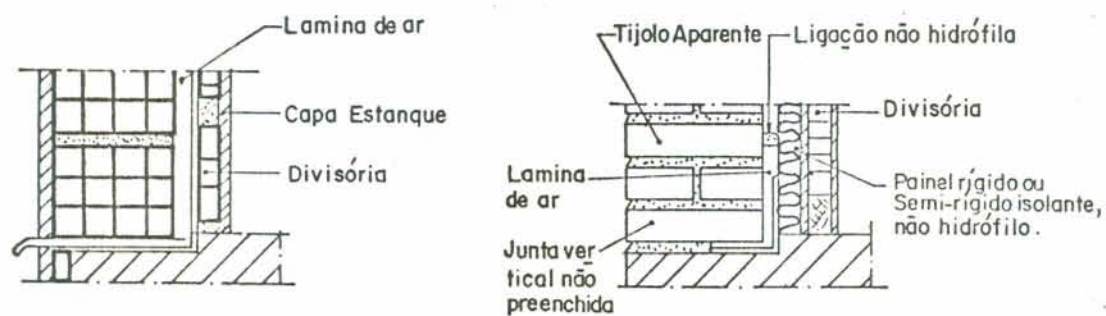


Fig. 2.3 - Exemplo de alvenaria tipo III.

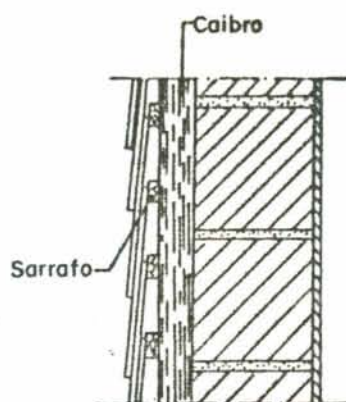


Figura 2.4 - Exemplo de alvenaria tipo IV.

2.3 Propriedades dos materiais

Vários fatores tem influência na estanqueidade da alvenaria no que se refere as características básicas dos materiais e ao processo construtivo.

2.3.1 Propriedades das argamassas de assentamento

As propriedades das argamassas variam grandemente em função de sua composição. Argamassa de cimento e areia (ou contendo um baixo teor de cal), geralmente desenvolvem rapidamente sua resistência (endurecimento) enquanto que argamassas de cal e areia tem uma lenta evolução da resistência.

As propriedades elásticas das argamassas também variam consideravelmente com a composição. O módulo de elasticidade de argamassas de cimento e areia corresponde a 6 a 8 vezes o módulo de elasticidade das argamassas de cal e areia. No caso de acomodação de movimentos diferenciais nos componentes da alvenaria, as propriedades elásticas da argamassa são muito importantes.

A penetração da chuva através da alvenaria na maioria dos casos ocorre através de pequenas fissuras entre a argamassa e o tijolo, sendo que essa alvenaria é bastante permeável caso receba incidência direta da chuva. A resistência a penetração da chuva depende de se obter um perfeito enchimento das juntas e uma boa ligação entre a argamassa e o tijolo [5,6].

Certas propriedades influem grandemente a natureza da ligação entre tijolo e argamassa, particularmente a extensão da ligação entre os dois materiais. Nesse respeito, propriedades de retenção de água e trabalhabilidade são de muita importância [5].

Retenção de água é a capacidade da argamassa de reter a água da mistura quando em contato com uma superfície absorvente (tijolo). Um tijolo tende a absorver água da argamassa. Se a argamassa perde água muito rapidamente para o tijolo, ela enrigece muito rapidamente, diminuindo sua trabalhabilidade, o que pode ocasionar uma má ligação com o tijolo.

Uma argamassa deve ter trabalhabilidade tal que permita um íntimo contato entre ela e o tijolo [7]. Daí a necessidade da utilização de argamassas com alta retenção de água para se manter a trabalhabilidade da argamassa e obter uma boa ligação entre os dois elementos.

Basicamente uma boa ligação ocorre quando se tem uma perfeita extensão da ligação. Consegue-se melhorar em muito a extensão de ligação quando se utiliza argamassas com alto teor de cal. A cal tem propriedades de retenção de água e sua utilização é recomendada no caso de se ter tijolos de alta absorção [5].

2.3.2 - Propriedades dos tijolos

As propriedades dos tijolos como também as da argamassa, tem grande influência na ligação entre eles.

A propriedade de maior relevância do tijolo é a absorção. Como citado no item anterior, tijolos de alta absorção absorvem grande quantidade de água da argamassa proporcionando uma diminuição da trabalhabilidade, e uma má ligação entre os elementos.

Basicamente é a absorção inicial do tijolo que influi nas características determinantes da ligação, o que implica no uso de argamassas de alta retenção de água.

A norma ASTM C67 - 80a "SAMPLING AND TESTING BRICK AND STRUCTURAL CLAY TILE" [8] especifica o procedimento para determinação da absorção inicial. Em termos gerais consiste em colocar em contato uma das faces do tijolo com uma superfície de água medindo-se o ganho em peso do tijolo pela absorção da água em 1 minuto.

Esse parâmetro é tão importante que pesquisadores [6,7,9,10] sugeriram a necessidade de se especificar a argamassa em função do índice de absorção do tijolo.

Um procedimento muito utilizado para se diminuir a absorção inicial quando da construção da alvenaria é umedecer (molhar) os tijolos previamente. Com isso se diminui a absorção da água da argamassa pelo tijolo.

Muitas vezes associa-se a resistência do tijolo com a "impermeabilidade" desse tijolo. Da análise de vários trabalhos

sobre permeabilidade de alvenarias, podemos constatar que paredes com tijolos de maior resistência apresentaram melhores resultados no que se refere a 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 apresenta índices de absorção bem menores. Em função de todos esses fatores a penetração de água será menor tanto através do tijolo (a absorção é menor) como pela interface tijolo-argamassa (maiores probabilidades de se ter uma boa ligação e extensão da ligação).

2.3.3 - Propriedades dos revestimentos

Em função da concepção do tipo de alvenaria, normalmente se define se o revestimento tem ou não papel responsável quanto a penetração da água em fachadas [9].

Nos ensaios realizados (capítulo 5) ficou evidenciada a necessidade de utilização de revestimento na fachada no sentido de melhorar o desempenho das alvenarias frente a ação da chuva. Resultados semelhantes foram encontrados em ensaios realizados no IPT em São Paulo [11]. Deve-se salientar que esses ensaios foram feitos em alvenarias simples (não duplas) sendo a única barreira a infiltração de água o conjunto tijolo-argamassa de assentamento.

Em termos gerais, o revestimento é concebido como um elemento auxiliar na estanqueidade "total" da alvenaria.

Na verdade, independente de sua natureza (a base de argamassa, cerâmica, etc.) o revestimento é uma barreira a mais no sentido de se aumentar a resistência à penetração da chuva. Como característica essencial podemos colocar a condição de manutenção de sua estabilidade sem ocorrências de fissuração, descolamentos ou outro fator que possa desagregar esse revestimento permitindo que a água possa penetrar.

2.3.4 - Manifestações patológicas

A penetração da água da chuva na alvenaria muitas vezes dá origem a fenômenos patológicos. Na verdade a própria penetração da água, ou infiltração, já é considerada uma manifestação. Nesse item abordaremos os principais mecanismos que podem dar origem a penetração da água da chuva nas alvenarias e alguns casos em que a presença de água ocasiona degradação das alvenarias.

2.3.4.1 Retração no estado fresco

Logo após o assentamento dos tijolos na parede, tem origem variações dimensionais (geralmente retrações). Esse tipo de retração ocorre quando a argamassa passa do estado plástico para o de endurecimento, devido a perda de água para o tijolo ou evaporação. Se isso ocorre muito rapidamente a argamassa enrijece (perdendo sua plasticidade), sendo que podem surgir retrações em pontos localizados gerando aberturas capilares através das quais a água pode penetrar [7].

2.3.4.2 Retração no estado de endurecimento

Sabe-se que com o decorrer do tempo a argamassa perde água por evaporação para o meio sendo esse fenômeno acompanhado do aumento de resistência e do surgimento de retrações (diminuição de volume). Nas primeiras idades a argamassa ainda não apresenta resistências significativas sendo que os esforços oriundos da retração podem dar origem a fissuras que podem ser pontos de penetração da água na alvenaria. Esse fenômeno ocorre basicamente em traços ricos em cimento [7].

2.3.4.3 Efeitos de movimentação devido a variações de umidade

Uma alvenaria de fachada está sujeita a variações climáticas ocorrendo períodos alternados de umedecimento e secagem. Umedecimento é acompanhado de expansão enquanto secagem é acompanhada de retração.

As variações dimensionais da argamassa (por efeito de umidade) são de ordem de grandeza bem maior que as variações dimensionais do tijolo.

Os movimentos diferenciais entre o tijolo e a argamassa não são suficientes para gerar uma fissura. Entretanto, caso exista uma má ligação entre tijolo e argamassa, ou uma fissura, esses podem ser aumentados devido a variações de umidade na alvenaria [7].

2.3.4.4 Movimentação térmica

Outro fator que pode gerar esforços diferenciados na al

venaria é a diferença entre os coeficientes de dilatação do tijolo e da argamassa. Esses coeficientes são bastante variáveis de tijolo para tijolo e de argamassa para argamassa.

Em termos médios o coeficiente da argamassa é superior ao do tijolo.

Segundo PALMER [7] para condições climáticas médias as variações dimensionais em função da variação de temperatura não tem um efeito tão grande quanto variações de umidade.

2.3.4.5 Movimentos estruturais

Acomodações em estruturas podem dar origem a fissurações nas alvenarias de modo a permitir a penetração da água.

A utilização de argamassas de cal (são mais flexíveis) permite, em muitos casos se evitar fissuração em pequenas acomodações.

2.3.4.6 Deterioração causada devido a ação de sais

Quando a fachada fica umedecida por longos períodos, alguns sais solúveis (presentes na argamassa ou tijolo) podem se dissolver e se depositar nos poros dos materiais. Alguns sais podem existir em diferentes estados, sendo que a transição de um estado para outro pode ser acompanhada de variações de volume. Se isso ocorre nos poros de material pode haver expansão havendo desagregação do material. Esse fenômeno pode ocorrer tanto com o tijolo como com a argamassa.

Em outros casos, os sais são carregados pela água até a superfície da alvenaria onde ficam depositados após a evaporação

da água. Esses sais depositam-se na forma de cristais de modo que ocorre desagregação da superfície para o interior da alvenaria. Esse fenômeno é conhecido como eflorescência [7].

2.3.4.7 Fissuração da alvenaria devido a expansão da argamassa

O processo é devido a expansão da argamassa de assentamento e conseqüente fissuração da alvenaria.

Basicamente a expansão ocorre no sentido vertical podendo ser identificada por fissuras horizontais no revestimento.

A expansão da argamassa de assentamento pode ser devido a reações químicas entre os constituintes da argamassa, ou entre os compostos do cimento e os tijolos. Podemos ter então [12]:

- reação de sulfatos do meio ambiente ou de componente da alvenaria com o cimento da argamassa
- hidratação retardada da cal dolomítica usada na argamassa
- agregados que contém argilo-minerais montmoriloníticos na fração fina.

CAPÍTULO 3

INCIDÊNCIA DA CHUVA SOBRE A ALVENARIA

3.1 Introdução

Os estudos do modo como a chuva incide sobre a fachada de um edifício, bem como a forma de ocorrência da penetração da chuva, são de natureza básica para avaliação da resistência da alvenaria a ação da chuva. Portanto, faz-se necessária uma abordagem tanto a nível geral como específico dos fatores e fenômenos envolvidos, bem como das leis e teorias existentes sobre o assunto.

3.2 Mecanismos de penetração da água sobre a alvenaria

A penetração da água da chuva em alvenarias está interrelacionada 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 (detalhes de projeto, defeitos, componentes, tratamento superficial, etc.).

Existem várias classificações propostas por vários autores, os quais procuram explicitar e sistematizar os elementos responsáveis pela penetração da água da chuva [13,14,15]. Na

verdade, existe um grande número de elementos, os quais, agindo singularmente ou em conjunto, apresentam uma ordem de classificação quanto a importância diferenciada para cada componente construtivo. Isso quer dizer que o modo pelo qual a água penetra é diferente para cada caso. Por exemplo, os elementos determinantes da penetração da chuva em uma junta de um painel pré-moldado são diferentes (diferenciados) dos elementos responsáveis pela penetração da água da chuva em um painel de alvenaria de tijolos.

GARDEN [15,16,17,18], estudando os mecanismos de penetração da chuva, sistematizou a penetração na ocorrência simultânea de três condições:

- água sobre a superfície da parede
- aberturas através das quais a água pode penetrar
- forças que obrigam a água a penetrar pelas aberturas.

Caso uma das condições acima não ocorra, a penetração da água não ocorre.

A primeira condição, de existência de água sobre a superfície da parede é suprida quando da ocorrência da precipitação. A incidência de chuva sobre a parede é maior ou menor em função das condições de exposição da parede (chuva, vento, orientação). Dependendo da absorção e da capacidade de "armazenagem" de umidade dos materiais de superfície, e também da taxa de precipitação de chuvas, um substancial filme de água pode ser formado e escoar pela face da parede. O escoamento desse filme é influenciado pela textura da superfície, gravidade e movimentação do ar ao longo da face da parede [16].

A segunda condição, de existência de aberturas para penetração da água é satisfeita devido a existência na face da parede de: poros, fissuras, rachaduras, interfaces e juntas mal ligadas entre materiais ou elementos [16,17]. Deve-se salientar que certas "aberturas" são características dos materiais, como é o caso dos poros (os materiais de construção são porosos em sua grande maioria), enquanto que outras "aberturas" são oriundas de defeitos que muitas vezes são difíceis de se evitar, como é o caso das fissuras. Também deve ser ressaltada a existência de aberturas de ordem construtiva, como é o caso das juntas de dilatação, as quais podem apresentar suscetíveis a penetração da água desde que apresentem problemas de vedação.

Para dar uma ordem de grandeza dimensional das "aberturas" apresentamos a seguinte classificação [19]:

Tabela 3.1 - Ordem de grandeza das aberturas

Classificação	Dimensão
Poros	10^{-9} a 10^{-3} $0,28 \times 10^{-9} \text{ m} < \phi < 0,013 \times 10^{-3} \text{ m}$
Fissuras	10^{-3} a 10^{-3} $0,013 \times 10^{-3} \text{ m} < \phi < 1,0 \times 10^{-3} \text{ m}$
Rachaduras	10^{-3} $1,0 \times 10^{-3} \text{ m} < \phi$

ϕ -> abertura

Desde que exista água sobre a superfície da parede e aberturas, não ocorrerá penetração da água a menos que uma força ou combinação de forças seja capaz de induzir a água a penetrar através das aberturas (terceira condição). A perturbação causada por uma força em uma abertura de pequena dimensão (poro), cheio de água é demonstrado na figura 3.1.

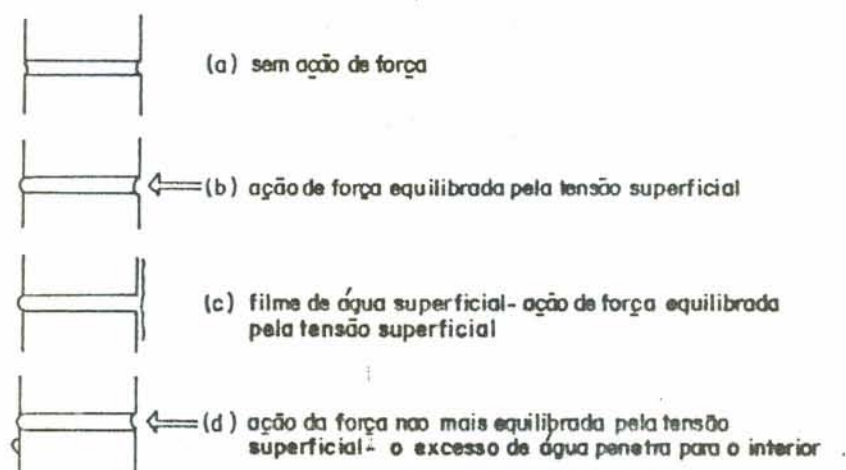


Figura 3.1 - Ação de uma força em um capilar cheio de água.

As forças que contribuem para a penetração da chuva podem ser classificadas da seguinte maneira [16,17,20]:

- forças de absorção capilar
- forças de gravidade
- forças externas

Por sua vez as forças externas se subdividem em:

- forças de inércia das gotas incidentes contra as facha

das.

- pressão do vento

Todas essas forças podem atuar combinadas ou em separado produzindo a penetração da água da chuva. A faixa em que cada força é mais significativa é delimitada através das dimensões das aberturas, diferenciando-se, portanto os processos ou mecanismos de penetração da chuva.

GARDEN [16] representou esquematicamente os fatores que influenciam a penetração da água da chuva pelas fachadas e associou a eles faixas dimensionais (aberturas) para as quais eles se tornam relevantes (fig. 3.2).

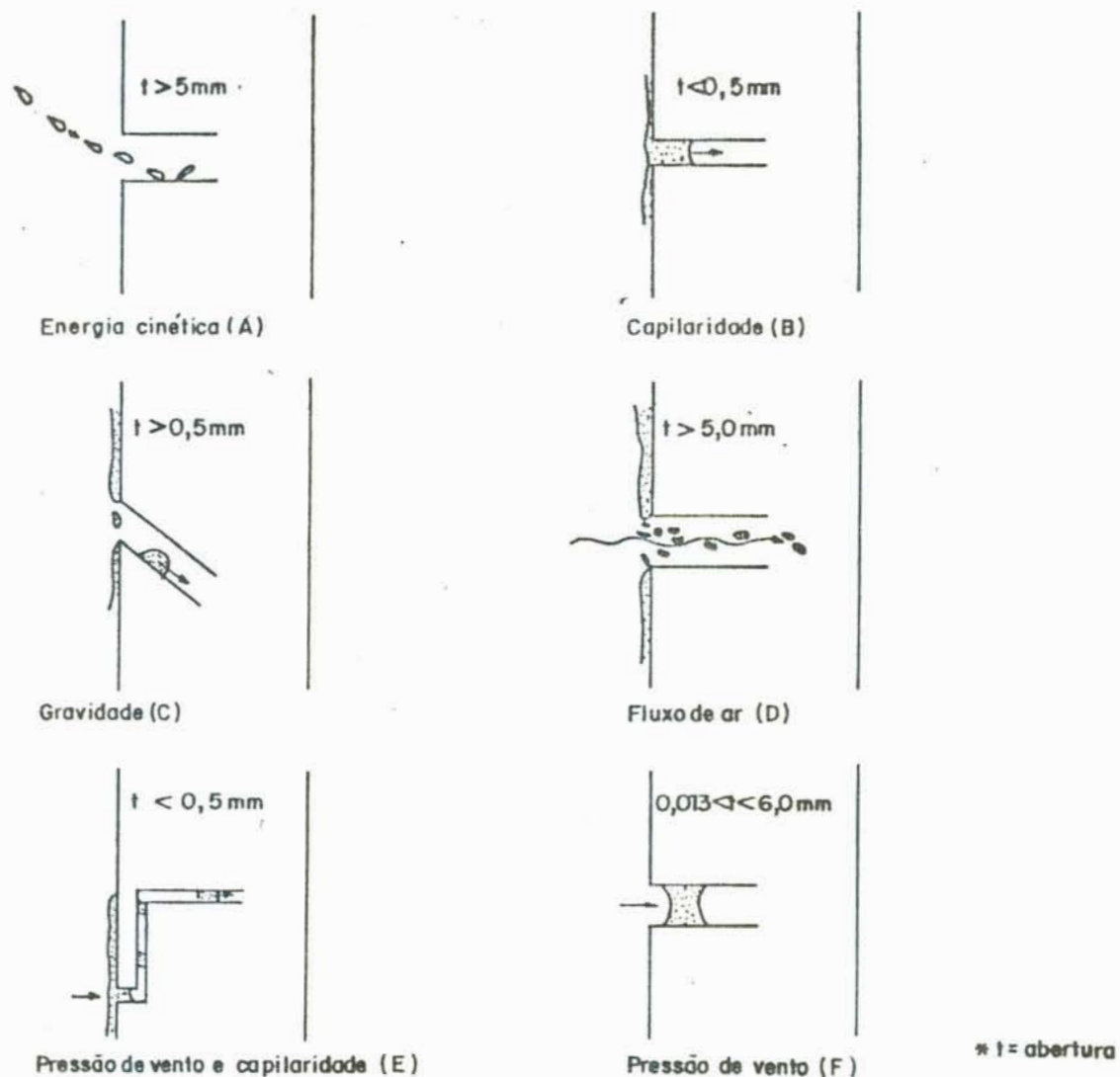


Figura 3.2 - Forças produzindo penetração da chuva.

3.2.1 Forças de absorção capilar (capilaridade)

O processo de absorção por capilaridade tem início quando a chuva incide na superfície externa da fachada. Caso a taxa de incidência da chuva seja menor que o potencial de absorção da pa-

rede, a quantidade de água absorvida depende somente da intensidade da chuva, e toda chuva incidente é absorvida. Se a taxa de absorção é menor que a da chuva, forma-se um filme de água sobre a superfície, e a água em excesso escorre para baixo devido a força gravitacional [13].

A absorção capilar age no sentido de succionar a água da superfície para o interior dos poros do material. Quando um material se aproxima da saturação, a absorção capilar se aproxima de zero. A água absorvida não tem tendência para se deslocar, para dentro ou para fora, a menos que uma força diferencial externa seja introduzida (gravidade, pressão diferencial de ar) [16].

Finos poros capilares ($> 0,01\text{mm}$) succionam um pequeno volume de água com uma força de absorção capilar elevada. Um grande volume de água, entretanto, é succionado através de aberturas maiores como fissuras, interfaces mal ligadas, etc, 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, de baixa magnitude, age em conjunto com a força de absorção capilar [16].

A força de absorção capilar, que atua sobre os poros de um material hidrófilo, é devida a uma ação combinada entre a tensão superficial da água e a força de adesão das moléculas de água com as paredes dos poros [20].

Um material é considerado hidrófilo quando a adesão água-superfície de material é forte (o material é facilmente molhado pela água). Se a adesão água-superfície do material é fraca, a água não entra facilmente em contato com o material, sendo o ma-

terial denominado hidrófugo [19]. A força de adesão água-superfície do material também é denominada de força de absorção [11].

As forças de adesão entre as moléculas de água e as paredes dos poros nada mais são que forças de atração molecular, normais à parede do poro. A figura 3.3 mostra o sistema de forças atuantes sobre uma molécula de água M, o qual é responsável pela formação do menisco.

A - adesão
C - coesão
F - resultante

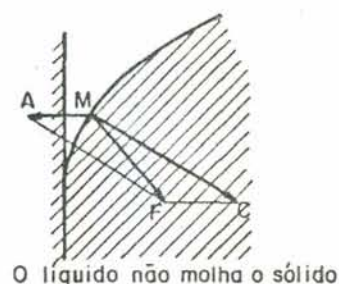
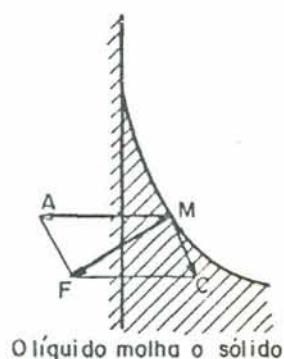


Figura 3.3 - Sistema de forças sobre uma molécula de um líquido em contato com um sólido.

A tensão superficial é um fenômeno físico que caracteriza a superfície da água agindo como se fosse uma membrana tracionada. Esse comportamento é oriundo de um desequilíbrio entre as interações moleculares na superfície [20].

Uma molécula de água, basicamente pode assumir duas posições distintas (fig. 3.4). No caso 1, a molécula de água tem atrações iguais em todas direções e sentidos sendo a atração re-

sultante neta. No caso 2 a força exercida pelo conjunto de moléculas contidas na superfície livre do líquido não está equilibrada, sendo que as forças superficiais não equilibradas servem para reforçar as ligações laterais entre as moléculas, tendo origem a tensão superficial [19] (Fig 3.5).

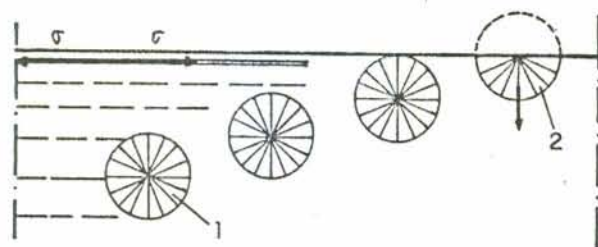


Figura 3.4 - Tensão superficial.

Energia livre utilizada para reforçar as ligações laterais

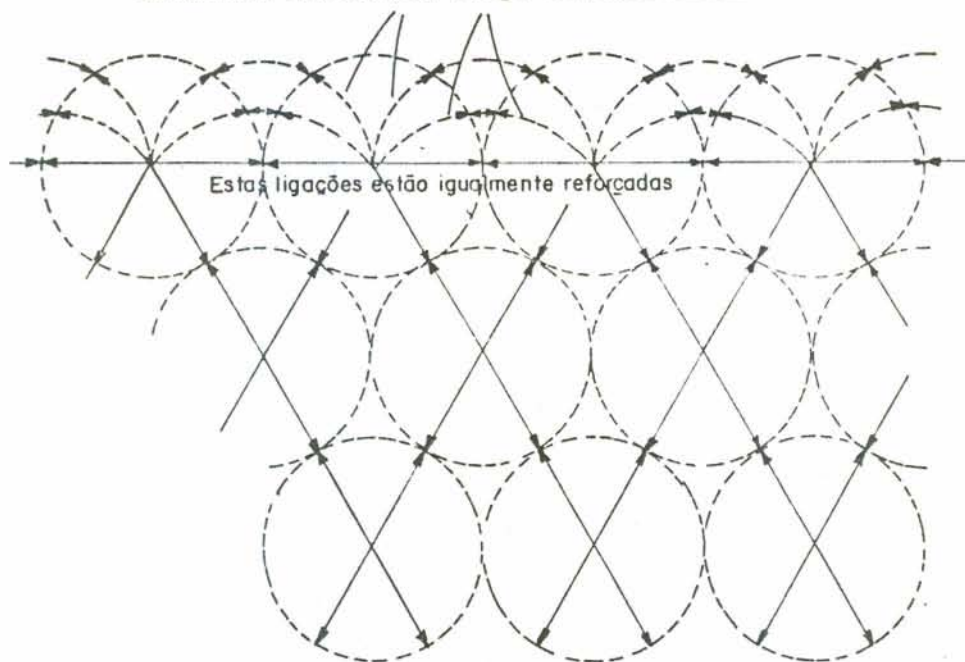


Figura 3.5 - Ligações superficiais não equilibradas são origem à tensão superficial.

Analicamente podemos expressar a força de aspiração ou expulsão capilar da seguinte maneira [20].

I. Para um poro de seção circular

$$P_c = \pm \frac{\sigma \cdot 4 \cos \theta}{d} \quad [N/m^2] \quad (\text{eq. 1})$$

onde:

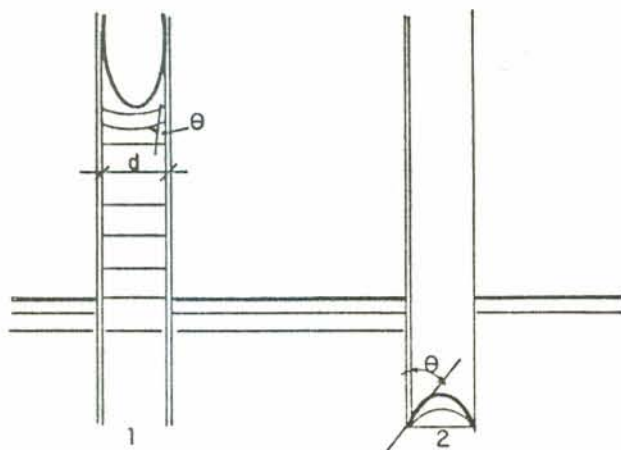
- σ - tensão superficial 0,075 N/m²
- d - diâmetro do poro (m)
- θ - ângulo de contato menisco d'água - parede de poro (fig.3.6)
- + - força expulsão (mat. hidrófugo)
- - força absorção (mat. hidrófilo)

II. Para uma abertura linear entre duas superfícies (fissura)

$$P_c = \pm \frac{\sigma \cdot 2 \cos \theta}{d} \quad (\text{eq. 2})$$

onde:

- σ - tensão superficial 0,0075 N/m²
- d - espaçamento entre as superfícies (abertura da fissura) (m)
- θ - ângulo de contato menisco d'água-parede do poro (fig.3.6)
- + - força de expulsão (mat. hidrófugo)
- - força de absorção (mat. hidrófilo)



Capilaridade
1 - Aspiração
2 - Expulsão

Figura 3.6 - Ângulo de contato.

A título de comparação de ordens de grandeza colocamos a seguinte exemplificação (tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Ordem de grandeza de forças penetração de água

Abertura	Pressão 2 [N/m ²]
Poros -6 d = 10 μm	282.000
Fissura -4 d = 10 μm	1.400
Fissura -3 d = 10 μm	141
Pressão vento* (10m/s=36m/h)	63
Pressão vento* (25m/s=90m/h)	391

* NBR 6123 $\theta = 20^\circ$ (argamassa) [9]

3.2.2 Forças de gravidade e externas

A força da gravidade agindo na água sobre a superfície da fachada ou nas aberturas de maior dimensão irá propiciar a penetração da água desde que o fluxo de água encontre uma abertura em posição descendente (fig. 3.2.c). O fluxo de água também pode ser dirigido para o interior das aberturas através de irregularidades na superfície [16].

Sobre a influência 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 largas aberturas (fig. 3.2.a). Caso a abertura seja pequena, a gota irá se subdividir em gotículas devido ao impacto, sendo que essas pequenas gotas podem penetrar pela abertura. Entretanto, caso não

exista abertura suficiente, a água não pode penetrar por esse meio exclusivamente [16].

As forças de vento atuam no sentido de empurrar a água que está sobre a superfície para o interior da parede através de poros e fissuras (aberturas). Basicamente a pressão externa devido ao vento é maior que a interna favorecendo-se a penetração da água [13].

3.3 Exposição da parede

Proteger o espaço interior de uma edificação contra a chuva e o vento é uma das funções principais das fachadas e telhados [15]. Portanto esses elementos ficam expostos a essas intempéries e devem apresentar resistência a penetração das mesmas.

A exposição da fachada, no caso da incidência da chuva sobre a parede, é traduzida pelo grau de exposição da parede frente ao intemperismo. A ação das intempéries (chuva e vento) sobre uma parede é diferenciada da ação sobre outra parede devido a vários fatores como: orientação da fachada, dinâmica de fluxos de ar, proteções de fachada, forma do edifício, etc.

No que se refere aos fenômenos meteorológicos é interessante colocar que o meio ambiente de um dado local ou um dado edifício, é o resultado de vários processos físicos agindo em diferentes escalas. Assim, a circulação geral da atmosfera e as características geográficas em grande escala de cada continente ou país formam as condições climáticas básicas. Fatores regionais ou

locais, naturais ou feitos pelo homem, causam variações em tempo e espaço das condições básicas. O nível em relação ao qual essas variações devem ser levadas em conta, bem como a escolha de valores específicos associados a uma probabilidade de ocorrência, é dependente do tipo de análise que se procura fazer. Em relação aos diferentes tipos de processos físicos envolvidos na interação entre atmosfera e superfície, três escalas podem ser distinguidas [22]:

I) Macro-escala (macroclima) - análise a nível regional procurando-se diferenciar regiões climáticas a nível de país.

II) Escala local (clima local) - análise a nível local (cidade) das condições climatológicas.

III) Micro-escala (microclima) - análise a nível específico (edifício, e/ou vizinhança) dos processos que determinam a ação dos elementos meteorológicos sobre os edifícios em lugares determinados.

LACY [22] propõe a seguinte classificação da importância das escalas no estágio de utilização dos dados meteorológicos (tabela 3.3)

Tabela 3.3 - Importância relativa das diferentes escalas meteorológicas nos estágios de decisão

	Macroescala	Escala local	Microescala
Planejamento regional	dominante	*importante	menos importante
Planejamento urbano	importante	dominante	importante
Seleção do local e projeto do edifício	**importante	importante	dominante

* escala local pode ser dominante em regiões de topografia acidentada.

** macroescala pode ser dominante para normalização (incluindo procedimentos de projeto e propriedades dos materiais)

Para a análise das condições de exposição da fachada frente a chuva é necessário se fazer um estudo dos elementos meteorológicos pertinentes (chuva e vento) a nível de microclima, ou seja, a nível do edifício.

3.3.1 Chuva incidente sobre a fachada

A chuva sobre superfícies verticais é caracterizada pela interação entre chuva e vento. As gotas de chuva são defletadas de sua trajetória vertical pela ação do vento, de modo a incidir sobre as superfícies verticais. Na ausência de vento, a chuva cairia verticalmente, sendo que a proteção dada pelos beirais seria suficiente para proteger a parede inteira da chuva. Essa situação exigiria uma condição extremamente calma quanto ao regime de ventos, o que, se não for impossível é extremamente raro [14,21,19,23] fig. 3-7.

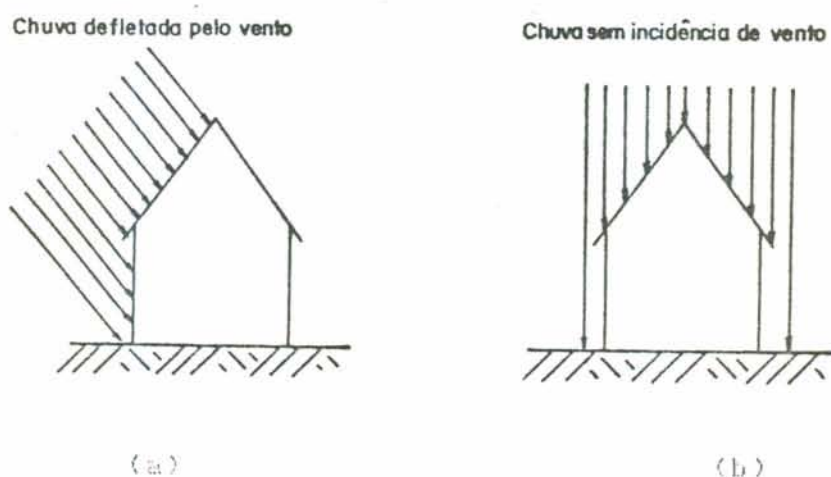


Fig. 3.7 (a) - Chuva defletada pelo vento.

(b) - Chuva vertical

A chuva incidente pode ser definida como a chuva conduzida pelo vento de modo a incidir sobre uma superfície vertical a um determinado ângulo [15,24,25]. O ângulo o qual a chuva incide sobre a parede depende da combinação da velocidade do vento e do tamanho da gota de chuva (fig. 3.8) [14,24,26].

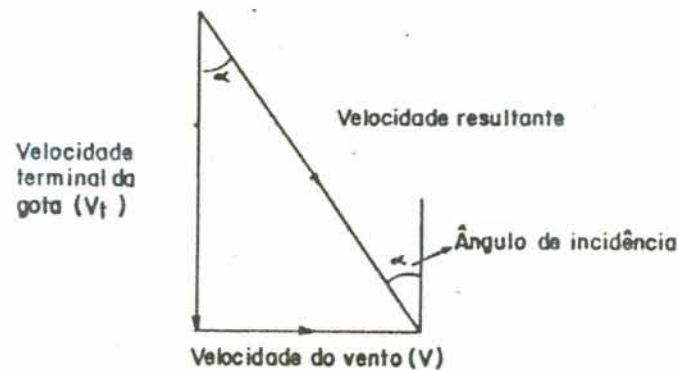


Fig. 3.8 - Sistema de forças atuantes sobre uma gota de chuva

Conforme LACY [13] em uma situação perfeitamente calma as gotas de chuva caem verticalmente com uma velocidade que depende do tamanho da gota. Conforme os estudos de BEST (1950) [24], todas as gotas de chuva, próximas da superfície terrestre, caem com uma velocidade terminal que depende de seu diâmetro (fig. 3.9). Fica fácil, então, de posse da velocidade vertical da gota e da velocidade do vento, de determinar o ângulo de incidência da gota sobre a superfície vertical. Entretanto uma chuva normalmente contém gotas de um grande número de tamanhos. LAWS e PARSONS [24] determinaram curvas de distribuição demonstrando típicas proporções de tamanho (diâmetro) das gotas em três faixas de intensidade de chuva (fig. 3.10).

LAWS e PARSONS desenvolveram uma relação empírica entre a intensidade de chuva e o tamanho médio da gota [24] (fig.3.11)

$$D_m = 1,238 \cdot rh^{0,182} \quad (\text{eq. 3})$$

onde:

D_m -> diâmetro médio (mm) horizontal

rh -> intensidade de chuva horizontal (mm/h)

A relação entre a intensidade de chuva sobre uma superfície vertical (rv) e a intensidade horizontal (rh) ao nível do solo é a mesma que a relação entre a velocidade do vento (v) e a velocidade vertical da gota (vt) [24]. Analiticamente temos:

$$\frac{rv}{rh} = \frac{v}{vt} = \tan \alpha \quad (\text{eq. 4})$$

* ver fig. 3.8

Combinando as relações entre o diâmetro médio das gotas (D_m) e a intensidade de chuva horizontal (rh) (eq. 3) com a relação entre o diâmetro e a velocidade vertical (vt) determinada por BEST (fig. 3.9) [24] têm-se:

$$V_t = 4,505 rh^{0,123} \quad (\text{eq. 5})$$

onde:

V_t -> velocidade terminal da gota (m/s)

rh -> intensidade da chuva horizontal (mm/h)

Associando a expressão da equação 5 com a relação da equação 4 têm-se:

$$rv = 0,222 V rh^{0,88} \quad (\text{eq. 6})$$

onde:
 rv -> intensidade de chuva vertical (mm/h ou l/m² h)
 V -> velocidade do vento (m/s)
 rh -> intensidade de chuva horizontal

Essa relação pode ser expressa graficamente conforme a figura 3.12.

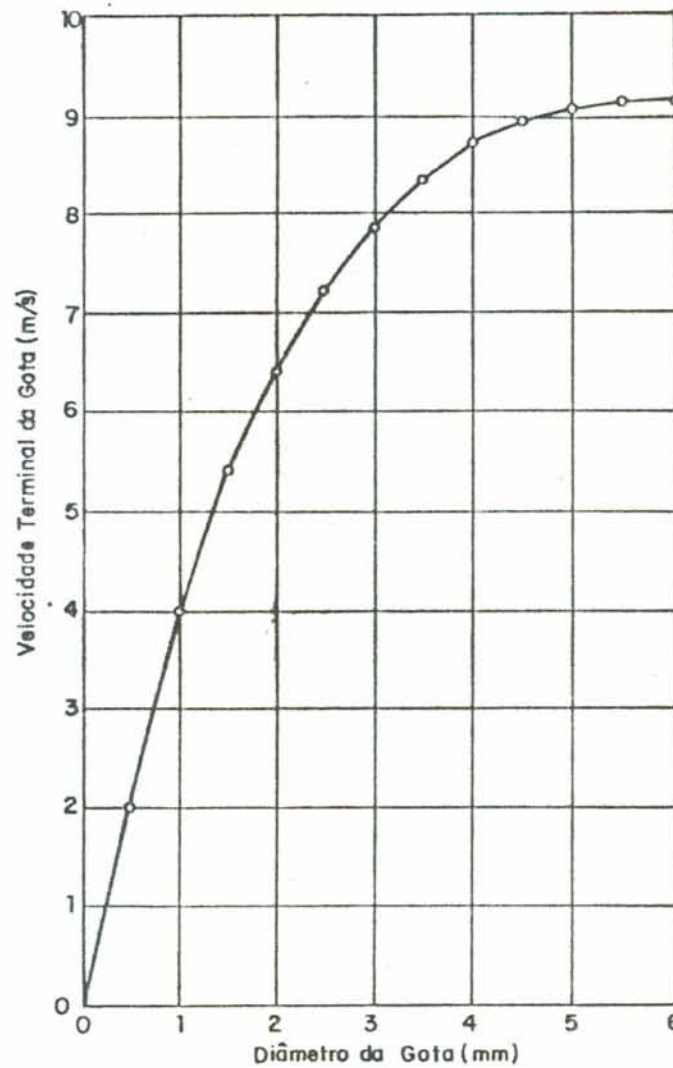


Fig. 3.9 - Relação entre o diâmetro e a velocidade terminal da gota.

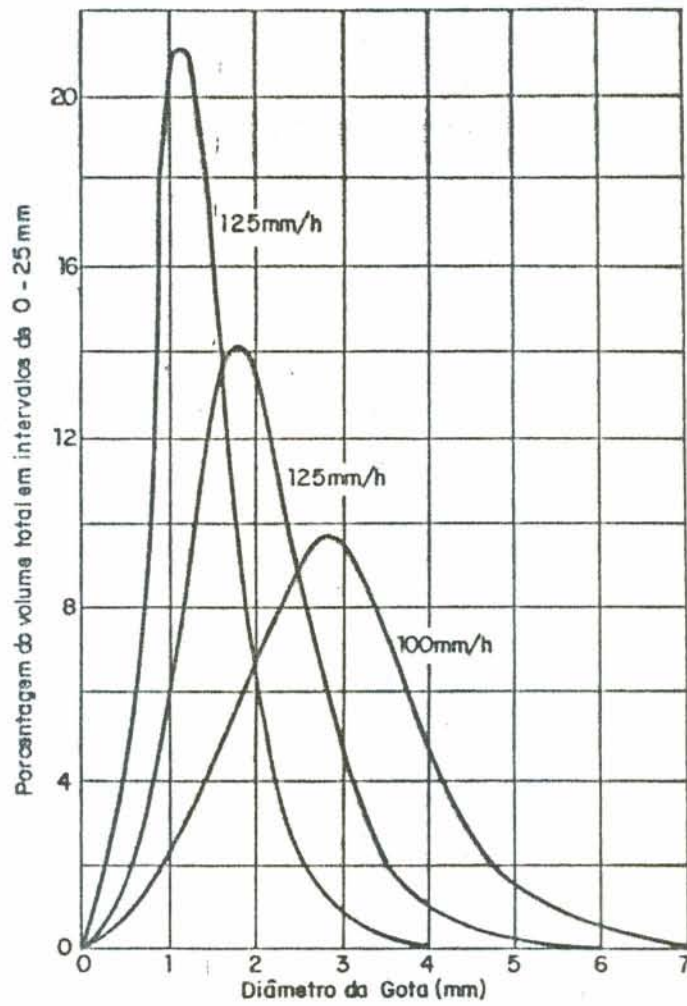


Fig. 3.10 - Curvas de distribuição típicas dos diferentes tamanhos de gota para três taxas de intensidade de chuva.



Fig. 3.11 - Relação entre a taxa de intensidade de chuva e o diâmetro médio da gota.

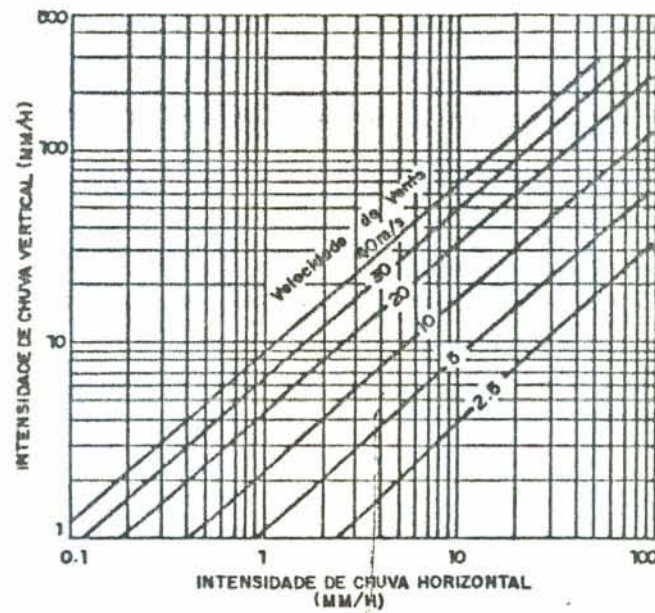


Fig. 3.12 - Relação entre a intensidade de chuva em uma superfície vertical, intensidade de chuva horizontal e velocidade do vento.

Deve-se salientar que essa análise teórica não leva em conta aspectos relativos a diferenças de fluxo de ar sobre a parede, aerodinâmica dos edifícios e fatores dessa ordem. Considera-se que não existe deflexão do vento ou gotas de chuva da superfície vertical [24].

SNEYERS e outros [26] propuseram uma abordagem um pouco diferenciada da análise da chuva incidente em superfícies verticais. Definiu-se um índice de chuva incidente como o produto da intensidade de chuva horizontal pela velocidade horizontal do vento (eq. 7).

$$PB = RN \times V \quad (\text{eq. 7})$$

onde:
 PB -> índice de chuva incidente (m²/h)
 RN -> intensidade de chuva horizontal (mm/h)
 V -> velocidade do vento (km/h)

Considerando válida a relação da equação 4 temos:

$$\frac{RS}{RN} = \frac{V}{Vt} \quad (\text{eq. 8})$$

onde:
 RS -> intensidade de chuva vertical (mm/h)
 RN -> intensidade de chuva horizontal (mm/h)
 V -> velocidade do vento (km/h)
 Vt -> velocidade vertical das gotas (km/h)

Podemos escrever então:

$$RS = \frac{RN \cdot V}{Vt} \quad (\text{eq. 9}) \quad (\text{mm/h ou l/m}^2 \text{ h})$$

A velocidade vertical das gotas é fixada no valor de 25,2 km/h (7m/s) correspondendo a uma gota de 2mm de diâmetro [26].

A diferença básica entre a teoria proposta por LACY [24] e a teoria de SNEYERS [26] está no fato de que enquanto LACY considera os diferentes tamanhos de gotas de chuva e a sua variação de acordo com a intensidade da chuva, SNEYERS considera um tamanho de gotas fixo (consequentemente velocidade vertical fixa).

Têm sido desenvolvidos vários equipamentos a fim de se medir a chuva sobre superfícies verticais e se poder tirar conclusões sobre a chuva incidente efetiva comparada com a chuva teórica ao ar livre. Esses equipamentos constituem-se basicamente de uma superfície coletora e de um dispositivo de medição da

quantidade de água da chuva incidente sobre a superfície vertical (fig. 3.13). Posicionando-se esses dispositivos em vários pontos da fachada pode-se avaliar a distribuição efetiva da chuva incidente sobre a fachada (fig. 3.14).

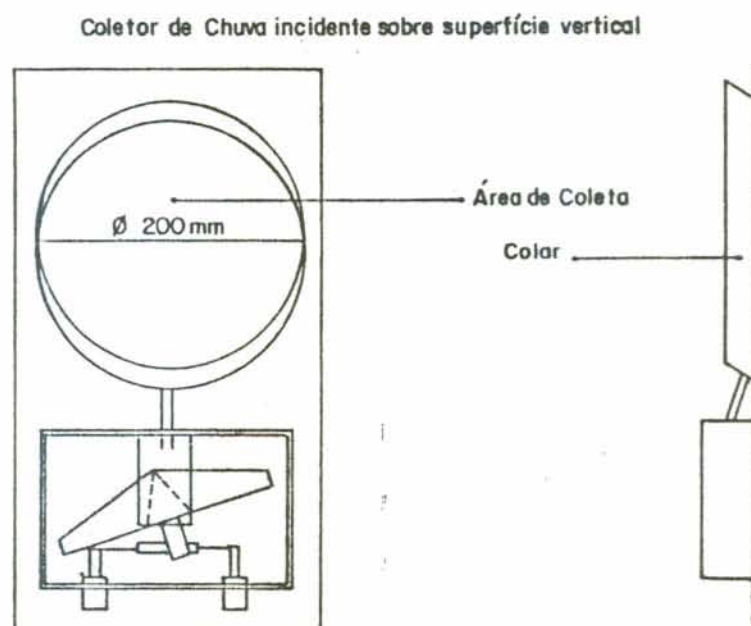


Fig. 3.13 - Exemplo de coletor de chuva incidente sobre superfície.

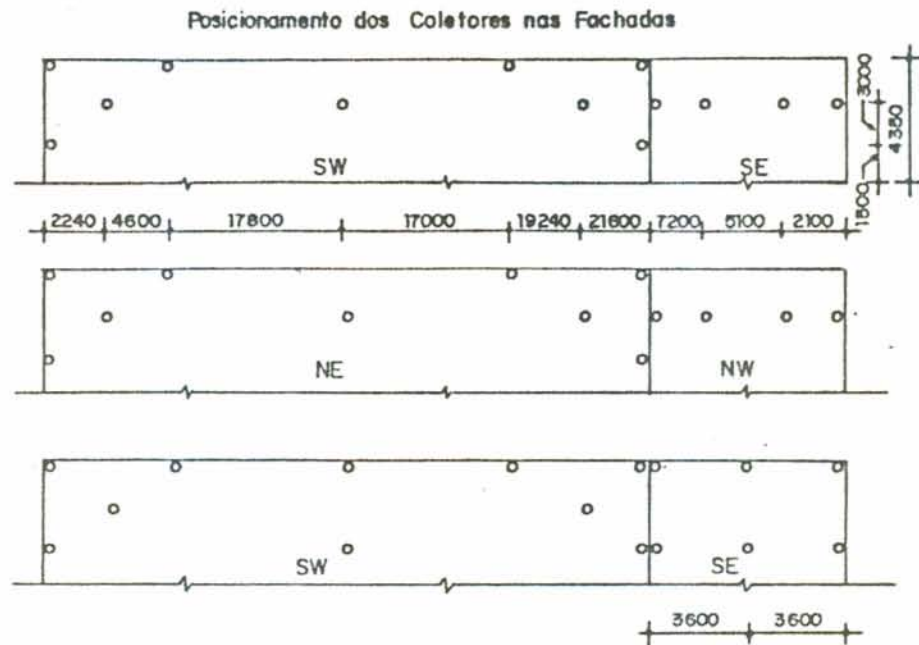


Fig. 3.14 - Posicionamento dos coletores nas fachadas.

3.3.2 Ação do vento sobre as fachadas

O vento agindo sobre as edificações, tem sido considerado como o elemento responsável pela incidência das gotas de chuva sobre as superfícies verticais (item 3.3.1). Portanto, ao se analisar a exposição da parede frente a ação da chuva, fez-se necessário analisar a dinâmica de fluxos de ar sobre a parede.

Os movimentos de ar da atmosfera terrestre, a grandes alturas em relação a superfície, são controlados, em larga escala, por padrões climáticos. Entretanto, a alturas menores, em relação a superfície, o atrito devido a rugosidade da superfície, modifica o fluxo e produz uma camada de ar (300 a 500m da superfície), na qual ocorre um gradiente de velocidades; uma diminuição da velocidade média do fluxo de ar com a diminuição da altura, chegando a um valor nulo na superfície do terreno (fig. 3.15) [28].

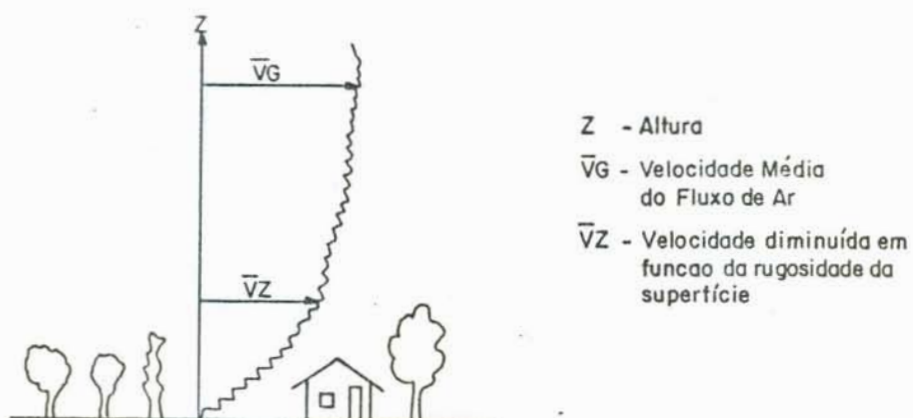


Fig. 3.15 - Gradiente de velocidade de vento em função da altura.

A fim de quantificar os esforços produzidos pelo vento nas edificações, a norma NBR 6123/ FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES [28] propõe uma metodologia específica para a análise da ação estática do vento.

As forças devidas ao vento são determinadas a partir da velocidade básica do vento conforme segue [28]:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{eq. 10})$$

onde:

V_k -> velocidade característica do vento (m/s)

V_0 -> velocidade básica do vento (m/s). (fig. 3.16)

S_1 -> fator topográfico (tabela 3.4)

S_2 -> fator de rugosidade, dimensão da edificação e altura sobre terreno (tabelas 3.5, 3.6 e 3.7)

S_3 -> fator estatístico (tabela 3.8)

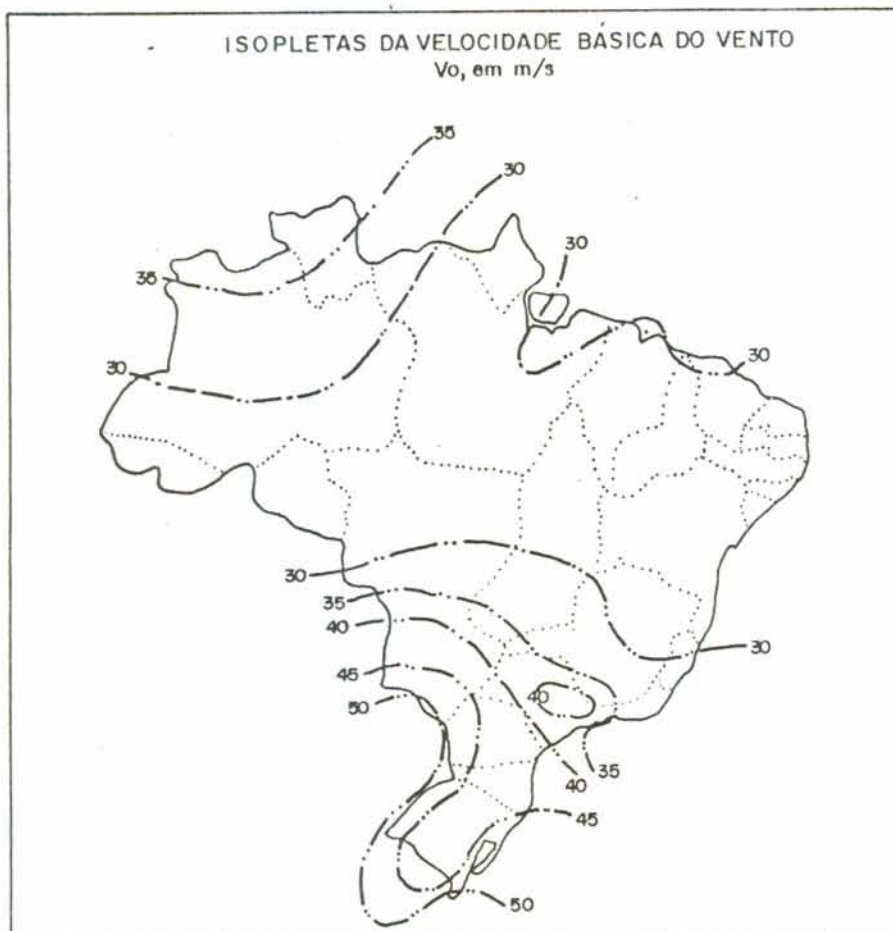


Fig. 3.16 - Velocidade básica do vento.

Tabela 3.4 - Fator topográfico

Topografia	S1
a Todos aos casos, exceto os seguintes	1,0
b Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento.	1,1
c Vales profundos, protegidos de todos os ventos	0,9

Tabela 3.5 - Classes de edificação

Classe A	todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Todas as edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 metros.
Classe B	Todas edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical esteja entre 20 e 50 metros.
Classe C	Todas edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical exceda 50 metros.

Tabela 3.6 - Rugosidade do terreno

Rugosidade 1	grandes zonas de terreno aberto, em nível ou aproximadamente em nível sem obstruções. Exemplos: - zonas costeiras planas; - pântanos; - campos de aviação - pradarias e charnecas - fazendas sem sebes ou muros
Rugosidade 2	terreno plano ou ondulado com obstruções tais como sebes e muros poucos quebra-ventos de árvores e edificações eventuais. Exemplo: - granjas e casas de campo, com exceção das partes com mato. A cota geral das obstruções, é considerada a 2 metros acima do terreno.
Rugosidade 3	terrenos cobertos por numerosas e grandes obstruções. Exemplos: - zonas de parques e bosques com muitas árvores; - cidades pequenas e seus arredores; - subúrbios de grandes cidades. A cota geral das obstruções e cumeeiras é considerada a 10 metros acima do terreno. Esta categoria também inclui zonas de construções maiores que ainda não possam ser consideradas na categoria seguinte.
Rugosidade 4	terrenos cobertos por numerosas e grandes construções com altura média de 25 metros ou superior.

Tabela 3.7 - Fator S2 - Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura acima do terreno.

Altura acima do terreno	Terreno aberto sem obstruções			Terreno aberto com poucas obs- truções			terreno com muitas obs- truções; pe- quenas cida- des; subúrbios de grandes cidades			terreno com obstruções grandes e frequentes. Ex.: centro de grandes cidades			
	H (m)	Classe			Classe			Classe			Classe		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	1			2			3			4			
1	0,83	0,78	0,73	0,72	0,67	0,63	0,64	0,60	0,55	0,56	0,52	0,47	
2	0,88	0,83	0,78	0,79	0,74	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,50	
3	1,00	0,95	0,90	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74	0,69	0,67	0,62	0,58	
4	1,03	0,99	0,94	1,00	0,95	0,91	0,88	0,83	0,78	0,74	0,69	0,64	
5	1,06	1,01	0,96	1,03	0,98	0,94	0,95	0,90	0,85	0,79	0,75	0,70	
6	1,09	1,05	1,00	1,07	1,03	0,98	1,01	0,97	0,92	0,90	0,85	0,79	
7	1,12	1,08	1,03	1,10	1,06	1,01	1,05	1,01	0,96	0,97	0,93	0,89	
8	1,14	1,10	1,06	1,12	1,08	1,04	1,08	1,04	1,00	1,02	0,98	0,94	
9	1,15	1,12	1,08	1,14	1,10	1,06	1,10	1,06	1,02	1,05	1,02	0,98	
10	1,18	1,15	1,11	1,17	1,13	1,09	1,13	1,10	1,06	1,10	1,07	1,03	
11	1,20	1,17	1,13	1,19	1,16	1,12	1,16	1,12	1,09	1,13	1,10	1,07	
12	1,22	1,19	1,15	1,21	1,18	1,14	1,18	1,15	1,11	1,15	1,13	1,10	
13	1,24	1,20	1,17	1,22	1,19	1,16	1,20	1,17	1,13	1,17	1,15	1,12	
14	1,25	1,22	1,19	1,24	1,21	1,18	1,21	1,18	1,15	1,19	1,17	1,14	
15	1,26	1,23	1,20	1,25	1,22	1,19	1,23	1,20	1,17	1,20	1,19	1,16	
16	1,27	1,24	1,21	1,26	1,24	1,21	1,24	1,21	1,18	1,22	1,21	1,18	

Tabela 3.8 - Fator estatístico S3

NP	0,10	0,20	0,50	0,63	0,75	0,90
2	0,86	0,76	0,64	0,60	0,57	0,53
10	1,10	0,98	0,82	0,78	0,74	0,68
25	1,28	1,13	0,95	0,90	0,85	0,79
50	1,42	1,26	1,06	1,00	0,95	0,88
100	1,58	1,42	1,18	1,11	1,06	0,98
200	1,77	1,57	1,32	1,24	1,18	1,09

De posse da velocidade característica do vento pode-se determinar a pressão dinâmica conforme segue:

$$q = \frac{V_k^2}{1,6} \quad (\text{eq. 11})$$

onde:
 q -> pressão dinâmica (N/m²)
 V -> velocidade característica (m/s)

A pressão dinâmica do vento é a pressão que se obtém quando, em presença de um obstáculo, toda a energia cinética (velocidade do vento) é convertida em pressão. Na prática, nos casos mais frequentes não ocorre uma conversão total da energia cinética.

O fluxo do vento ao redor dos edifícios é o resultado de uma complexa interação entre o vento (incidência, gradiente médio de velocidades, turbulências) e os edifícios (formas, tamanho, posição).

O vento, incidindo sobre um edifício, cria regiões de pressão e regiões de sucção. Na superfície exposta diretamente à ação do vento ocorre uma solicitação de pressão (ou sobre pressão). Nas superfícies laterais os fluxos são fortemente acelerados e próximo das arestas, descolam-se das superfícies criando solicitações de sucção (fig. 3.17).

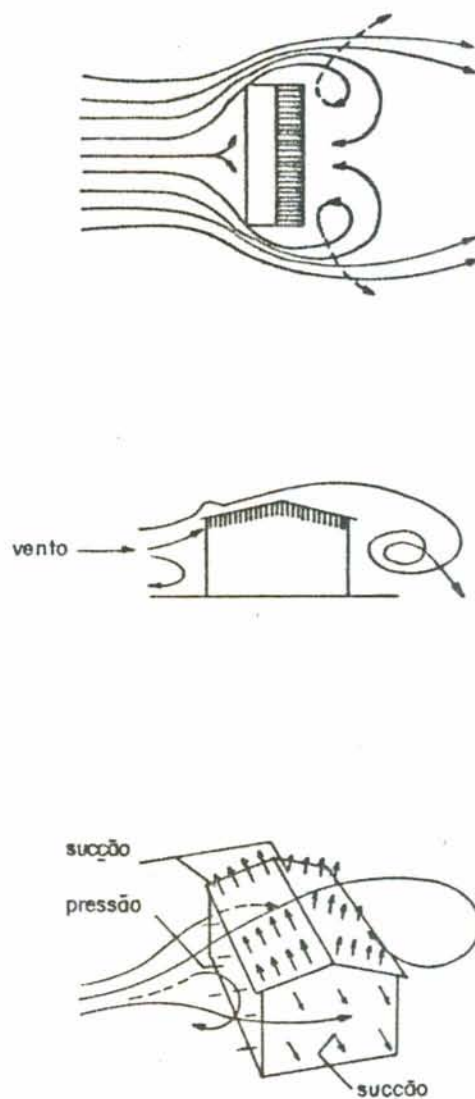


Fig. 3.16.- Incidência do vento sobre o edifício - Zonas de pressão e sucção.

A ocorrência de fluxos de ar, próximos ao edifício, com altas velocidades e grandes turbulências, é devido basicamente ao fato da junção de zonas de diferentes pressões.

Na face exposta a ação direta do vento, ocorre uma distribuição de sobrepressões, as quais aumentam com a altura, devido a influência do gradiente vertical de velocidades. Isso causa um fluxo descendente ao longo da face, o qual ocasiona uma turbulência (redemoinho) quando encontra o solo, e passa rapidamente pelos cantos (esquinas) do edifício (fig. 3.18) [29].

Quando da incidência do vento, as "linhas de fluxo" são forçadas a contornar o edifício, e, zonas de sucção, dependentes essencialmente da velocidade no topo do edifício sendo aproximadamente constantes em relação a altura, surgem nos pontos onde as linhas se afastam das superfícies do edifício, sendo esses pontos os cantos (esquinas) agudos do edifício (fig. 3.17) [29].

A justaposição dos edifícios pode também formar defletores de vento sendo o vento canalizado para zonas estreitas (fig. 3.19) [29].

Esses diferentes tipos de fluxo podem se combinar, dependendo das características do vento incidente e das características do edifício e sua vizinhança, de tal modo que a resultante pode ser bastante complexa.

GANDEMER analisou em experimentos em túnel de vento e descreveu os principais efeitos aerodinâmicos dos edifícios. Esses efeitos podem ser classificados da seguinte maneira [29]:

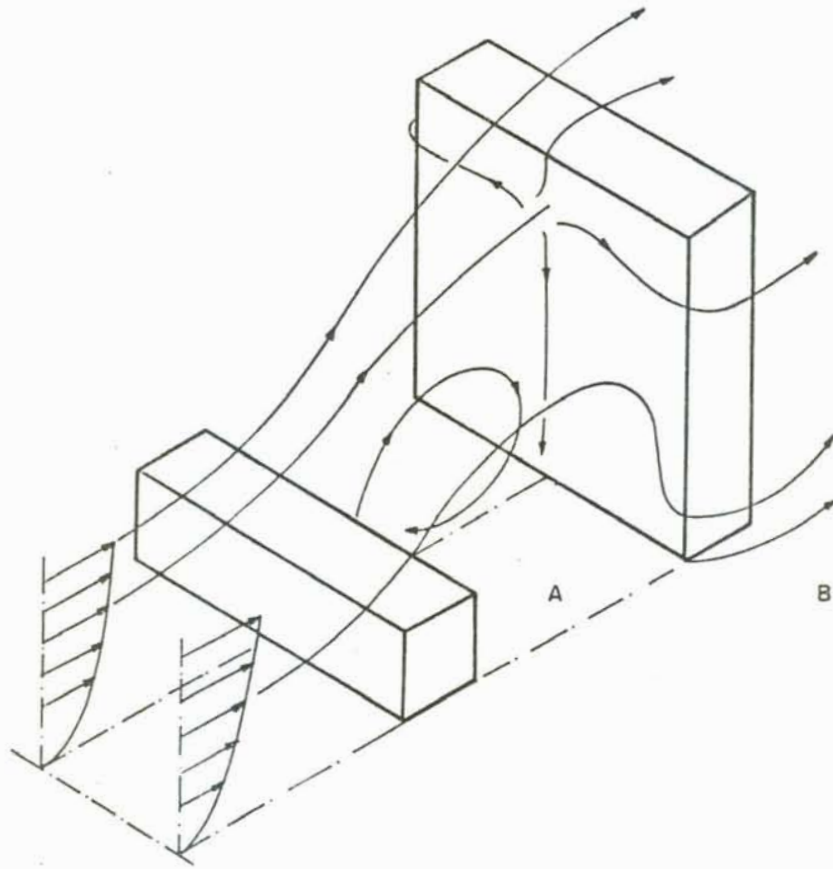


Fig. 3.18 - Fluxo de ar sobre a superfície do edifício.

I) Efeito barreira:

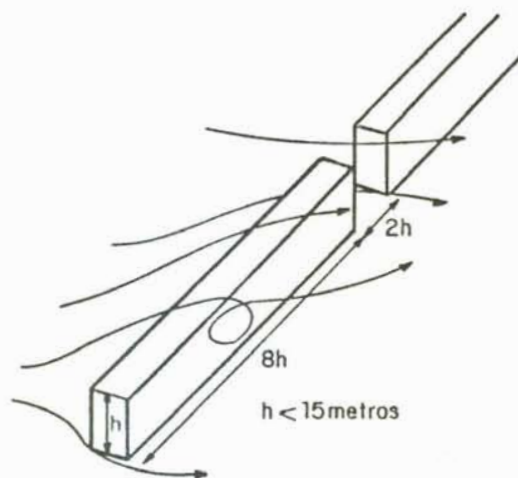


Fig. 3.19 - Efeito barreira.

Esse efeito é caracterizado pelo fato de o fluxo de ar encontrar um obstáculo e contorná-lo sem muita turbulência. Os edifícios localizados atrás da barreira, desde que não tenham altura superior, ficam protegidos do fluxo de ar incidente. A barreira age como se fosse um defletor desviando o fluxo de ar por sobre si e pelas laterais.

As dimensões de um edifício (barreira) para que esse efeito ocorra são de uma pequena espessura ($< 10\text{m}$), altura homogênea e não maior que 30 metros, e um comprimento mínimo de 8 vezes a altura (fig. 3.19).

II) Efeito Venturi:

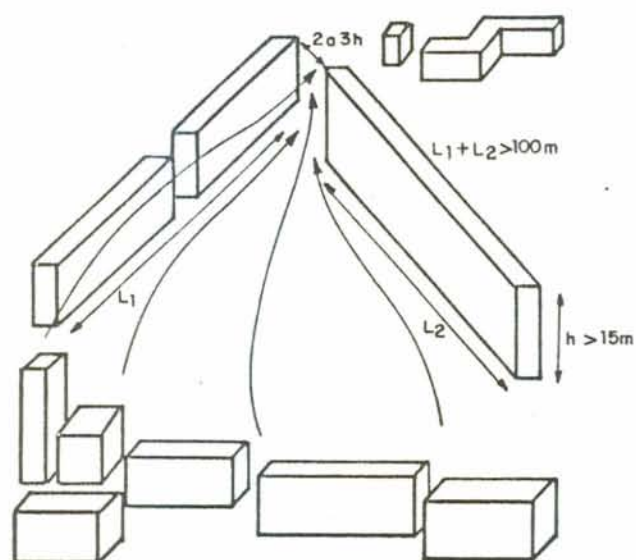


Fig. 3.20 - Efeito Venturi.

O efeito Venturi é um fenômeno de afunilamento do fluxo de ar produzido por dois edifícios separados, cujos eixos coincidem em um ângulo agudo ou reto (fig. 3.20). Para a ocorrência do efeito venturi a altura mínima dos edifícios deve ser maior que 15 metros, o comprimento total não menos que 100 metros, e a vizinhança antes e depois do canal deve ser desocupada (não haver prédios) numa área igual a do canal.

Quando a abertura no final do canal (funil) tem dimensão de cerca de 2 a 3 vezes a altura média dos edifícios, temos o fluxo máximo que pode ocorrer através dessa abertura (abertura crítica).

Formas curvas nos edifícios tornam-se mais aerodinâmicas aumentando o fenômeno. Se o canal (funil) é seguido, após a abertura final, de um canal divergente ocorre então um "efeito de esguicho" ocorrendo a dispersão do fluxo de ar.

III) Efeito de conexão de pressões:

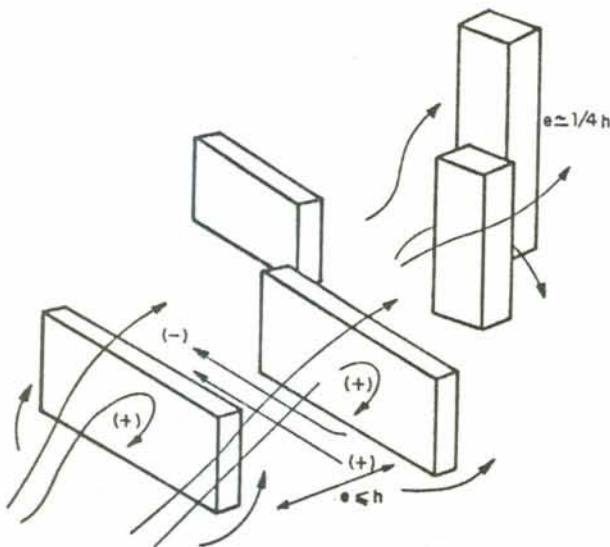


Fig. 3.21 - Efeito de conexões de pressões.

O vento, quando incide sobre um obstáculo, cria sobrepressões na zona exposta diretamente a ele e sucções nas zonas em que o fluxo se desloca da face do edifício (fig. 3.17). Consequentemente para edifícios posicionados em diferentes fileiras e expostas a um vento perpendicular, surgem correntes de ar transversas entre zonas de pressões diferentes (na direção da pressão menor) (fig. 3.21)

Esse efeito, o qual é uma função direta da altura do edifício, assume importância principalmente devido ao fato de haver uma difusão de fluxo de ar sobre uma grande área.

IV) Efeito de abertura:

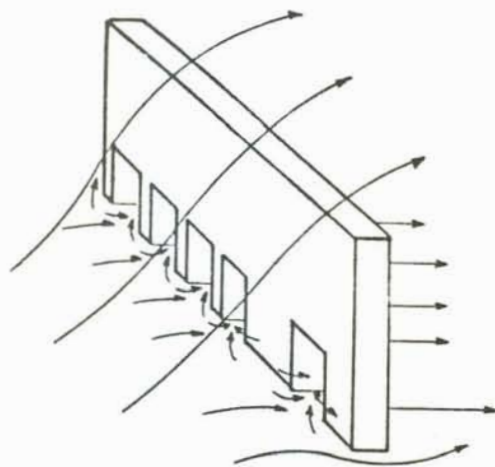


Fig. 3.22 - Efeito de abertura.

Esse efeito refere-se somente a ligações entre dois lados do edifício na sua base.

Em relação a variação do fluxo de ar, aberturas individuais são mais direcionais do que "pilotis" ou colunas, porque ocorre um direcionamento mais concentrado do fluxo. A saída do fluxo de ar no outro lado do edifício ocorre na forma de jatos (esguicho), sendo que a zona afetada por esse efeito é da mesma ordem de grandeza da abertura (área) do lado de saída do jato (fluxo de ar).

V) Efeito de canto (esquina):

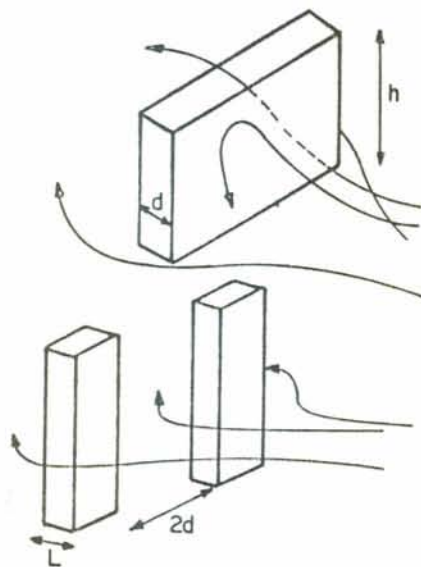


Fig. 3.23 - Efeito de canto

Aqui, a causa desse efeito está na conexão, junto aos cantos (esquina) de um edifício, entre zonas de sobrepressão (lado de incidência do vento) e zonas de sucção (outro lado). A área afetada é relativamente localizada sendo que o raio do fluxo de

ar ao contornar o canto é aproximadamente igual a espessura do edifício.

VI) Efeito de rastro:

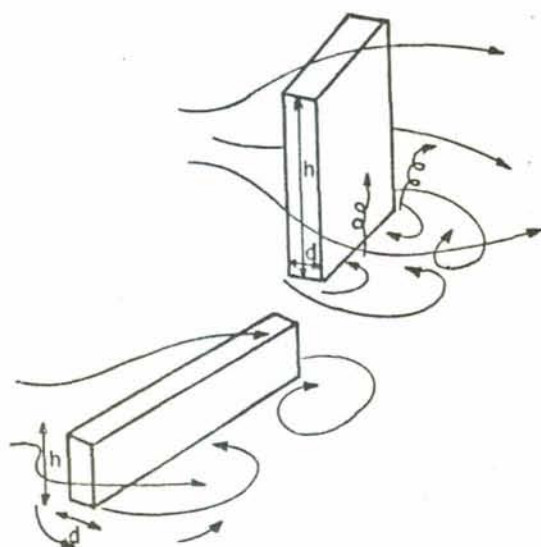


Fig. 3.24 - Efeito de rastro.

Esse efeito consiste numa concentração do fluxo de ar, com uma grande turbulência e altas velocidades, principalmente devido ao descolamento do fluxo das faces do edifício (principalmente nos cantos agudos).

O modo pelo qual o fluxo pode se difundir é função direta do meio ambiente (vizinhança) (fig. 3.25)

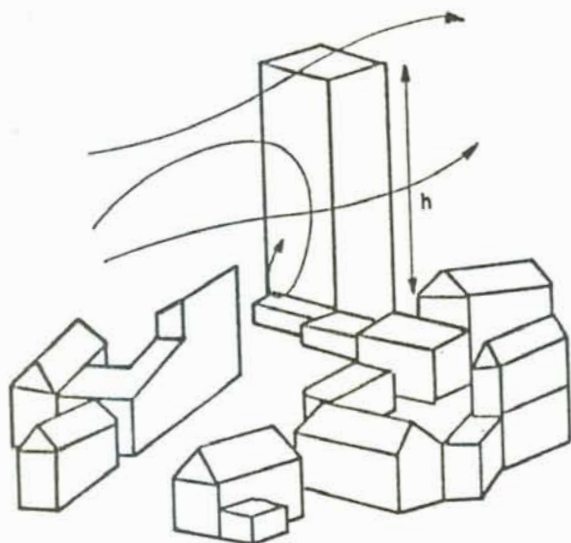


Fig. 3.25 - Difusão do fluxo do meio ambiente.

VII) Efeito de canal:

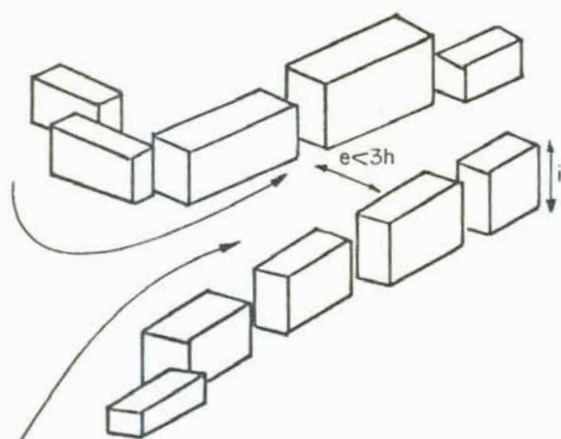


Fig. 3.26 - Efeito de canal.

Basicamente ocorre canalização do fluxo de ar sem ocorrências de grandes anomalias.

VIII) Turbulência na base dos edifícios:

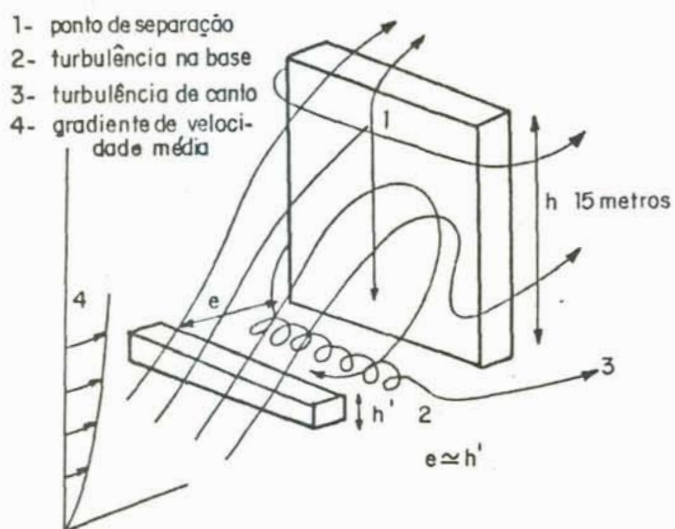


Fig. 3.27 - Turbulências.

Esse efeito é produzido pelo fluxo descendente oriundo da face do edifício. A origem desse fluxo já foi citada anteriormente (fig. 3.18).

O fenômeno se agrava quando da existência de um outro edifício de pequena altura anterior a face em questão. A disposição dos dois edifícios é determinante no desenvolvimento dessa anomalia.

IX) Efeito de proteção:

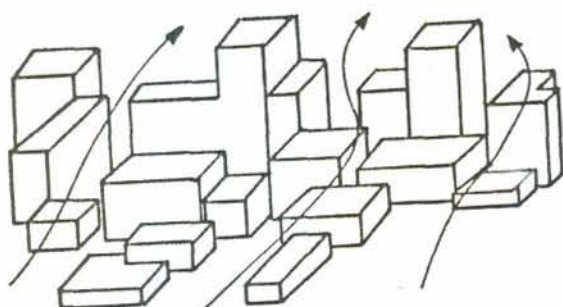


Fig. 3.28 - Proteção

Através de um planejamento urbano, pode-se dar uma proteção aos edifícios direcionando-se os fluxos de ar e evitando-se as anomalias aerodinâmicas.

É difícil de se quantificar o grau de proteção, entretanto os aspectos aerodinâmicos não podem ser desconsiderados quando do projeto e concepção de novos edifícios.

3.3.3 Variação do grau de exposição da fachada

As variações das condições de exposição, referentes a incidência da chuva, podem ser analisadas basicamente em dois níveis:

- nível específico onde são consideradas as variações de exposição de local para local no edifício ou na mesma parede, efeitos de proteção, e demais fatores que determinem uma maior ou menor solicitação de chuva sobre uma parede específica em um edifício específico (basicamente é uma análise de microclima + clima local).

- nível geral onde são consideradas as variações das condições climatológicas de local para local (ou de região para região), fatores característicos que determinem a incidência da chuva diferenciada em dadas regiões (regime de ventos, regime de chuvas) e demais fatores que possam determinar variações da incidência de chuvas de região para região (basicamente é uma análise de clima local + macroclima).

1) Análise a nível específico:

O Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB) propõe uma metodologia de análise de modo que o grau de exposição possa ser avaliado em função dos seguintes fatores: a situação da construção, a altura da parede acima do solo e a presença ou não de proteção contra o vento [4].

Na análise da situação da construção (ou edifício) se distinguem quatro tipos:

a) Construções situadas no interior de grandes centros urbanos.

b) Construções situadas em pequenas e médias vilas ou periferia de grandes centros urbanos.

c) Construções isoladas em campo aberto.

d) Construções isoladas próximas ao mar ou situadas em vilas costeiras desde que essas construções estejam a uma distância do litoral inferior a um limite a fixar em função das condições climáticas locais e da altura real (esse limite, para condições amenas pode ser aproximadamente 15 vezes a altura do prédio. Para condições mais rigorosas o limite deve ficar entre 5 e 10

km).

Quanto a altura da parede acima do solo são distinguidas 5 faixas, a saber:

- menos de 6 metros.
- de 6 a 18 metros.
- de 18 a 28 metros.
- de 28 a 50 metros.
- de 50 a 100 metros.

Edifícios com alturas maiores de 100 metros devem ser considerados caso por caso.

Para o caso de o edifício estar situado acima de um desnível com inclinação superior a 1, a altura acima do solo é considerada conforme a figura 3.29:

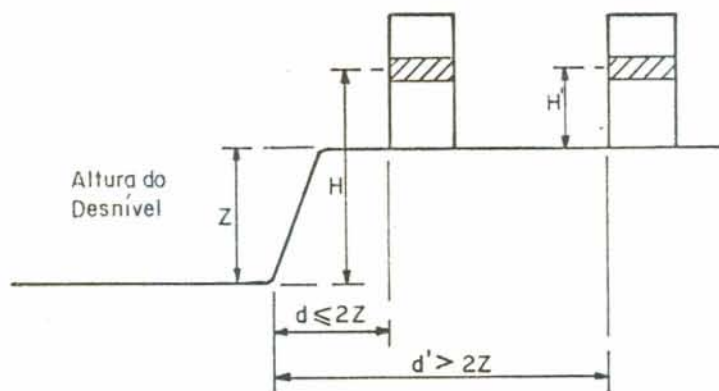


Fig. 3.29 - Determinação da altura.

Tendo-se uma distância igual a "d" a altura considerada é igual a "H". Para uma distância de "d'" a altura corresponde a "H'".

Em relação a presença ou ausência de proteções contra o "vento de chuva" classificam-se as fachadas em abrigadas e não abrigadas.

a) Fachadas abrigadas

Para uma fachada ser considerada abrigada ela deve atender a duas condições:

- não ter altura superior que 28 metros do nível do solo (ver fig. 3.29)

- atender aos quesitos mostrados nas figuras 3.30 e 3.31.

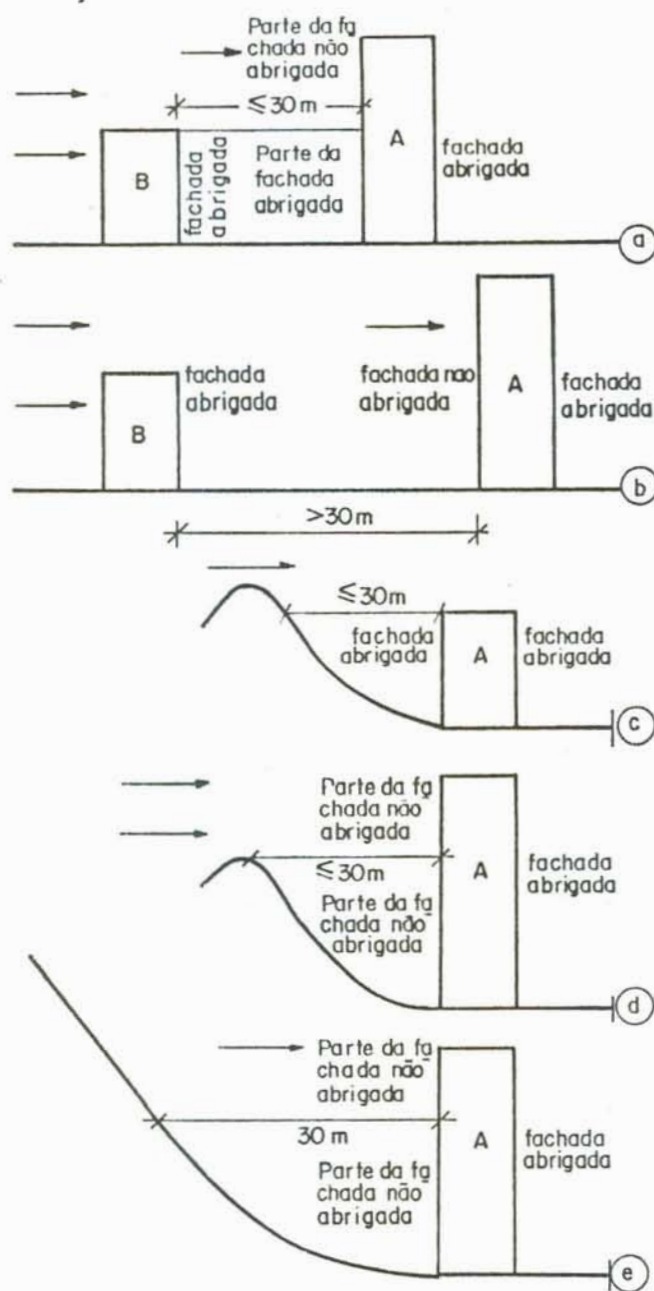
b) Fachadas desabrigadas

As fachadas que não se enquadram nas disposições do item anterior são consideradas desabrigadas.

Todos esse ítems descritos são por fim sintetizados em uma matriz na qual se pode determinar facilmente o grau de exposição da fachada e o tipo de parede indicado para cada caso (tabela 3.9)

Tabela 3.9 - Escolha do tipo de alvenaria em função da exposição à chuva.

Altura acima do solo (m)	Situação = a, b, c		Situação d		
	Fachadas Abrigadas	Fachadas não abrigadas	Fachadas abrigadas	Fachadas n/abrigadas Zona litoral não frontal ao mar	Frontal ao mar
< 6	I	I ou IIa	I	IIa	IIb
6 - 18	I	IIa	I	IIa	IIb
18 - 28	I	IIa	I	IIb	III ou IV
28 - 50	-	IIa ou IIb	-	III ou IV	III ou IV
50 - 100	-	III ou IV	-	IV	IV



Nota: Em regra geral não são consideradas como abrigadas as fachadas ou partes de fachadas situadas a mais de 28 metros de altura.

Fig. 3.30 - Fachadas abrigadas e não abrigadas.

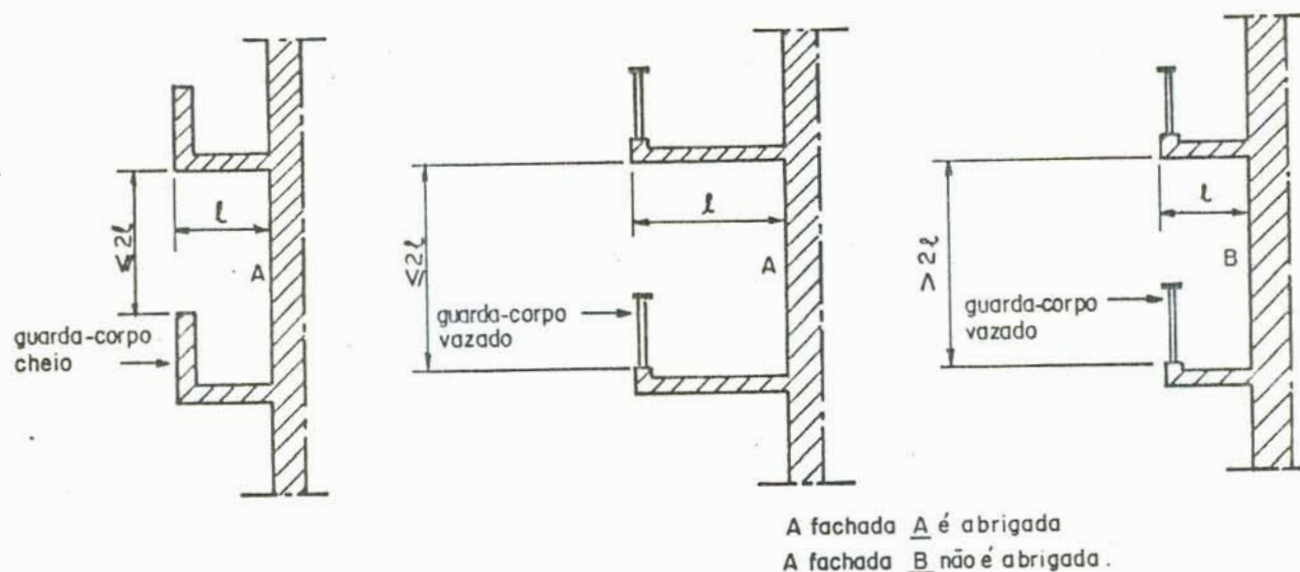


Fig. 3.31 - Fachadas abrigadas e não abrigadas.

Nas intersecções entre linhas e colunas são colocados os tipos de alvenaria indicados para os determinados graus de exposição.

II) Análise a nível geral

A fim de se determinar a variação da exposição de região para região, tem sido desenvolvidas metodologias diferenciadas quanto a seu modo de análise e de classificação e hierarquização dos fatores determinantes da incidência da chuva. Essas diferenças se devem basicamente: a diferenciadas formas de coleta de dados meteorológicos, ao grau de relevância que é dado para a incidência da chuva na região e ao nível de conhecimento a respeito do tema.

Segundo Kunzel [30], a proteção da parede ou a resistência da parede à incidência da chuva deve ser determinada de acor-

do com a respectiva taxa de incidência da chuva. Devem ser analisados os aspectos gerais (condição geográfica, zonas climáticas) e aspectos específicos que determinam a incidência da chuva singularmente para cada edifício.

A norma DIN 4108 possui três especificações de categorias de chuva incidente (intensidade) [30]:

Categoria I: Leve chuva incidente

Regiões com baixa incidência de ventos e precipitações anuais abaixo de 600mm. Locais abrigados (protegidos) em regiões de alta precipitação também são incluídos nessa categoria.

Categoria II: Média chuva incidente

Regiões com precipitações anuais abaixo de 800mm. Altos edifícios em locais expostos os quais normalmente seriam classificados na categoria I devido as suas condições de vento e chuva.

Categoria III: Pesada chuva incidente

Regiões com precipitações anuais excedendo 800mm incluindo regiões de grande incidência de ventos que tenham pequena taxa de precipitações. Altos edifícios em locais expostos os quais normalmente seriam classificados na categoria II devido as suas condições de vento e chuva.

LACY e SHELLARD [23], através de estudos feitos no Building Research Establishment (BRE), demonstraram a existência de uma proporção direta entre a chuva dirigida sobre uma parede e o produto entre a precipitação e a velocidade do vento durante a

chuva.

Foi estabelecido um índice de chuva dirigida, ou incidente, como parâmetro para evidenciar a variação do grau de exposição de um local para variação do grau de exposição de um local para outro. Esse índice é calculado da seguinte maneira:

$$PD = \frac{RA \cdot V}{1000} \quad (\text{eq. 12})$$

onde:

PD - índice de chuva dirigida (m²/s)

RA - precipitação total anual (mm)

V - velocidade média anual do vento (m/s)

Devido ao fato de a velocidade do vento durante a chuva não ser usualmente coletada, foi usada a velocidade média anual para estabelecer o índice de chuva dirigida. Segundo LACY esse procedimento não altera a validade do parâmetro (PD) pois existe uma relação constante entre a velocidade média anual e a velocidade média durante a chuva.

Para o valor de 1 m²/s do índice de chuva dirigida, corresponde aproximadamente 200 l/m² de chuva incidente sobre uma superfície vertical [14].

O índice de chuva dirigida, conforme definido, indica a quantia total de chuva que irá ser dirigida em um ano, sobre uma superfície vertical perpendicular ao vento [1].

Em relação ao grau de exposição, LACY propõe a seguinte classificação [11]:

- Exposição abrigada => condições que se obtém em regiões onde têm-se um índice de chuva dirigida menor ou igual a 3 m²/s, excluindo-se áreas próximas do mar ou grandes estuários a uma

distância de 8 km.

- Exposição moderada => onde o índice de chuva dirigida está entre 3 a 7 m²/s, exceto em áreas em que existe um índice maior ou igual a 5, próximas de 8 km do mar ou grandes estuários

- Exposição severa => quando o índice for maior ou igual a 7.

Em áreas de exposição abrigada ou moderada, edifícios altos que se destacam da vizinhança ou edifícios de certa altura localizados em colinas ou elevações, devem ser considerados com uma exposição um grau mais severo do que o indicado.

Em função dessa classificação foi feito o mapeamento da Inglaterra com respeito a exposição a chuva dirigida. Posteriormente, a mesma metodologia foi aplicada no Canadá onde também foi feito um mapeamento procurando se evidenciar zonas conforme a classificação de exposição descrita anteriormente.

3.4 A chuva sobre a superfície da parede

A incidência da chuva sobre as fachadas de um edifício é influenciada basicamente pela ação do vento e pela natureza da chuva.

Tanto o fluxo de ar incidente sobre a fachada bem como as correntes de ar ao redor e acima do edifício apresentam padrões de comportamento bastante complexo e variáveis.

As gotas de chuva, em sua trajetória descendente, são de-

fletadas por um fluxo de ar (vento) de modo que sua trajetória seja inclinada em vez de vertical. Próximo da face do edifício as gotas são novamente defletadas, agora pelas correntes de ar próximas as superfícies do edifício.

O modo pelo qual as gotas de chuva são mais ou menos defletadas devido a correntes de ar próximas das faces do edifício depende do tamanho da gota. Pequenas gotas com menor inércia são mais facilmente defletadas enquanto que gotas maiores, com inércia maior são mais difíceis de serem defletadas [14].

O fluxo de ar muda de trajetória abruptamente nos cantos e no topo do edifício. As gotas de chuva devido a sua inércia, não conseguem mudar sua trajetória incidindo nas faces das paredes (fig. 3.32) [31].

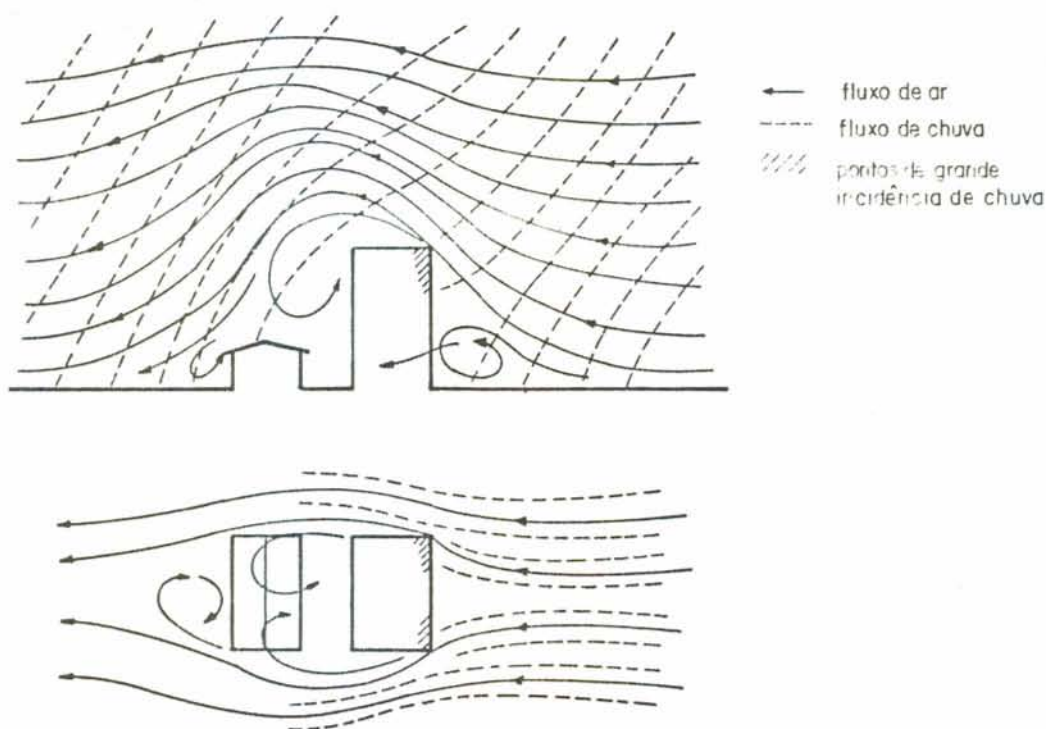


Fig. 3.32 - Característica da incidência da chuva.

Devido aos fatores mencionados, pode-se concluir facilmente que a chuva não incide sobre uma fachada de modo uniforme. Existe, na verdade, um padrão típico de incidência da chuva. A incidência da chuva, usualmente, é várias vezes maior no topo e nos cantos (esquinas) da face exposta do que no restante da parede.

COUPER [32] sugeriu um padrão de umedecimento da parede em forma de parábola. Acima da parábola ocorre a região mais crítica, abaixo a menos. MEERT e ACKERE [21] verificaram a existência desse padrão experimentalmente através da colocação de vários coletores sobre a fachada (fig. 3.33). MARSH [14] se refere sobre esse assunto argumentando que os problemas de infiltração de água em janelas são mais críticos próximos ao topo e aos cantos da fachada do edifício.

A explicação da formação desse padrão é bastante simples. Tudo depende do tamanho das gotas de chuva e da região da fachada a que ela é dirigida. Conforme a região da fachada a dinâmica dos fluxos de ar é diferente (fig. 3.19). Se uma gota de chuva de tamanho pequeno a médio (que possa ser defletida com razoável facilidade) incide na fachada em uma posição central abaixo do ponto de separação do fluxo de ar (80% da altura do edifício), o fluxo descendente irá defletir a gota fazendo com que ela não incida sobre a fachada caindo paralelamente a superfície da parede (caso 1 da fig. 3.34). Se a mesma gota incidir em sua região mais próxima do topo ou dos cantos laterais da fachada ela será defletida e irá incidir a face da fachada (caso 2 da fig. 3.34). Para gotas de tamanho grande (para chuvas de grande intensidade) o

fluxo de ar sobre a fachada não consegue defletá-las significativamente ocorrendo a incidência generalizada da chuva sobre a parede.

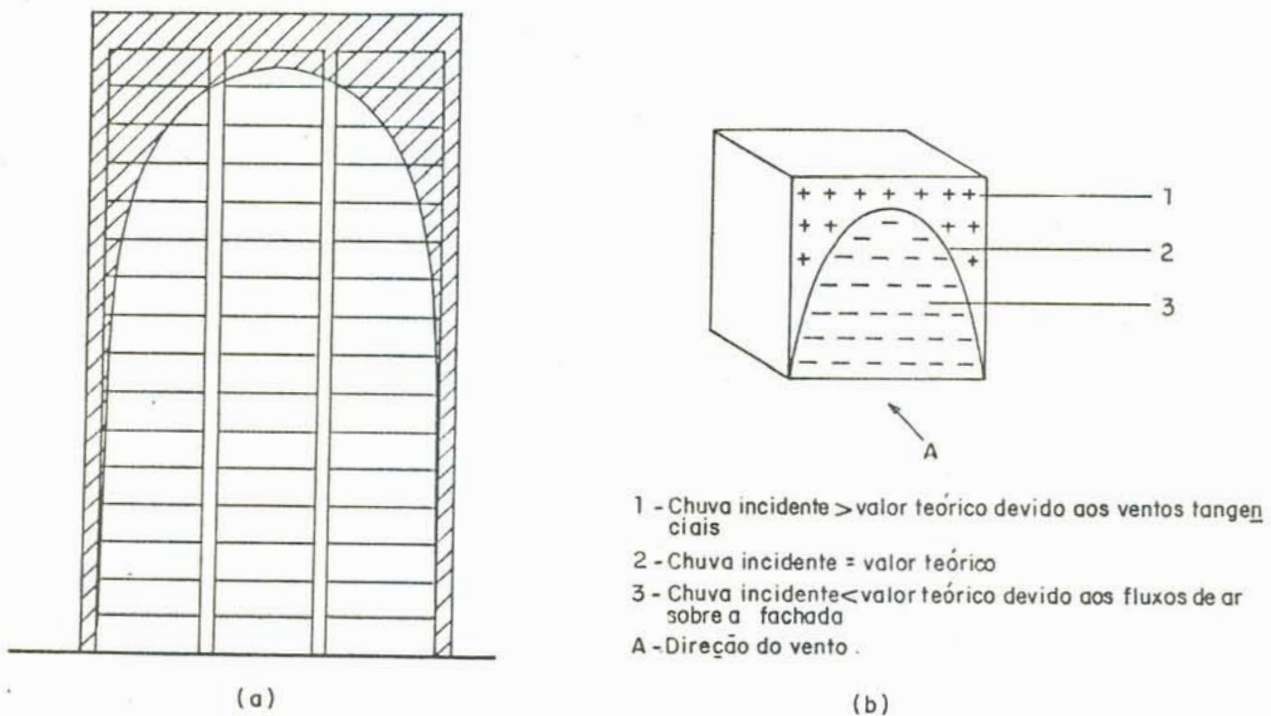


Fig. 3.33 - Padrões de umedecimento.

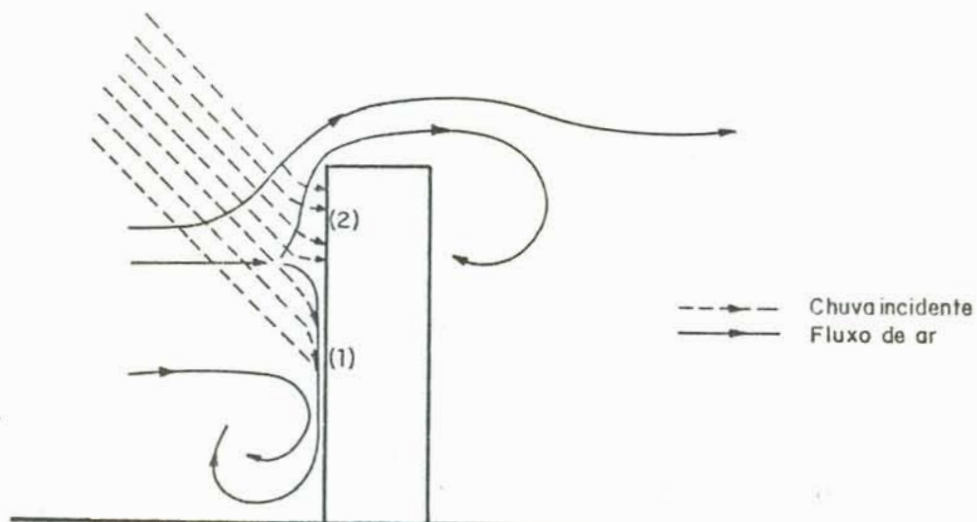


Fig. 3.34 - Desvio das gotas de chuva pelos fluxos de ar.

Ao início de uma chuva forte, somente o topo e os cantos laterais da face exposta irão ser umedecidos, entretanto a natureza dos materiais constituintes irá determinar o que ocorrerá caso a chuva continue. A água que incide sobre as faces do edifício tende a ser absorvida, em primeira mão, pelos materiais porosos (concreto, tijolo, reboco). Tão logo que a taxa de incidência exceda a taxa de absorção, a água começa a migrar para baixo [31].

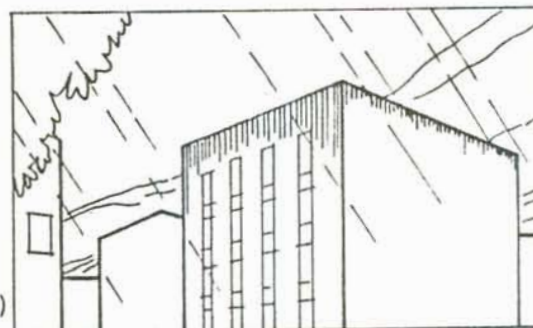
A saturação superficial dos materiais porosos é claramente evidenciada pela alteração da coloração do material. Isso pode indicar umedecimento progressivo e pontos de fluxo concentrado nas faces do edifício [31]. Basicamente o processo de umedecimento das fachadas é mostrado esquematicamente na fig. 3.34.

Quando uma gota de chuva incide sobre a superfície do edifício e se esborrifa, parte dos respingos retornam ao corpo de chuva, parte penetra na parede através de fissuras e juntas, e parte permanece no edifício como um fino filme ou como gotículas a serem absorvidas pelos poros do material ou ainda criando um fluxo de água descendente sobre a superfície da parede [31]. Os efeitos de absorção, de proteção da fachada (capeamentos, alge-ros), fazem com que somente uma pequena parte da chuva incidente seja convertida em fluxo de água sobre a parede.

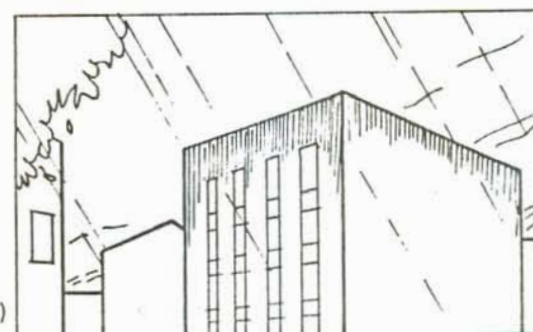
A locação e concentração da incidência da chuva, as propriedades da água em contato com os materiais (tensão superficial), forças de vento e gravidade, porosidade, textura e geometria da superfície do edifício, são fatores que afetam a migração do fluxo de água sobre a superfície.



(a)



(b)



(c)



(d)

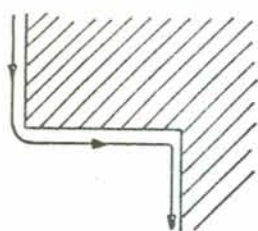
- a) Edifício Seco
- b) Características iniciais do padrão de umedecimento da fachada (10 min.)
- c) Início da migração de água pela superfície do edifício (20 min.)
- d) Término da chuva. O padrão de umedecimento das fachadas é proporcional a direção e exposição à chuva incidente.

Fig. 3.35 - Processo de umedecimento.

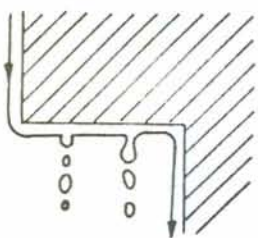
A taxa do fluxo d'água superficial tem um efeito direto na capacidade do filme superficial em aderir sobre a face superior de reentrâncias horizontais (fig. 3.36). À baixas taxas de fluxo, o filme de água flui sobre o canto e sobre a superfície

superior bem como na superfície vertical adjacente de forma aderida sem maiores problemas. Com o aumento da taxa de fluxo a água começa a gotejar da face superior da reentrância de modo que a altas taxas de fluxo o filme de água ganha inércia suficiente para quebrar a tensão superficial e cair livremente.

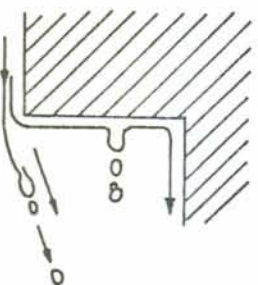
O fluxo de água superficial dirigindo-se de forma lateral ou diagonal (para baixo) irá se concentrar em cursos de água onde ele encontrar projeções verticais na superfície. Os fluxos de ar sobre a superfície (item 3.3.2) provavelmente são os fatores mais importantes no que se refere a concentração dos fluxos de água superficiais nos cantos externos, projeções (reentrâncias e saliências) (fig. 3.37).



Pequena taxa de fluxo



Moderada taxa de fluxo



Alta taxa de fluxo

Fig. 3.36 - Comportamento do fluxo de água superficial.

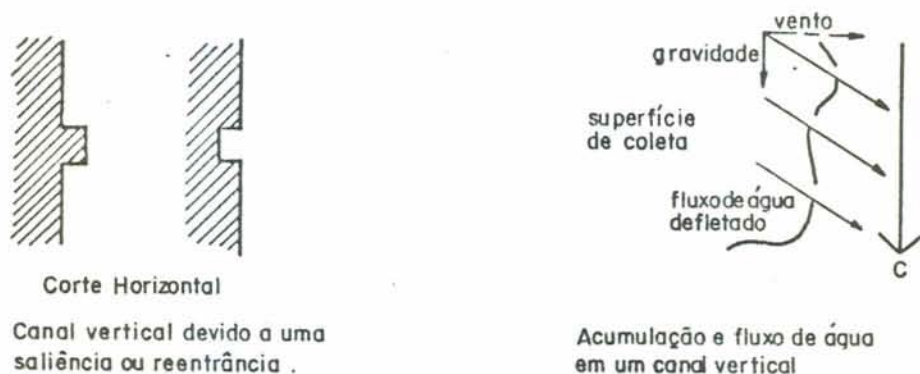


Fig. 3.37 - Acumulação de fluxos de água.

A porosidade tem influência sobre o fluxo de água e sobre a superfície, no sentido de absorção da água, ou seja, durante a incidência da chuva o fluxo de água só irá se formar quando o material não absorver mais água significativamente (excessão seja feita aos grandes piques de intensidade de chuva).

A textura do material da superfície irá afetar a distribuição do fluxo de água, com irregulares e concentrados cursos em superfícies lisas ou levemente texturadas e um fluxo uniformemente distribuído em superfícies de textura mais destacada [25].

A geometria da superfície, determinada por projeções horizontais e verticais é o principal meio de controle do fluxo de água sobre a parede. É difícil classificar as variações de detalhes que afetam a migração da água, entretanto pode-se classificar combinações dos elementos do edifício de acordo com sua influência no fluxo de água superficial [25]:

I) Canais contínuos

Compõe-se de projeções ou reentrâncias, as quais bloqueiam e coletam o fluxo de água que se move diagonalmente sobre uma superfície plana adjacente (fig. 3.38). Juntas de construção e expansão, colunas, reentrâncias e saliências decorativas podem ser consideradas como exemplo.

II) Planos contínuos

São caracterizados pela combinação de superfícies horizontais, verticais e inclinadas de modo a permitir fluxo de água sobre os elementos sem desprendimento do fluxo (gotejamento) nos cantos horizontais externos (fig. 3.39).

III) Canais e planos combinados

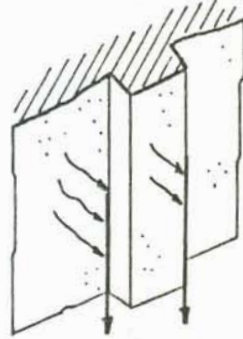
São caracterizados por descontinuidades de planos e canais determinando alterações na natureza do fluxo de água.

Fluxos de água concentrados em um canal podem ser dispersos em um plano quando o canal termina; fluxos dispersos em um plano podem ser concentrados em um canal; e, fluxos tanto em um plano como em um canal podem se desprender por gotejo assim que o elemento termine (fig. 3.40).

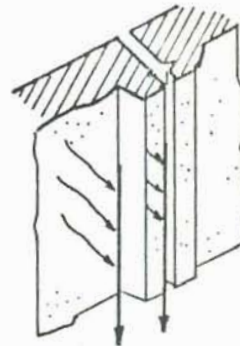
Exemplos de fluxos concentrados em canais contínuos



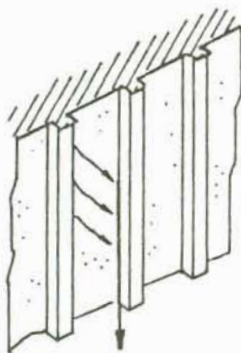
Juntas de alvenaria



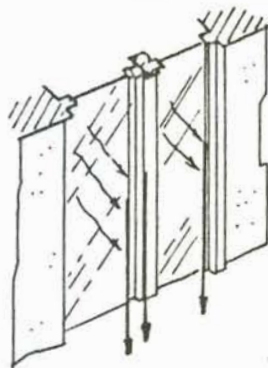
Pilares



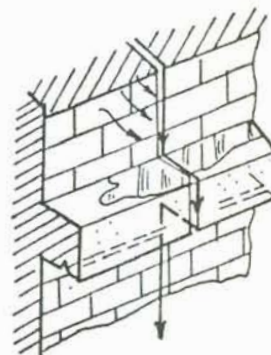
Juntas de painéis



Detalhes decorativos

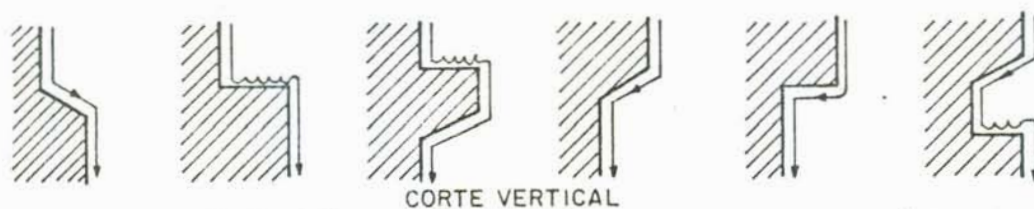


Esquadrias de madeira

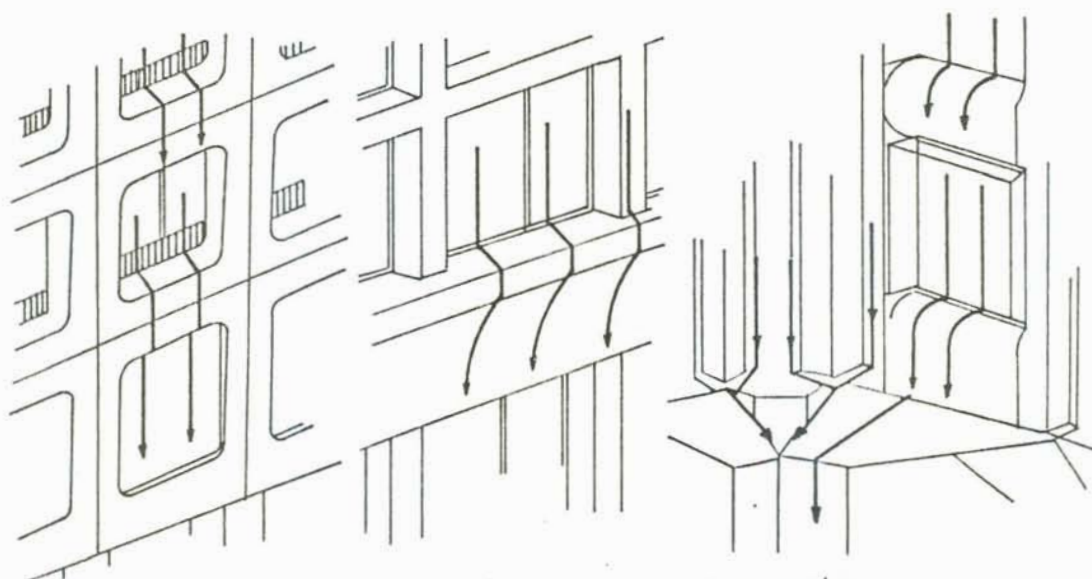


Juntas de dilatação

Fig. 3.38 - Fluxos concentrados em canais contínuos.



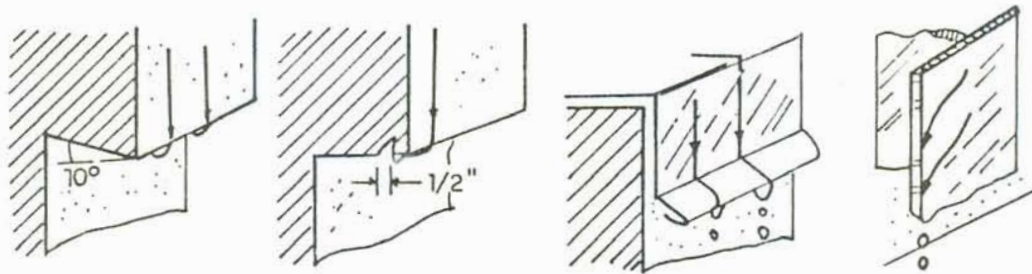
Exemplos generalizados de fluxos contínuos podendo ocorrer pequenos represamentos em superfícies horizontais.



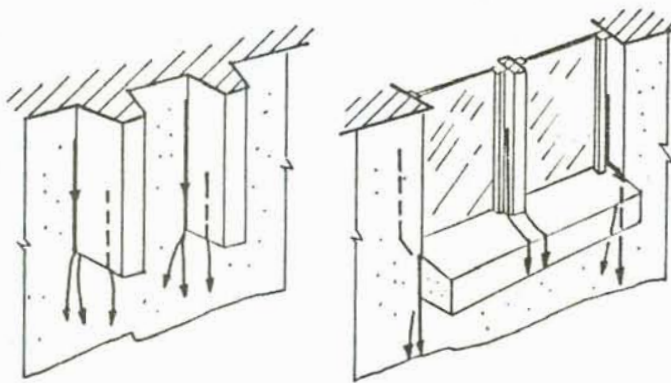
Exemplos de fluxos de água sobre a fachada do edifício

Fig. 3.39 - Fluxos planares.

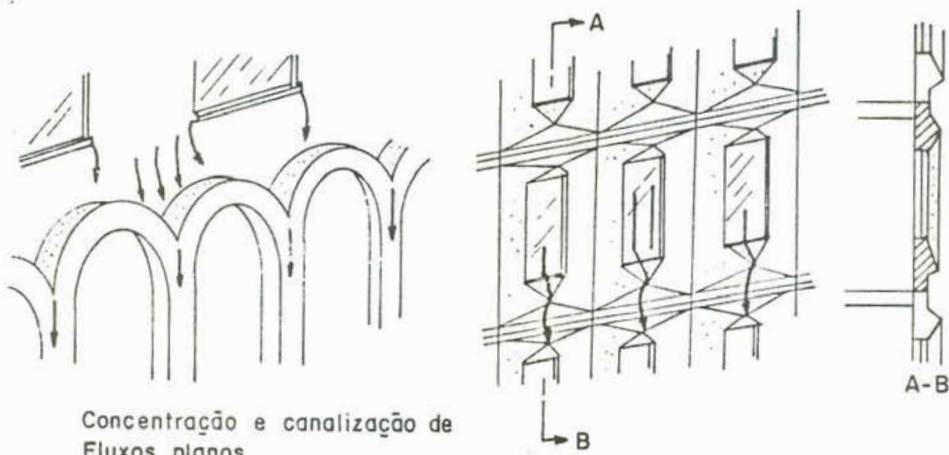
Quando o fluxo de água encontra uma descontinuidade, uma nova série de forças entra em jogo fazendo com que a água entre em regime de gotejo caindo livremente ou aumentando ou diminuindo sua concentração afetando suas qualidades de penetração e erosivas. Tanto é assim que nos pontos de alteração de concentração de fluxo ocorrem as mais sérias desfigurações e deteriorações das superfícies do edifício.



Fluxo plano e fluxo canalizado sendo dispersos em forma de gotejo devido a efeito de descontinuidade



Fluxo canalizado disperso em superfície plana



Concentração e canalização de Fluxos planos

Fig. 3.40 - Canais e planos combinados.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE DESEMPENHO

Tradicionalmente a escolha de produtos e métodos no âmbito da construção, têm sido definidos basicamente por normas descritivas.

Em virtude das exigências econômicas e das inovações tecnológicas, têm surgido uma grande gama de novos produtos e técnicas buscando-se novas soluções em vista de se industrializar a produção e de se racionalizar as operações construtivas. Dado a esses fatos, é bastante difícil para o projetista julgar qualitativamente as soluções inovadoras comparando-as com as soluções tradicionais [13].

Existe, portanto, a necessidade de se avaliar uma solução, um componente, um material, em condições de emprego bem definidas de modo a se poder verificar a satisfação das exigências relativas a sua utilização (uso). O que se quer avaliar é o desempenho, ou seja, o comportamento em uso.

A metodologia de desempenho é voltada a avaliação de determinado elemento em função da resposta às exigências de utilização [34].

4.1 Caracterização da metodologia

O método parte da especificação das exigências do usuário (que devem ser supridas pelo edifício) e da especificação das condições de exposição do edifício (dependem do uso do edifício, condições climáticas, etc.).

Confrontando-se exigências do usuário com as condições de exposição definem-se os requisitos de desempenho. São exigências gerais e qualitativas as quais o edifício e suas partes devem atender. Partindo-se dos requisitos de desempenho determinam-se os critérios de desempenho os quais são condições específicas sempre que possível quantitativas.

A comprovação ou verificação de que um produto, elemento ou componente atende a certo critério é determinada através de métodos de avaliação [35].

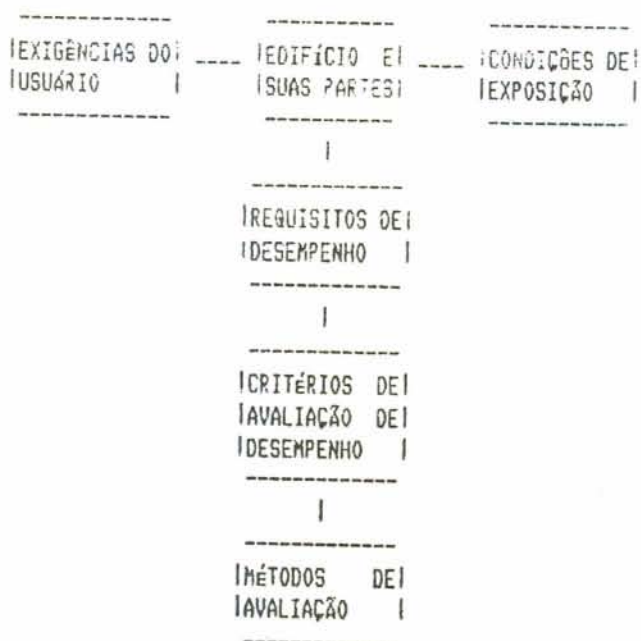


Figura (4.1) - Esquema da metodologia de desempenho

4.1.2 Exigências do Usuário

Define-se como usuário, pessoa, animal, objeto, equipamento, etc, para o qual o edifício é destinado [34,36].

O ponto de início para a análise das funções a serem cumpridas pelo edifício é a consideração das exigências ou requisitos do usuário.

Basicamente as exigências do usuário são derivadas das necessidades relativas a esses usuários. Assim, exigências podem incluir aspectos técnicos, fisiológicos, psicológicos e sociológicos [37].

Se, para cada caso fossemos analisar todas as necessidades e exigências e ainda ponderar sobre a importância relativa de cada exigência no total, esse trabalho seria complexo e voltado somente para o caso em análise.

Sob esse aspecto, para solucionar essa dificuldade, a norma ISO-DP-6241 nos fornece um quadro com 14 exigências básicas (tabela 4.1). Essas exigências básicas servem como parâmetros para se estabelecer as exigências para cada caso. Assim, para cada caso específico pode-se listar as exigências do usuário considerando-se o uso específico do edifício.

Tabela 4.1 - Exigências do Usuário

EXIGÊNCIA	DESCRIÇÃO
1. Segurança Defensiva	Estabilidade e resistências mecânicas
10. Segurança no fogo	11. Medição do risco de início e propagação de incêndios, segurança do usuário
10. Segurança à infiltração	Segurança do usuário e segurança a intrusões
14. Entorpecimento	Entorpecimento aos gestos, líquidos e sólidos
15. Conforto higrotérmico	Temperatura e umidade do ar e das paredes
16. Atmosféricas	Perceção do ar e limitações de odores
17. Conforto visual	Acabamento, aspecto dos espaços e das paredes, vista para o exterior
18. Conforto acústico	Isolação acústica e nível de ruído
19. Conforto tátil	Eleticidade estática, rugosidade, umidade, temperatura da superfície
20. Conforto psicológico	Efeitos de manobras
21. Higiene	Cuidados corporais, abastecimento de água, eliminação de papélias usadas
22. Adaptação à utilização	Número, dimensões, geometria e relações de espaços e equipamentos necessários
23. Durabilidade	Conservação do desempenho ao longo do tempo
24. Económica	Custo inicial e custos de manutenção e reposição durante o uso

4.1.3 Condições de Exposição

A análise das condições de exposição pressupõe o estudo dos agentes a considerar quanto ao desempenho do material, componente, edifício (conforme o nível de análise). Os agentes devem ser identificados e quantificados em função do uso do edifício, componente ou material, em função do clima, em função do local, ou ainda em função de outros fatores que sejam determinantes da solicitação a ser imposta ao edifício.

Quanto a origem, os agentes podem ser classificados em [33] :

I. Externos ao envelope do edifício

- Agentes atmosféricos:
 - naturais
 - devidos ao homem
- Agentes a nível do solo:
 - naturais
 - devidos ao homem

II. Internos ao envelope do edifício

- Derivados da ocupação (uso) do edifício
- Consequentes da ocupação do edifício

Os agentes externos como também os internos, devido a ocupação (uso) são impostos ao edifício pelo seu meio ambiente.

Quanto à natureza, a norma ISO-DP-6241 classifica os agentes em (tabela 4.2):

- mecânicos
- eletromecânicos
- térmicos
- químicos
- biológicos

Os agentes também podem ser classificados em função de seu estado físico (gases, líquidos, sólidos), em função de sua variação com o tempo (modo de variação, duração, velocidade de variação, frequência, probabilidade de ocorrência), etc [63].

No que se refere à influência dos agentes sobre o desempenho, os agentes devem ser considerados em separado (isoladamente) ou em combinação de uns com outros, conforme as características de cada caso [38].

Tabela 4.2 - Classificação e caracterização dos Principais Agentes atuantes na Edificação

ORIGEM	EXTERIOR À EDIFICAÇÃO		INTERIOR À EDIFICAÇÃO	
	ATMOSFERA	SOLO	IMPOSTOS PELA OCUPAÇÃO	CONSEQUÊNCIA DA OCUPAÇÃO
1. Agentes Mecânicos				
1.1 Gravidade	Cargas de neve, de água, de chuva	Pressão de água no solo	Sobrecarga de utilização	Cargas permanentes
1.2 Forças e deformações impostas	Pressão de gelo, dilatações térmica e higroscópica	Escorregamentos, recalques	Esforços de manobras	Retrações, fluência, forças e deformações impostas
1.3 Energia cinética	Vento, granizo, choques exteriores	-	Choques interiores, abrasão	Impactos de corpo mole
1.4 Vibrações e ruídos	Ruídos exteriores	Sismos, vibrações exteriores	Ruídos interiores, vibrações interiores	Ruídos de edificação, vibrações de edificação
2. Agentes eletromagnéticos				
2.1 Radiação	Radiação solar	-	Lâmpada, radiação nuclear	Painel radiante
2.2 Eletricidade	Raios	Correntes parasitárias	-	Correntes de distribuição
2.3 Magnetismo	-	-	Campos magnéticos	Campos magnéticos
3. Agentes térmicos	Reaquecimento, congelamento, choque térmico	Reaquecimento, congelamento	Calor emitido, cigarro	Aquecimento, fogo
4. Agentes químicos				
4.1 Água e solventes	Umidade do ar, condensação, precipitação	Água de superfície, água subterrânea	Ações de lavagem com água, condensações detegentes, álcool	Águas de distribuição, águas servidas, infiltrações
4.2 Oxidantes	Oxigênio, ozônio, óxidos de nitrogênio	-	Hipoclorito de sódio (água de lavanderia), água oxigenada	Potenciais eletroquímicos positivos
4.3 Redutores	-	Sulfetos	Amônia	Agentes combustíveis, potenciais eletroquímicos negativos
4.4 Ácidos	Ácido carbônico, escremento de pássaros, ácido sulfúrico	Ácido carbônico, ácidos húmicos	Vinagre, ácido cítrico, ácido carbônico	Ácido sulfúrico, ácido carbônico
4.5 Bases	-	Cales	Soda cáustica, hidróxido de potássio, hidróxido de amônia	Soda cáustica, cimentos
4.6 Sais	Névoa salina	Nitratos, fosfatos, cloretos, sulfatos	Cloreto de sódio	Cloreto de cálcio, sulfato de gesso
4.7 Materiais inertes	Poeira	Calcários, sílica	Gorduras, óleos, tintas, poeira	Gorduras, óleos, poeira, sujeira
5. Agentes biológicos				
5.1 Vegetais	Bactérias	Bactérias, bolor, cogumelos, raízes	Bactérias, plantas domésticas	
5.2 Animais	Insetos, pássaros	Roedores, vermes	Animais domésticos	

4.1.4 Requisitos de Desempenho

Os requisitos de desempenho correspondem às condições que um elemento (depende do nível de análise) deve atender quando sob a solicitação das condições de exposição de modo a satisfazer as necessidades do usuário. Essas condições são expressas qualitativamente, ou seja, em forma de objetivos a se alcançar, sem maiores especificações.

Deve-se diferenciar os diversos níveis de análise para os quais a metodologia de desempenho pode ser aplicada. Pode ser analisado um edifício como um todo, um componente, um material. Dependendo do nível de análise esses requisitos vão ser mais específicos ou não.

Quanto a prioridade de um requisito em relação a outro isso depende de cada projeto específico. Entretanto, em termos gerais a partir de um estudo estatístico pode se estabelecer a importância relativa dos diversos requisitos obtendo-se uma priorização [35].

Um estudo realizado na Bélgica [2] apresentou a seguinte ordem de priorização para o componente fachadas apresentada na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Priorização dos Requisitos
(Fachadas Externas)

EXIGÊNCIA	PRIORIDADE
1. Estabilidade	
-suporte as deformações de obra	I
-resistência das fixações	I
-resistência mecânica aos agentes atmosféricos	I
2. Segurança ao fogo	
-resistência ao fogo	II
-gases tóxicos devido ao fogo	III
3. Segurança de utilização	
-proteção contra os riscos de impacto	I
-resistência a intrusões	III
4. Estanqueidade	
-a água	I
-ao ar	II
-a neve e poeira	II
-eficácia de evacuação de águas pluviais	I
5. Conforto higrotérmico	
-isolação térmica de inverno	I
-isolação térmica de verão	II
6. Conforto olfativo	
-ausência de odor	II
7. Conforto Acústico	
-isolação acústica	III
-não ser fonte de ruído	II
8. Conforto tátil	
-ser agradável ao tocar	II

EXIGÊNCIA	PRIORIDADE
9. Conforto visual	
-aspecto	II
-assegurar claridade natural	II
-regular claridade natural	III
10. Conforto antropodinâmico	
11. Higiene	
12. Adaptabilidade	
-possibilidade de fixação	II
-possibilidade de armazenagem	III
13. Durabilidade	
-conservação da cor	II
-conservação do brilho	III
-resistência ao choque de corpo mole	II
-resistência ao choque de corpo duro	II
14. Economia	
-facilidade de limpeza	II
-facilidade de reparação	III

* I - essencial
II - muito importante
III - medianamente importante

4.1.5 Critérios de desempenho

A partir dos requisitos de desempenho são estabelecidos os critérios de desempenho. Correspondem as condições, expressas sempre que possível de forma quantitativa e específica, a serem atendidas pelo edifício, componente ou material, já determinadas quando do estabelecimento dos requisitos.

Os critérios estão intimamente relacionados com os métodos de avaliação. CRONBERG [39] define critério como um atributo (ou propriedade) através do qual um julgamento é feito. Na verdade estabelecer um critério corresponde a estabelecer um nível mínimo de desempenho que o edifício, componente ou material deve apresentar frente à condição de exposição.

No que se refere a métodos e procedimentos para seleção de critérios, vários métodos podem ser usados. Podem ser agrupados nos seguintes itens:

- seleção subjetiva
- seleção baseada em métodos de ensaio disponíveis
- seleção baseada em análise funcional
- seleção baseada no retorno de informações dos produtos em uso
- seleção baseada no estudo dos requisitos do usuário.

Na tabela 4.4, esses métodos são descritos e analisados com maior profundidade.

Tabela 4.4 - Métodos e procedimentos para seleção de critérios de desempenho

MÉTODO	ATIVIDADE	VANTAGENS	PROBLEMAS	APLICABILIDADE
1. Seleção	-Seleção intuitiva de um conjunto de critérios ou -listagem sistemática de critérios seguida de seleção subjetiva	-não exige recursos intensivos -bons resultados com os especialistas "certos"	-não há o envolvimento direto do usuário	-aplicável somente em áreas onde encontram-se especialistas disponíveis
a) Por um especialista individual	-seleção baseada no conhecimento e julgamento individual		-leva em conta somente a experiência de uma pessoa -justificativa da seleção geralmente não documentada -dificuldade de escolha do especialista	
b) Por um grupo	-seleção baseada no conhecimento do grupo, discussão e consenso	-baseada na experiência de diversos especialistas	-subjetivo	
2. Seleção baseada em métodos de ensaio disponíveis	-análise dos métodos de ensaio existentes e seleção dentre estes por um especialista ou grupo de especialistas	-facilidade de avaliação (métodos disponíveis) -facilidade de estabelecimento de níveis (quantificação) -exige recursos moderadamente intensivos	-não há o envolvimento direto do usuário -problemas de validade -métodos geralmente baseados em produtos existentes (não inovadores) -lacuna de conhecimento sobre métodos de ensaio em diversos campos	-um meio pragmático de seleção de critérios geralmente utilizado em especificações de desempenho -aplicável somente em áreas bem definidas
3. Seleção baseada em análise funcional	-definição da principal função desta em sub-funções, chegando-se finalmente a uma lista de critérios relacionados com a função, a uma seleção dentre estes (ou a vários outros métodos, p/ex. 1 ou 2).	-auxilia a estruturação do conhecimento disponível -uso orientado -ajuda a identificar lacunas de conhecimento -fácil de usar/não exige recursos intensivos	-não há o envolvimento direto do usuário -pressupõe um certo tipo de produto -não fornece informações novas -seleção subjetiva geralmente utilizada	-geralmente usado no desenvolvimento de produtos para criar idéias para aperfeiçoamento de produtos existentes. Um auxílio estruturado ao trabalho de desempenho

Tabela 4.4 - Continuação

MÉTODO	ATIVIDADE	VANTAGENS	PROBLEMAS	APLICABILIDADE
4. Seleção baseada no retorno de informações dos produtos em uso	- levantamento e análise da experiência e problemas com os produtos em geral	- usuário pode ser diretamente envolvido	- baseado em produtos existentes (não inovados)	- geralmente é a base de normas existentes
a) levantamento de queixas e registro de falhas	- levantamento somente de experiências negativas e problemas	- produtos inadequados podem ser eliminados	- define características negativas, não positivas - defasagem de tempo até que os problemas sejam identificados	- não recomendado para o desenvolvimento de especificações de desempenho
b) pesquisa de produtos em uso	- levantamento de experiências representativas (positivas e negativas) - pode usar uma análise estrutural como estrutura (por ex. um questionário)	- tanto características positivas quanto negativas são identificadas - é possível determinar se a ordem de importância dos atributos para o usuário - pode identificar atributos redundantes	- pode necessitar da espera por um período de familiarização com o produto até que os resultados sejam representativos	- pode ser usado para validar e desenvolver uma análise funcional a ajudar o trabalho de desempenho
5. Seleção baseada em estudo dos requisitos do usuário (pesquisa)	- participação direta do usuário na especificação do produto, ou pesquisa sistemática dos requisitos do usuário e transformação destes em critérios	- usuário diretamente envolvido - fornece critérios básicos para avaliação do desempenho relacionado com o uso - inovador	- geralmente exige recursos intensivos (contato com usuário, etc) - problemas metodológicos - transformações para linguagem mais técnica geralmente necessárias	- geralmente tarefa de pesquisa, necessária quando não encontra-se disponível uma base de informações já estabelecidas

4.1.6 Métodos de avaliação

O objetivo em se desenvolver modelos de comportamento do edifício, o que pode ser feito através de testes físicos, cálculos ou julgamento, é se poder obter critérios simples o suficiente para uma avaliação prática no projeto do edifício, no desenvolvimento de produtos e na seleção de produtos [37]. Os três modos de avaliação podem ser assim diferenciados quanto a seu uso específico [35].

I. Cálculos - Em função de um modelo teórico a partir das condições de exposição e das características do edifício, componente ou material pode-se determinar de forma analítica o comportamento em uso.

II. Testes (ensaios) - Basicamente existem dois tipos:

a - Ensaios de caracterização - são os ensaios da normatização prescritiva os quais visam a determinação de propriedades físicas e químicas .

b - Ensaios de desempenho - são ensaios em que se procura simular com a maior precisão possível as condições de exposição a que o edifício, componente ou material estão sujeitos. Conseguem-se com esses ensaios verificar o atendimento direto (ou não) aos critérios de desempenho.

As condições de ensaio (parâmetros de ensaio) em função das quais o desempenho é avaliado devem ser realísticas em relação as condições de uso. Isso implica em um conhecimento das condições de uso (ou exposição), frequentemente levantado em estudos estatísticos, que representem um valor extremo de solicitação ou valores médios [37].

Os critérios de ensaio geralmente são obtidos de uma simplificação das condições de exposição reais (geralmente de difícil simulação na sua totalidade). É necessário, então, existirem bases científicas claras com o fim de se associar resultados de ensaios de desempenho em condições simuladas a comportamento em

uso em condições reais. Deve também ser considerado que as condições de exposição podem variar de região para região particularmente devido a diferenças climáticas. Muito cuidado deve ser tomado no caso de adaptações de ensaios e critérios de ensaios de um lugar para outro [37].

Um ensaio de desempenho deve ser de natureza tal que o equipamento e o procedimento usado sejam capazes de nos dar um índice de precisão suficiente para o objetivo proposto. Deve também ser possível repetir o ensaio na mesma amostra (corpo de prova) ou em uma similar e obter os mesmos resultados, dentro dos limites de precisão estabelecidos (repetibilidade). Do mesmo modo deve ser possível obter basicamente os mesmos resultados em ensaios executados em diferentes laboratórios (reprodutibilidade) [40].

III - Julgamento - A avaliação do atendimento ou não aos critérios pode ser feita através da análise de especialistas no assunto. A aplicação desse método ocorre quando [35]:

- o critério é formulado de forma prescritiva, sendo o julgamento baseado na análise de projeto ou inspeção de protótipos.

- o estágio de conhecimento sobre determinada inovação tecnológica não permite uma avaliação conclusiva somente a partir de ensaios e cálculos.

4.2 A exigência estanqueidade

DAWANCE [41], coloca a função estanqueidade como a principal das funções a serem asseguradas pelas paredes externas. Isso nos parece evidente pois uma das funções do "envelope" do edifício é separar o meio interno do externo.

Dentre as 14 exigências básicas (do usuário) estabelecidas pela norma ISO-DP-6421 [tabela 1, item 4.1.2], a exigência estanqueidade compreende o contexto da penetração da água da chuva em alvenarias (estanqueidade dos líquidos).

A parede externa, portanto deve assegurar a estanqueidade do ambiente interno à ação da chuva sobre superfícies verticais. Isso quer dizer que a parede deve ser dotada de características e propriedades que lhe permitam resistir a ação da chuva não permitindo sua penetração para o meio interno.

As diversas concepções no que se refere aos diversos tipos de paredes variam quanto ao/s elemento/s responsável/is pela estanqueidade da parede à chuva. Em certos casos o revestimento é responsável pela garantia de estanqueidade, em outros o modo e disposição dos tijolos e argamassas. No que se refere a análise de desempenho, o que vai ser avaliado quanto à resistência à chuva (estanqueidade) é o componente parede (composto por seus diversos elementos). Variações quanto as diversas concepções são avaliadas pelo resultado global obtido pela aplicação da metodologia de desempenho.

O grau de exigência imposto à parede de modo a assegurar a estanqueidade à chuva varia conforme variam as condições de ex

posição de local para local.

4.2.1 Condições de exposição

No capítulo 3 descreveu-se os fatores e elementos inter-venientes bem como o mecanismo de incidência da chuva sobre a fachada do edifício.

Quanto a ação combinada de vento e chuva no sentido de se ter uma chuva incidente sobre superfície vertical, convém salient-
tar alguns aspectos referentes aos dois elementos no sentido de se poder quantificar o grau de exposição da parede.

I. Caracterização e determinação da velocidade do vento.

Usualmente o vento é medido através de anemômetros que determinam valores das velocidades das rajadas durante intervalos de tempo. A medida padrão de velocidade é feita a uma altura padrão de 10m, em terreno sem obstáculo, num raio mínimo de 200m.

Na verdade o fluxo de ar (vento) não é contínuo ocorrendo variações em relação a velocidade média (Fig. 4.2).

A velocidade média do vento varia com altura (Z), com a rugosidade do terreno e com a topografia local (capítulo 3). Com isso já se pode avaliar o grau de exposição no que se refere a altura e velocidade do vento a que a parede está sujeita.

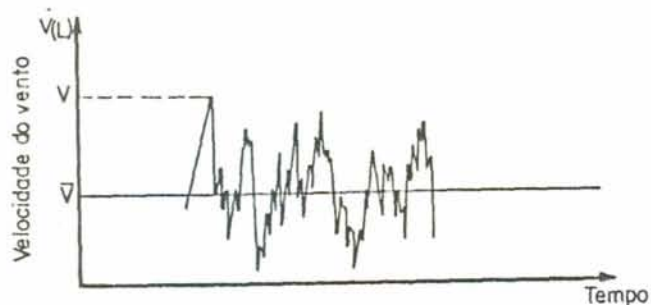


Fig. 4.2 - Variação da velocidade do vento.

Do capítulo 3, item 3.3.2, equação 10, temos:

A norma NBR - 7202- (Desempenho de janelas de alumínio em edificações de uso residencial e comercial) utiliza um fator $S3$ igual a um [42].

O fator $S1$ é dado pela tabela 3.4.

Já o fator $S2$ pode ser tirado da tabela 3.7, da qual apresentamos a tabela simplificada a seguir, em faixas de altura de 10 em 10 metros (tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Fator S2

Faixa	Altura acima do terreno H(m)	Terreno aberto obstruções	Terreno a- bertado obstruções	Terreno com poucas obstruções	Terreno com muitas obstruções	Terreno com grandes obstruções
A	10	1,00	0,93	0,78	0,67	
B	20	1,06	1,03	0,95	0,79	
C	30	1,09	1,07	1,01	0,90	
D	40	1,12	1,10	1,05	0,97	
E	50	1,14	1,12	1,08	1,02	
F	60	1,15	1,14	1,10	1,05	
G	80	1,18	1,17	1,13	1,10	
F	100	1,20	1,19	1,16	1,13	

A pressão a ser atribuída à incidência do vento sobre uma parede específica é expressa analiticamente por [12]:

$$p = q_x (C_e - C_i) \quad [\text{eq. 12}]$$

onde:

p -> pressão em Pascals

q -> pressão dinâmica Pascals (eq. 11)

(C_e - C_i) -> coeficiente aerodinâmico

No que se refere ao efeito da "proteção" podem-se ter elementos abrigados e desabrigados ocorrendo variação do grau de exposição de um caso a outro. Utilizando a metodologia proposta pelo CSTB (fig. 3.30 e 3.31) podemos especificar uma parede na fachada como abrigada ou desabrigada. Se a parede for considerada abrigada a pressão de incidência do vento pode ser especificada utilizando a Faixa A da tabela 4.5 (menor pressão determinada). Se a parede for considerada desabrigada, a faixa a utilizar corresponde a faixa respectiva a altura da parede no edifício.

Também deve-se levar em conta a avaliação em termos de

direção predominantes de ventos na fixação do grau de exposição.

De posse desses elementos pode-se atribuir o grau de exposição da parede com respeito a ação do vento.

II. Caracterização da intensidade e duração da chuva

Segundo PFAFSTETTER [43] as chuvas intensas de um posto (estação) podem ser expressas em função de três variáveis: precipitação, duração e tempo de recorrência.

Pode-se, então traçar, para cada tempo de recorrência, curvas que representem a relação entre a intensidade de chuva e a duração (figura 4.3).

Para um dado tempo de recorrência (T), quanto maior a duração da chuva, menor a intensidade de chuva e vice-versa. Empiricamente podemos observar que chuvas de intensidade grande geralmente são de curta duração (em termos médios).

O tempo de recorrência para uma certa precipitação corresponde ao período de tempo esperado \bar{t} que a precipitação se repita. Por exemplo: um tempo de recorrência de 5 anos corresponde ao intervalo esperado entre duas precipitações de mesma espécie (duração/intensidade). Nesse período podem ocorrer precipitações com tempo de recorrência maior ou ainda ocorrer a precipitação específica (T=5 anos) em um período menor que o esperado. Isso ocorre devido a aleatoriedade da ocorrência dos fenômenos meteorológicos.

Na verdade uma precipitação apresenta variações na intensidade de chuva durante o seu transcurso. Em função disso se torna bastante complexa a análise global de uma precipitação.

Esse grau de complexidade é bastante aumentado pelo fato de ser necessária a análise da concomitância vento e chuva para se poder obter a intensidade de chuva sobre a superfície vertical (quantifica o grau de exposição no que se refere à incidência da chuva sobre a parede).

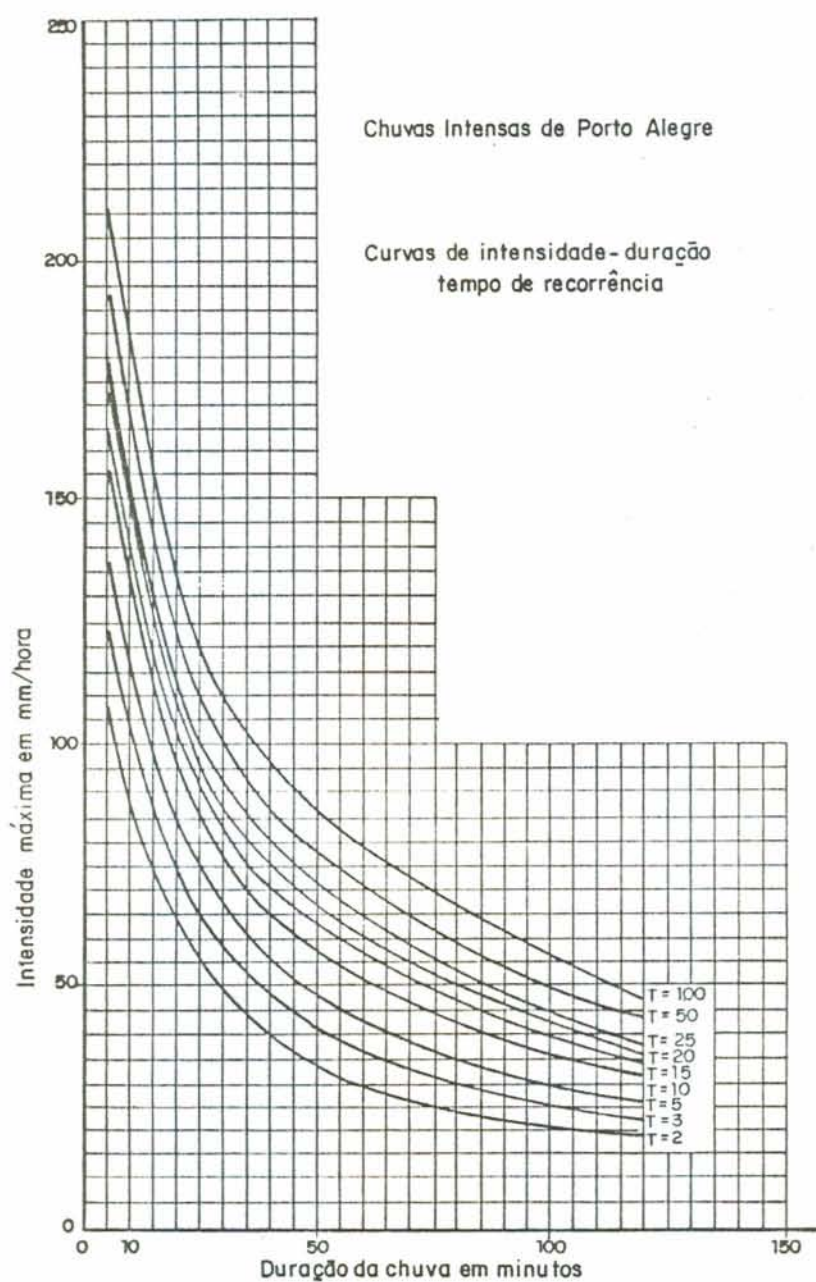


Fig. 4.3 - Curvas de intensidade, duração e tempo de recorrência.

4.2.2 Requisitos e critérios de avaliação de desempenho

Do confronto das condições de exposição com as exigências do usuário temos os requisitos de desempenho (item 4.1).

Quanto à estanqueidade das paredes quanto à chuva, os requisitos obtidos do confronto citado podem ser esquematicamente expressos conforme a figura 4.4.



Fig. 4.4 - Determinação dos requisitos.

Podemos então expressar o requisito quanto à estanqueidade à água da chuva da seguinte maneira:

REQUISITO: "As paredes, quando componentes do envelope do edifício, devem garantir a total estanqueidade do ambiente interior frente a ação da água da chuva incidente sobre as mesmas".

No que se refere a estabelecer critérios, temos sempre de levar em conta o método de avaliação (item 4.1.5).

Quanto à natureza do critério de estanqueidade da parede (em relação à chuva), podemos dizer que ele é absoluto, ou seja, não é permitida a passagem de água através das paredes para o ambiente interno.

Por agora iremos enunciar um critério de avaliação de desempenho provisório pois ainda não temos as condições específicas do ensaio de estanqueidade (critérios ou parâmetros de ensaio). O critério provisório quanto a estanqueidade a água da chuva pode, então, ser expresso do seguinte modo:

CRITÉRIO PROVISÓRIO: "As paredes, quando componentes do envelope do edifício, não devem permitir a penetração da água para sua face interna quando submetidas a ensaio específico de estanqueidade no qual seja simulada a incidência de chuva e vento em função do grau de exposição da parede", (critérios de ensaio - item 4.2.3.6 e capítulo 5).

4.2.3 Métodos de avaliação

A avaliação da estanqueidade a água da chuva em paredes, é feita através de ensaios de desempenho. Outros meios de avaliação (cálculos e julgamento) são inviáveis devido à complexidade dos fenômenos envolvidos.

Ao se estabelecer um ensaio de estanqueidade de um elemento, deve-se analisar a(s) forma(s) como ocorre a penetração da chuva, para então se poder simular as condições de exposição no ensaio.

Partindo-se da classificação de GARDEN [16] (item 3.2, figura 3.2), podemos especificar os fatores que influenciam na penetração da água da chuva em paredes de alvenaria (que é o nosso caso).

Em termos gerais, as aberturas que podem existir em paredes de alvenaria (poros, fissuras, juntas mal executadas, etc.) são de ordem de grandeza máxima aproximada de 1mm (item 3.2). Então, conforme a classificação de GARDEN, as formas de penetração da água da chuva são:

- capilaridade
- pressão de vento
- gravidade

Essas formas de penetração geralmente ocorrem simultaneamente, ocorrendo variações de caso para caso (tipos de paredes).

Para o caso do ensaio de janelas, por exemplo, outros fatores já tem ordem de grandeza diferente. A energia cinética das gotas é muito mais importante para o ensaio de janelas do que para o de paredes de alvenaria.

Em termos gerais os ensaios de penetração de água da chuva em paredes são feitos criando-se uma película (filme) de água sobre a superfície da parede e aplicando-se uma pressão estática de ar. No caso, o filme de água representa a chuva que escorre pela parede e a pressão de ar o vento incidindo sobre a parede [14].

A forma como esses elementos são simulados e o procedimento de ensaio é que varia de caso para caso (método para método).

Descrevemos a seguir, vários métodos e equipamentos de ensaio desenvolvidos para análise da penetração da água da chuva em paredes.

4.2.3.1 Método de ensaio do INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS [44,45]

Basicamente consiste na simulação de chuva em uma câmara de ensaios, criando-se uma película de água homogênea e contínua sobre a superfície do corpo de prova (painel de parede) com aplicação simultânea de pressão pneumática.

Para realização do ensaio é necessário utilizar uma câmara de formato prismático, de dimensões compatíveis com o corpo de prova (fig. 4.5, 4.6 e 4.7), estanque e provida de:

- abertura em uma das faces para a fixação do corpo de prova,
- orifício de saída de água na base, provido de sifão que possibilite a formação de um fecho hídrico no interior a câmara,
- orifício para ligação da alimentação de água, do sistema de aplicação de pressão, do manômetro e da saída de ar,

Os critérios de ensaio no que se refere a pressão pneumática e vazão de água são:

- pressão 300 ± 5 Pa
- vazão $3,0 \pm 0,3$ dm³/min.

A duração do ensaio é de 7 horas.

Devem ser ensaiados pelo menos dois corpos de provas idênticos com as seguintes dimensões mínimas:

- largura 105 cm
- comprimento 135 cm

O corpo de prova é preso a câmara por 6 grampos no mínimo, com o fim de se evitar fuga de pressão pelas bordas da abertura da câmara.

Para cada corpo de prova deve-se registrar:

- o tempo de ensaio quando do aparecimento da primeira mancha de umidade na face interna, oposta à incidência de água e pressão.

- a porcentagem da área da mancha de umidade ao final do ensaio em relação à área total da face interna, oposta à incidência da água e pressão.

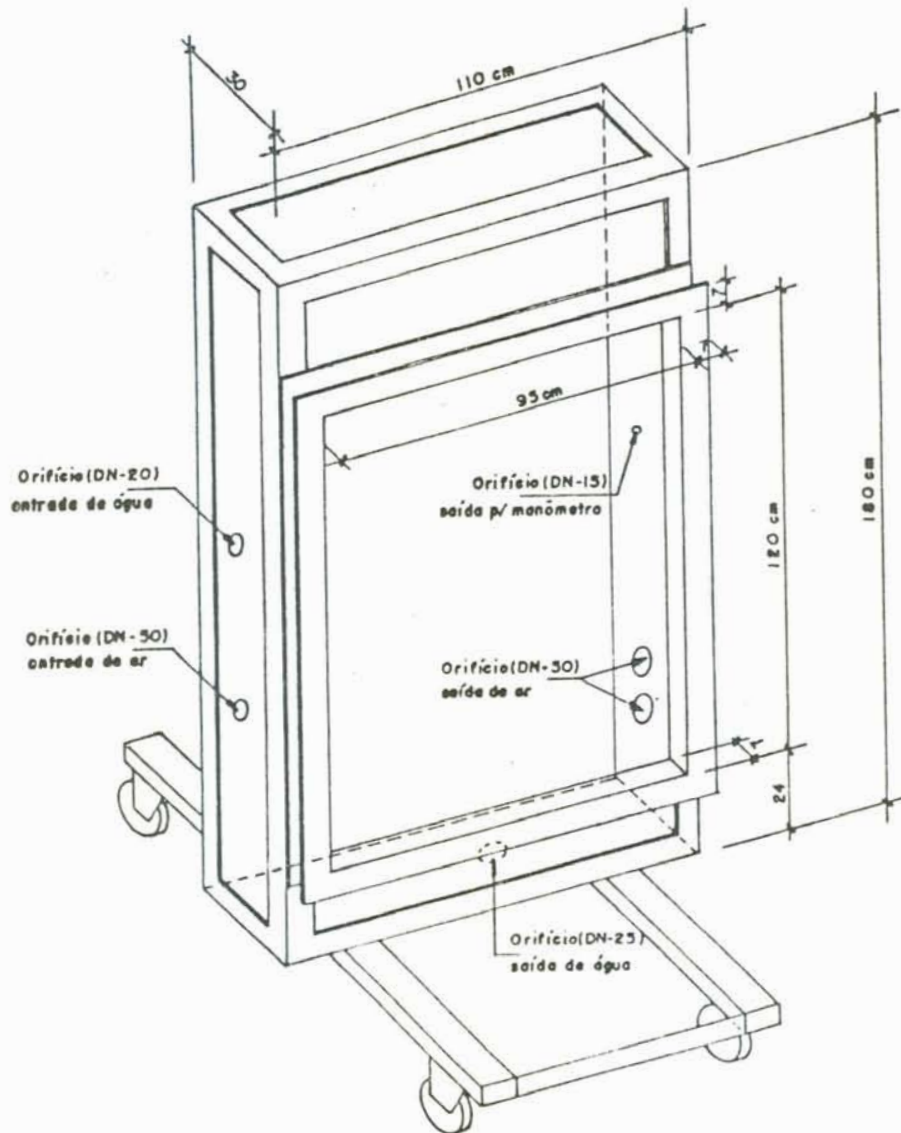
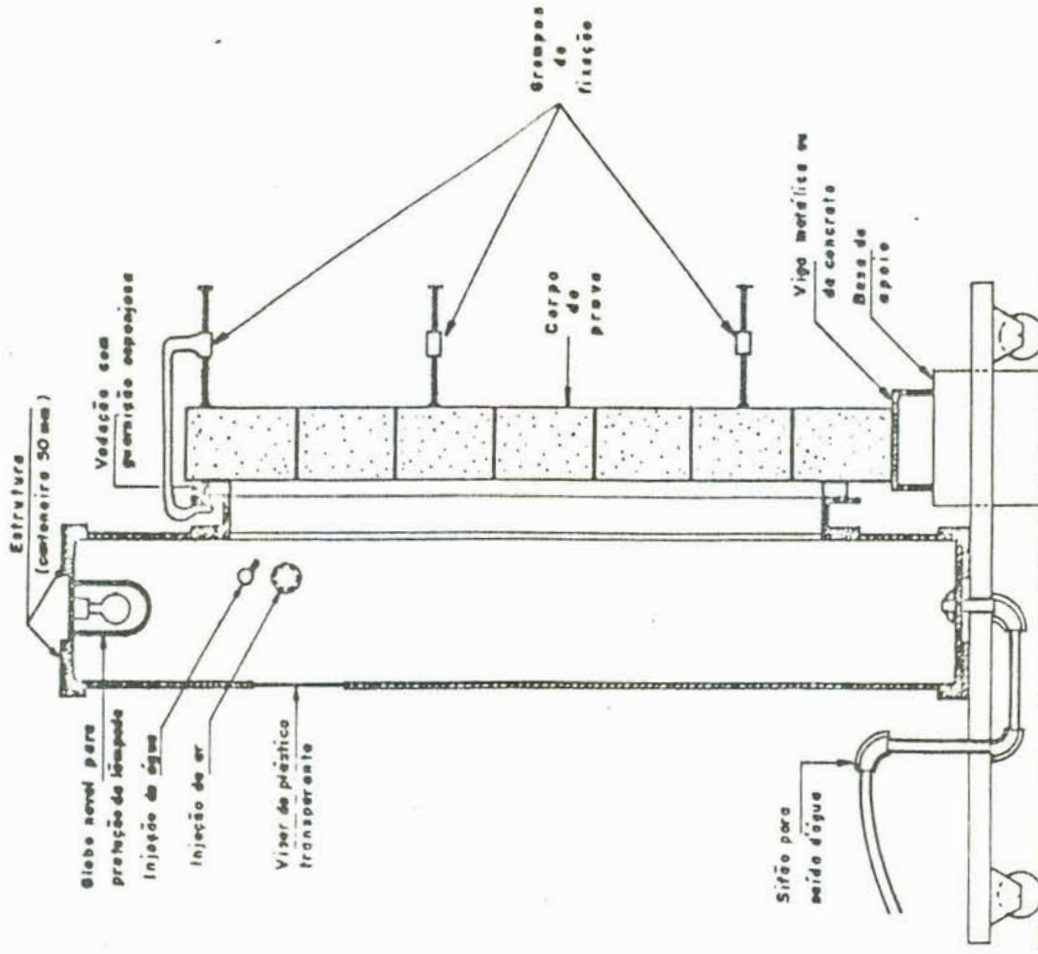
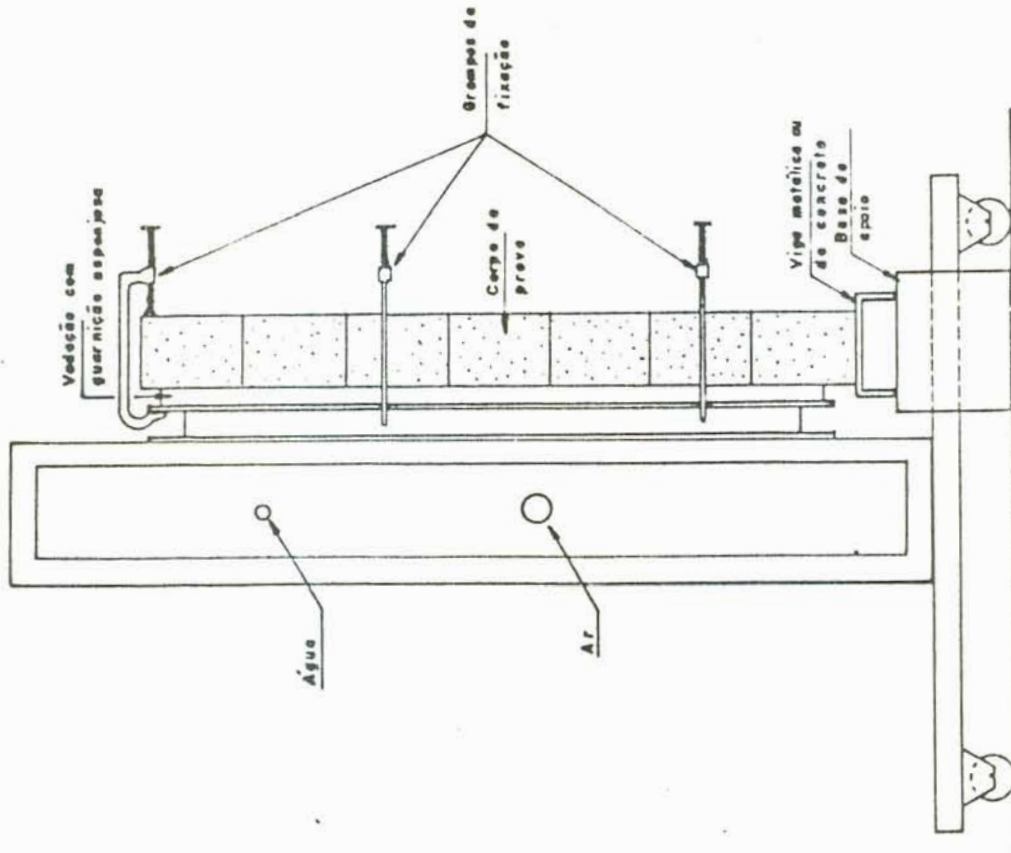


Fig. 4.5 - Câmara de ensaios.

Corte vertical



Vista lateral



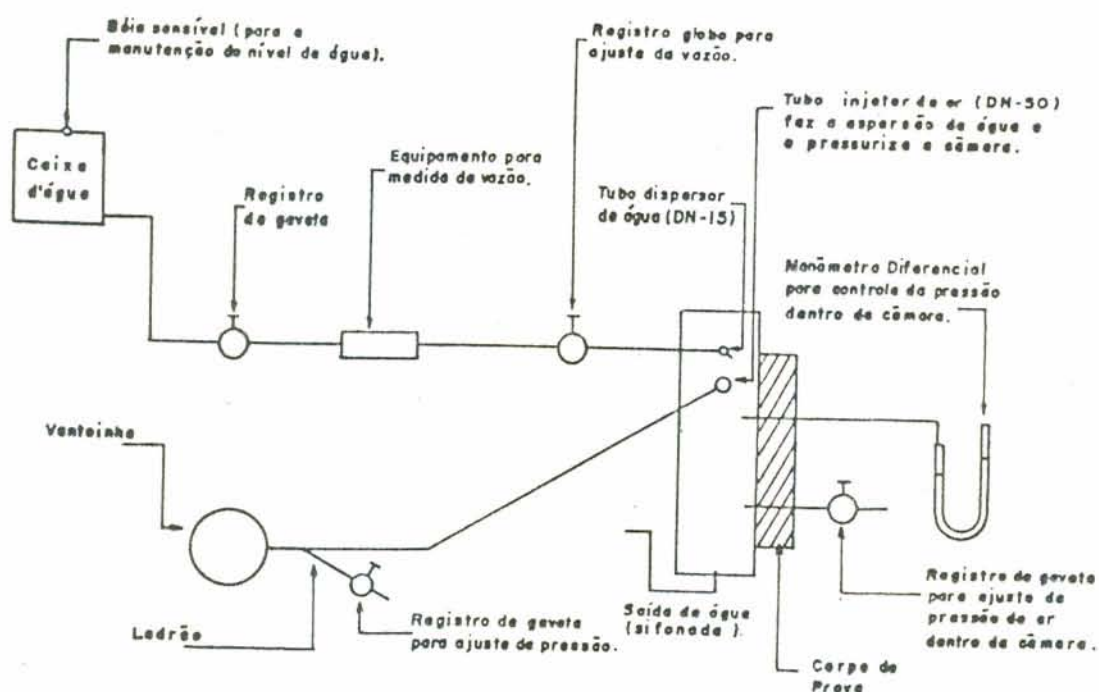


Fig. 4.7 - Circuito de alimentação do equipamento.

4.2.3.2 Método de ensaio preconizado pelo CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT (43.473)

Esse ensaio é destinado ao estudo e controle da resistência a penetração da água da chuva de paredes exteriores.

O princípio do método consiste em uma pulverização de água sobre a face exterior da parede, juntamente com a aplicação de uma pressão estática de ar, durante uma duração especificada.

As paredes aa seres ensaiadas devem ter dimensões mínimas de 1,50 x 1,50m.

O equipamento utilizado para realização do ensaio consiste em uma câmara (fig. 4.8) no interior da qual é simulada a ação de chuva e vento através de dispositivos e equipamentos que per-

mitam o controle das variáveis básicas (vazão, pressão de ar).

As características do ensaio são:

- I) Vazão de água constante igual a 24 l/m/h.
- II) Pressão estática de ar igual a 100 Pa
- III) Duração 24 horas.

As observações e medidas feitas quando da realização do ensaio são:

- I) Observação do tempo e do lugar onde surgiu a água na face interior (da parede).
- II) Medição da quantidade de água que vaza através da face interior.
- III) Pesagem da parede antes e depois do ensaio.
- IV) Repetição do ensaio após a "impermeabilização parcial" da face exterior com o fim de localizar zonas ou pontos de infiltração.
- V) Destruição da parede a fim de observar as partes úmidas e medir a umidade das diversas partes através de pesagem.

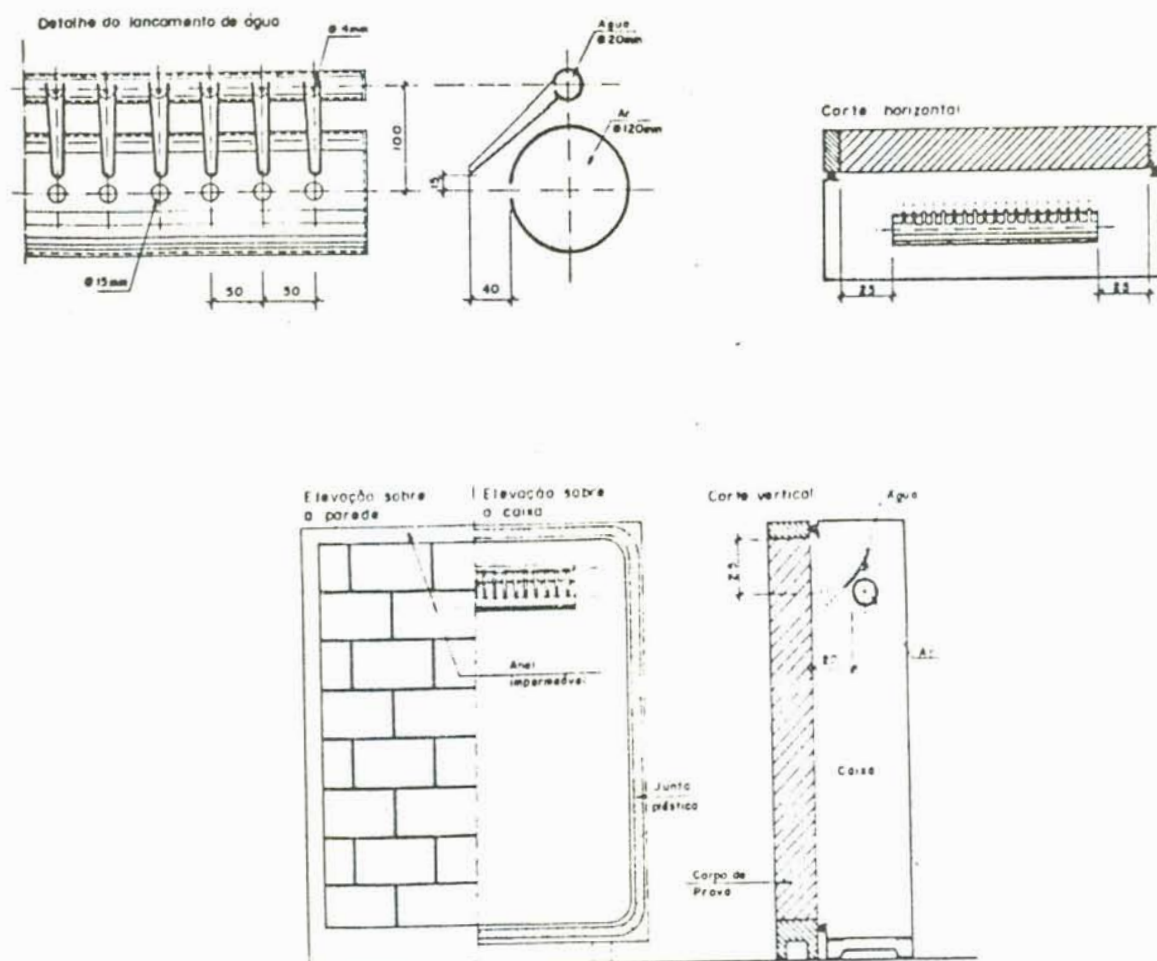


Fig. 4.8 - Equipamento de ensaio de estanqueidade (CSTB).

4.2.3.3. Método de ensaio do BRITISH STANDARDS INSTITUTION [48]

O ensaio para determinação da resistência à penetração da água da chuva em paredes de alvenaria é descrito na norma BS 4315 - Methods of test for resistance to air and water penetration. Part 2: Permeable walling constructions (water penetration).

Basicamente o ensaio consiste na aplicação de jatos de água durante um minuto para cada meia hora de ensaio. A pressão de ar é constante durante todo o ensaio.

O corpo de prova deve ser construído no mínimo 14 dias antes da execução do ensaio e deve ser curado em condições específicas conforme abaixo:

- temperatura 10 a 95 graus Celsius
- umidade relativa do ar 40 a 70%.

As dimensões mínimas dos corpos de prova são 2,00 x 2,00m sendo que a área de teste é uma região central de 1,0 x 1,0m na parede.

O equipamento (fig.4.9) consiste basicamente em:

- I) Câmara de ensaio possuindo sistemas de fornecimento e medição de ar e água.
- II) Quadro rígido formado de perfil de aço 3,0 x 3,0 de tipo positivo para içamento e pesagem.
- III) Equipamento "Time-Lapse"
- IV) Coletas e medidas de vazão de água.

As características do método de ensaio são:

- I) Vazão de água (jatos)
25ml/min para cada centímetro de largura da área de teste.

II) Pressão estática de ar igual a 500,0 Pa

III) Duração do ensaio 48 horas sendo que a cada meia hora se aplica um jato de água na duração de um minuto.

O modo de avaliação do grau de penetração pode ser:

I) Método A: pela medição do aumento da área de umidade com o tempo, na face da parede que não recebe os jatos de água (através de filmagem "Time-Lapse"), durante o ensaio.

II) Método B: registro de peso do corpo de prova durante o ensaio.

III) Método C: coleta e medição da água que vazou através da parede no decorrer do ensaio.

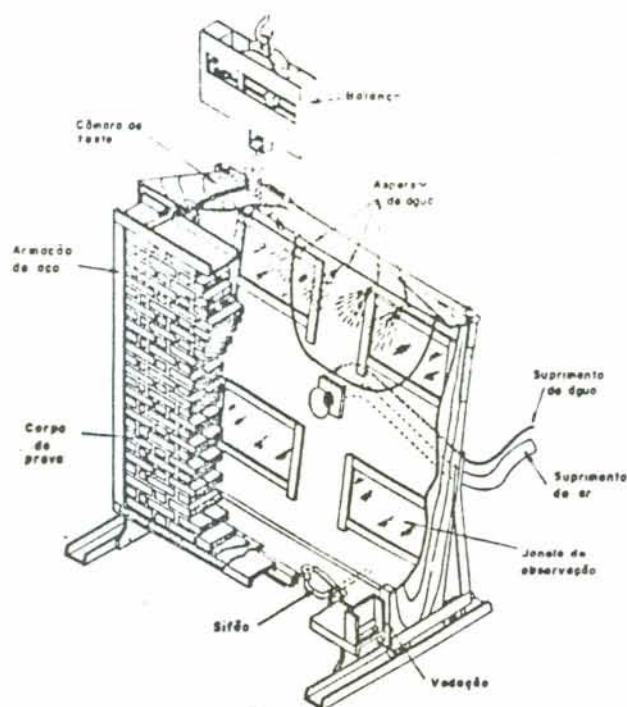


Fig. 4.9 - Equipamento de ensaio de estanqueidade (BSI).

4.2.3.4 Método de ensaio do BUILDING RESEARCH INSTITUTE

O "Standard of test for rain mater penetracion" [49] avalia a estanqueidade à água em corpos de prova (paredes) através da simulação das condições de exposição, chuva e vento em uma câmara de ensaios.

O corpo de prova deve ser usado em condições ambientais de laboratório no mínimo por 7 dias, sendo então acoplado à câmara de ensaios por mais 7 dias antes do ensaio.

O equipamento é constituído de:

I) Câmara de ensaio de dimensões $2,0 \times 2,0 \times 0,60m$ provida de sistemas de suprimento e medição de água e ar.

II) Armação de aço onde será confeccionado o corpo de prova para o ensaio.

III) Compressor de ar com capacidade de aplicação de pressão acima de 2500 Pa.

IV) Sistema de aspersão com capacidade de aplicação de $6l/min. m^2$.

As características e metodologia do ensaio são:

I) Método A: a aplicação de pressão pneumática varia de 5 em 5 minutos, de 0 a 6130 Pa (tabela 4.6).

A vazão de aspersão é de 4 l/min. m^2 durante todo o ensaio.

A cada troca de nível de pressão a aspersão de água é interrompida temporariamente para drenar a água que vazou e es-
correu na face oposta da parede.

II) Método B: o mesmo corpo de prova deve novamente ser submetido às condições de cura. Com o mesmo nível de pressão de ar em que ocorreu o vazamento de água (no método A) observa-se se ocorre novamente o vazamento durante os 5 minutos de realização do ensaio.

A avaliação é feita classificando-se o corpo de prova conforme a tabela 4.6.

Quando da execução pelo método B, se ocorrer vazamento de água, o corpo de prova é classificado na classe que possuir pressão de ar imediatamente inferior àquela que provocou o vazamento. Caso não ocorra vazamento o CP é classificado na classe correspondente à pressão que foi submetido.

Tabela 4.6 - Classificação em Função da Pressão de Vazamento

Classe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pressão (Pa)	0	60	250	550	980	1530	2210	3930	6130	
Velocidade equivalente do vento (m/s)	(0)	(10)	(20)	(30)	(40)	(50)	(60)	(80)	(100)	

4.2.3.5 Método de ensaio da ASTM [50]

O principal objetivo desse método é avaliar o efeito de penetração de água da chuva em alvenarias em função de 3 variáveis principais:

- propriedades dos materiais (incluindo revestimentos, pinturas)
- detalhes de construção de paredes
- qualidade da mão de obra.

O ensaio consiste em se aplicar um filme de água juntamente com uma pressão estática de ar sobre a face da parede (corpo de prova). Para isso faz-se necessário o uso de uma câmara de ensaios (fig. 4.10 e 4.11) dotada de dispositivos de medição e controle com o fim de se regular o equipamento para os critérios de ensaio a seguir:

- vazão de aspersão 2,31 l/min. m².
- pressão estática de ar 479 Pa
- duração 24 horas

O corpo de prova de dimensões 9,92 x 1,21m deve ser moldado conforme condições reais de obra. A cura deve ser no mínimo de 28 dias e no máximo 60 dias. Após o ensaio, o corpo de prova fica em observação por mais 48 horas para verificação do aparecimento de manchas de umidade.

As observações a serem feitas são as seguintes:

I) Durante as 3 primeiras horas devem ser feitas observações contínuas anotando-se quaisquer alterações.

II) Após 3 horas as observações podem ser feitas em intervalos espaçados sendo necessário registrar:

- tempo de surgimento da mancha de umidade
- tempo de ocorrência de vazamento
- tempo de ocorrência de escoamento ($> 0,05$ l/h)
- maior taxa de escoamento e tempo em que ocorreu
- maior taxa de escoamento no tempo de 24 horas
- área de umidade na face oposta a da incidência de água (%).

A avaliação e classificação do corpo de prova é feita da seguinte maneira:

I) Classe E

- não ocorrer vazamento durante as 24 horas.
- se ocorrer mancha de umidade, esta deve ser menor que 25% da área da parede até 48 horas após o final do ensaio.
- não ocorrer escoamento de água.

II) Classe G

- não ocorrer vazamento durante ensaio.
- caso ocorra mancha, deverá ser menor que 50% da área da parede, até 24 horas após o ensaio.
- não ocorrer escoamento.

III) Classe F

- ocorrer vazamento de água entre 3 e 24 horas durante o ensaio.

- ocorrência de escoamento com vazão menor que 1 l/h durante as 24 horas de ensaio.

IV Classe P

- ocorrência de vazamento de água nas 3 horas iniciais e escoamento (menor que 5 l/h) durante as 24 horas de ensaio.
- vazamento de água entre 3 e 24 horas de aspersão e escoamento com vazão entre 1 l/h e 5 l/h.

V) Classe L

- ocorrer escoamento com uma vazão maior que 5 l/h durante a aspersão.

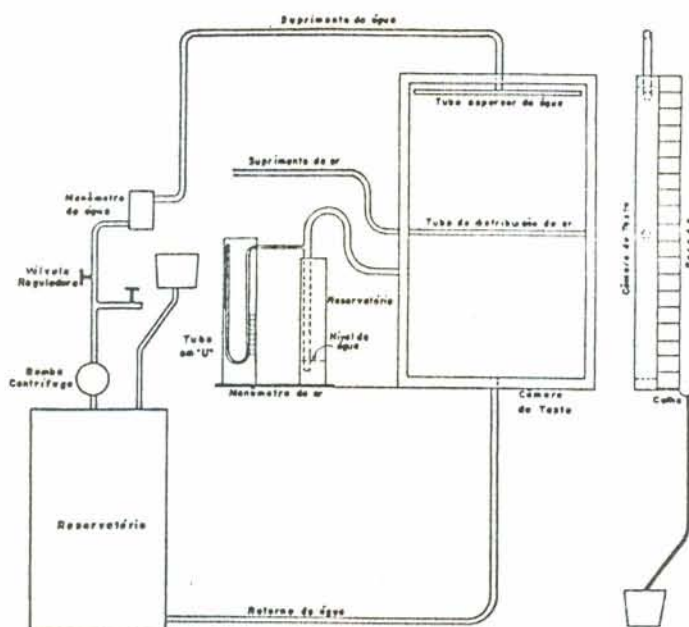


Fig. 4.10 - Fluxo de alimentação da câmara de ensaios.

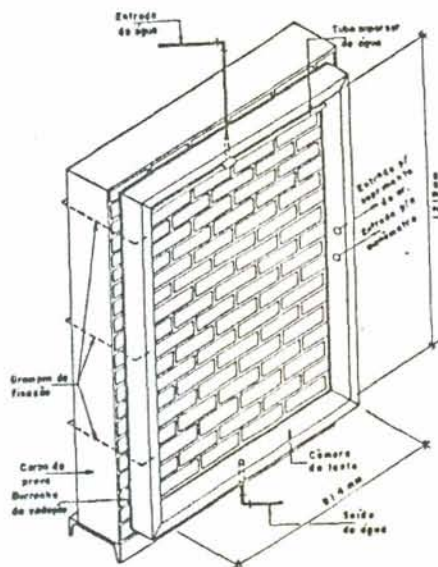


Fig. 4.11 - Câmara de ensaios

4.2.3.6 Método de ensaio desenvolvido na U.F.R.G.S.:

O equipamento e a metodologia de ensaio desenvolvidos por nós na UFRGS tem por função avaliar a estanqueidade das alvenarias frente a ação combinada vento/chuva.

Para tanto construiu-se uma câmara de testes (fig. 4.12 e 4.13) capaz de simular através de uma película de água sobre a parede, e da aplicação de uma pressão estática de ar, a ação respectiva da chuva e do vento.

A câmara de ensaios é provida de:

I) Abertura em uma das faces através da qual se aplica a

água e a pressão de ar sobre o corpo de prova. A área da abertura é de 1 m², sendo a altura de 1120mm e a largura de 900mm (ver fig. 4.12 e foto 01).

II) Barra de aspersão de água, a qual produz e direciona o filme de água sobre o corpo de prova (foto 01 e 02).

III) Sistema de fornecimento de ar (foto 03).

IV) Sistema de fornecimento de água (foto 04).

V) Sistema de esgotamento de água (foto 05) provido de sifão .

VI) Sistema de medição e regulagem da vazão de água e pressão estática do ar (foto 06).

Os parâmetros de ensaio como também o procedimento são definidos em função da metodologia de análise dos dados meteorológicos desenvolvidos no capítulo 5.

O ensaio é dividido em duas fases:

- Fase I:

Aplicação de um filme de água sobre a superfície do corpo de prova sem aplicação de pressão.

A duração é de 2,5 horas e a vazão de água deve ser suficiente para criar o filme de água (foto 07).

- Fase II:

Aplicação de um filme de água juntamente com uma pressão estática de ar.

A duração é de 2,0 horas sendo a vazão de 3,0 l/min. e a pressão de 260 Pa.

O procedimento para execução dessa fase é o seguinte:

I) Aproximação e fixação da câmara junto ao corpo de prova (fotos 08, 09 e 10).

II) Ajuste grosseiro da pressão estática de ar (foto 11)

III) Ajuste fino da pressão estática de ar (foto 12)

IV) Ajuste grosseiro da vazão de água (foto 13)

V) Ajuste fino da vazão de água (foto 14)

Os corpos de prova a serem ensaiados devem ter largura e altura mínimos respectivamente de 1110 por 1320mm. A espessura não é fixada (foto 15).

Deve ser feito um capeamento dos corpos de prova com argamassa no sentido da espessura com o fim de se evitar uma fuga de pressão nesse sentido.

A avaliação é feita através de observação da face oposta a incidência de água e pressão e marcação da mancha de umidade nos respectivos tempos de leitura (fotos 16, 17 e 18). Adota-se fazer leituras nos seguintes tempos (tanto na Fase I como na Fase II):

- 5 minutos.
- 15 minutos.
- 30 minutos.
- 60 minutos.
- 90 minutos.
- 120 minutos.
- 150 minutos.

Deve-se determinar o tempo de surgimento da primeira mancha, os pontos de escoamento e a área total (em percentual) uma decida ao final do ensaio.

4.2.3.7 Cuidados a serem observados na interpretação dos resultados.

A avaliação dos resultados de ensaio deve ser dotada de certas precauções de modo a evitar interpretações errôneas dos resultados obtidos.

Podem ser destacados, a esse respeito os seguintes aspectos:

I) Impossibilidade de fixar com rigor as características do método. Em função da aleatoriedade e grande variação de local para local dos fenômenos envolvidos, são de difícil simulação os parâmetros:

- chuva
- vento
- duração

II) Não reprodução em laboratório dos fenômenos de umidificação e secagem sucessivos (dependem da temperatura, umidade relativa do ar, etc.).

III) Dificuldade de reproduzir em laboratório os defeitos reais que ocorrem na parede.

Portanto, sabendo-se das limitações do método de ensaio é possível uma avaliação mais realística do desempenho obtido da parede.

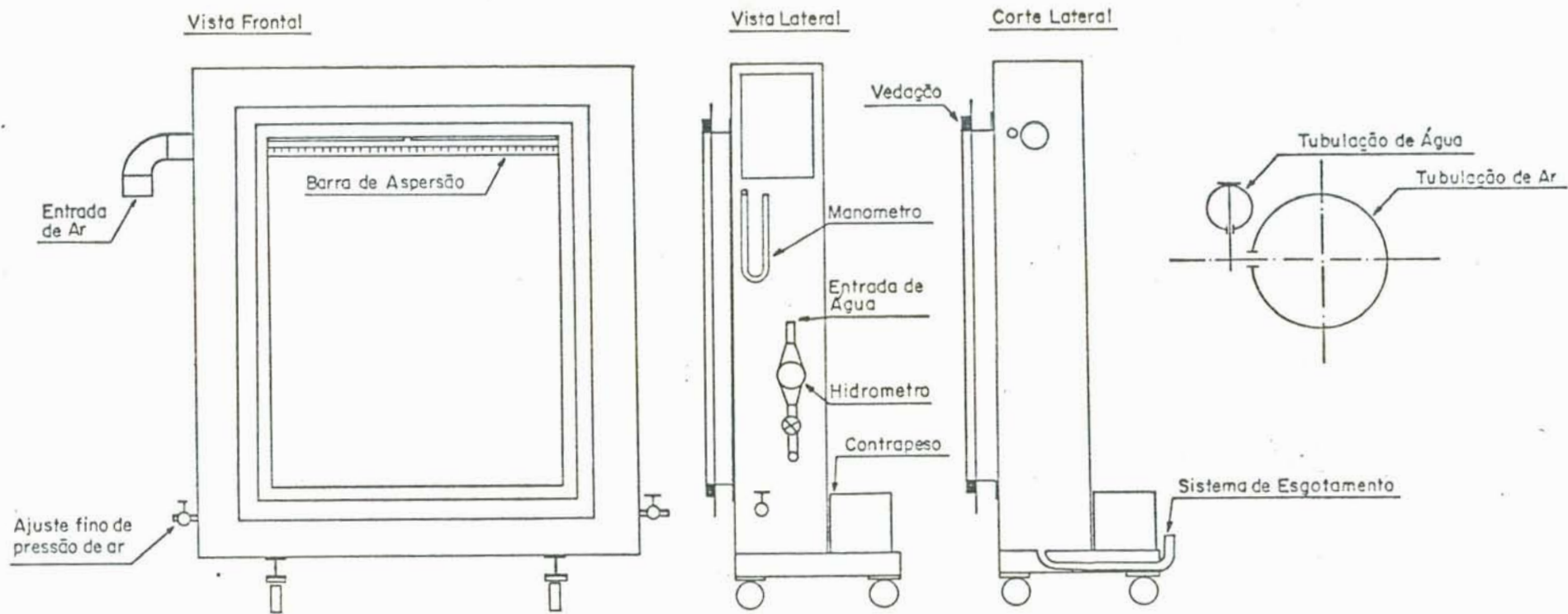


Fig. 4.12 - Disposição da cmara de ensaios

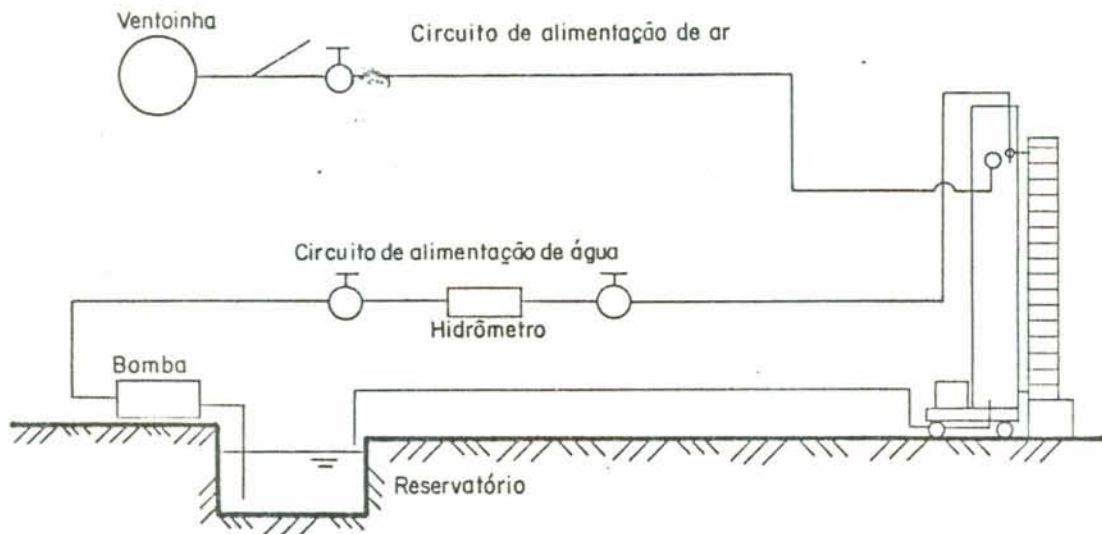


Fig. 4.13 - Circuitos de alimentação da câmara.

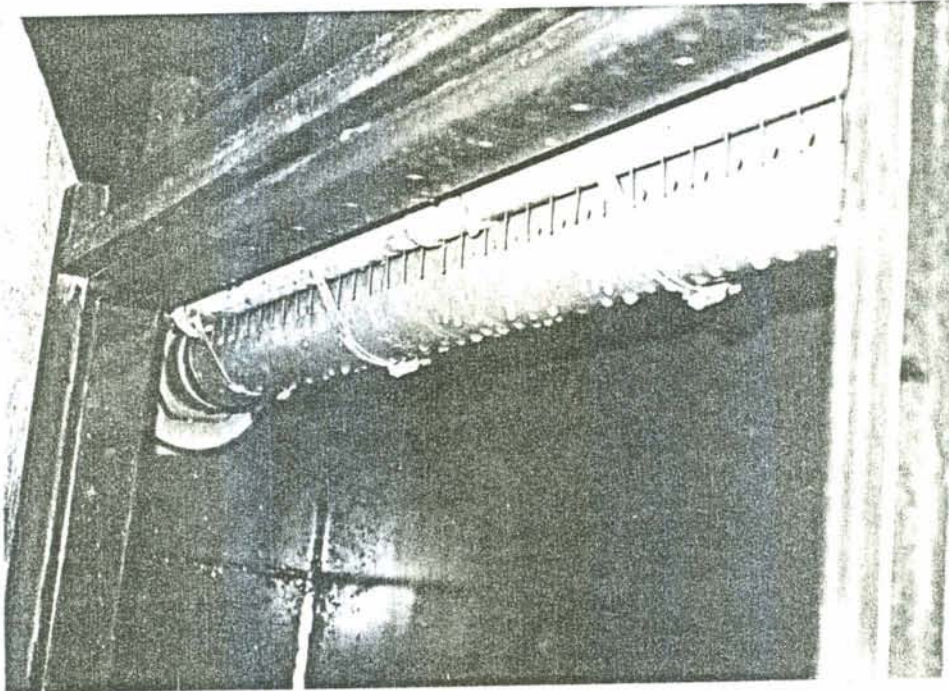


Foto 01 - Detalhe da área de exposição da câmara.



Foto 02 - Detalhe da barra de aspersão (sem aplicação de ar).

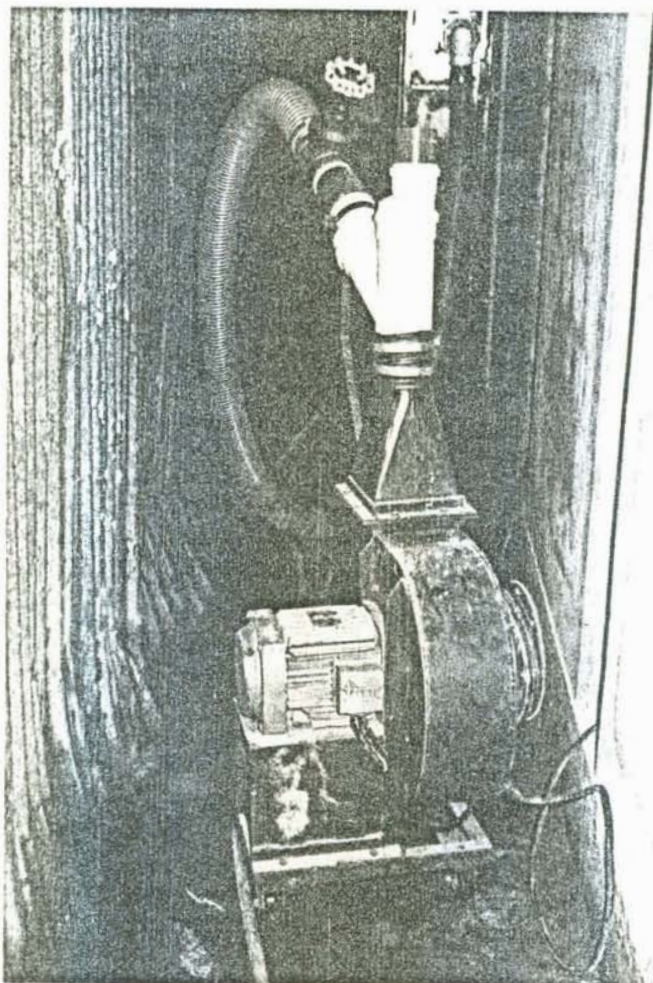


Foto 03 - Sistema de fornecimento de ar.

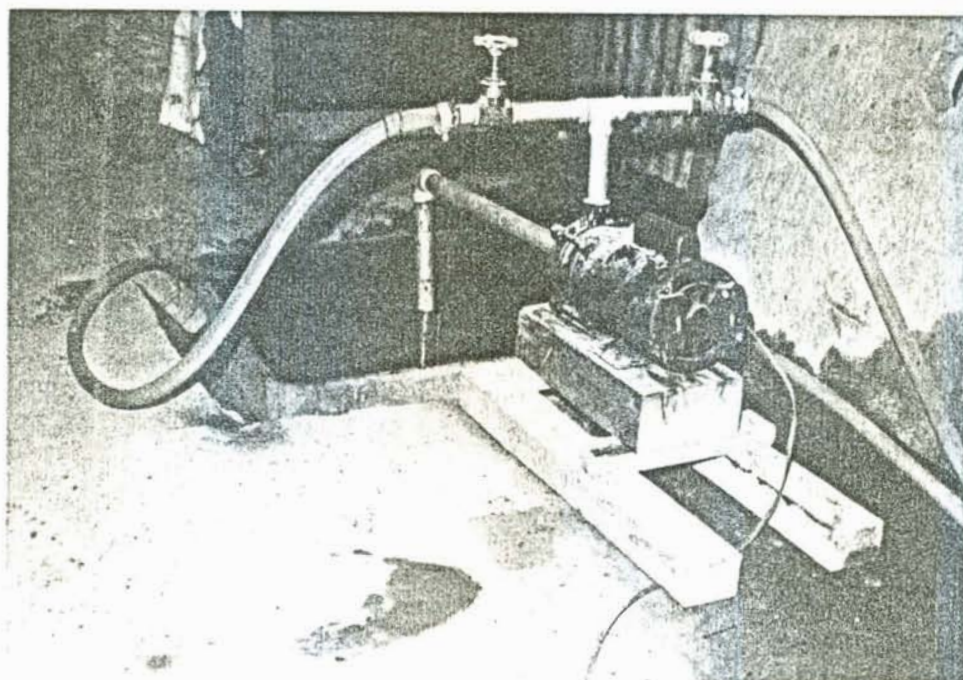


Foto 04 - Sistema de fornecimento de água.

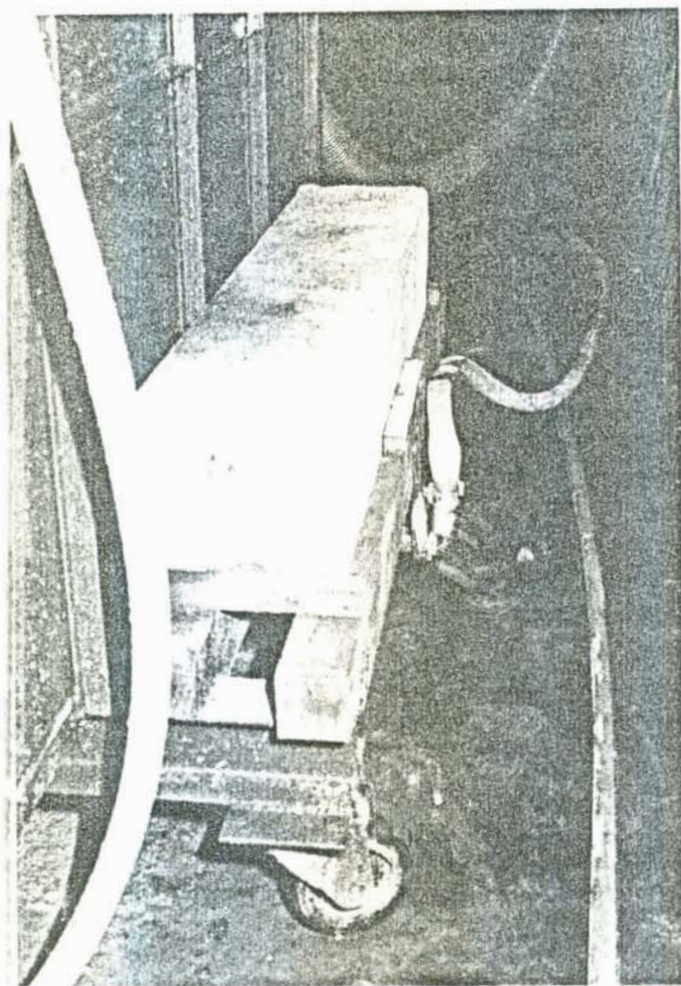


Foto 05 - Sistema de esgotamento de água.

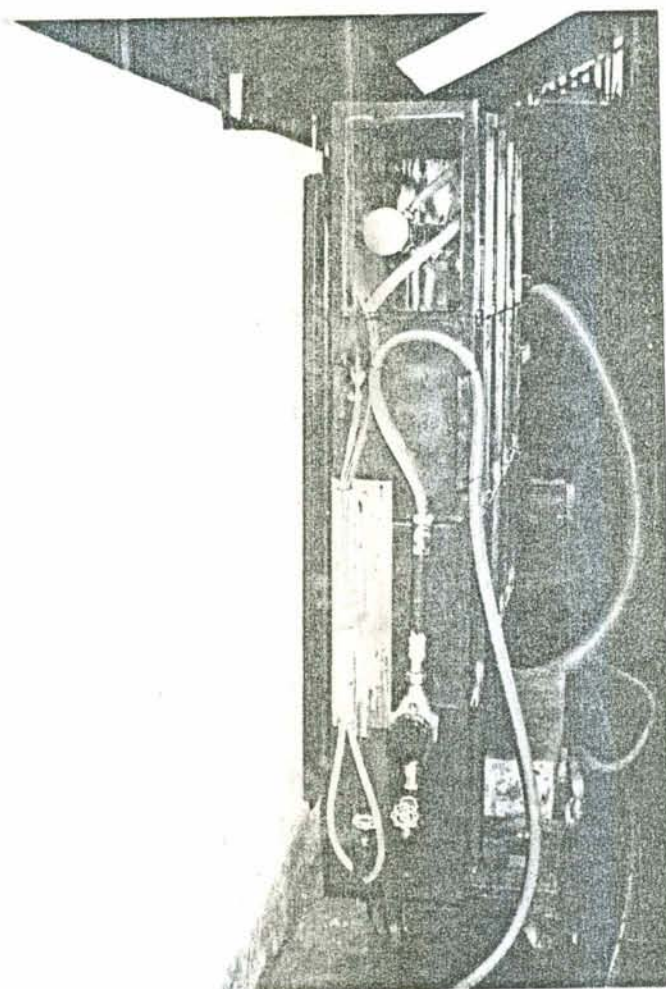


Foto 96 - Sistema de medição e regulagem da vazão e pressão.

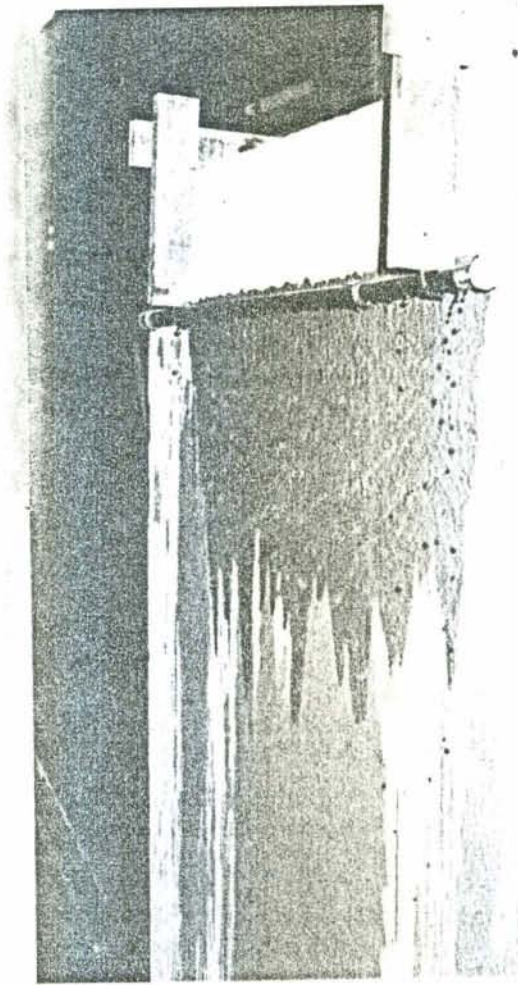


Foto 07 - Fase I do ensaio.



Foto 08 - Aproximação da câmara ao corpo de prova.

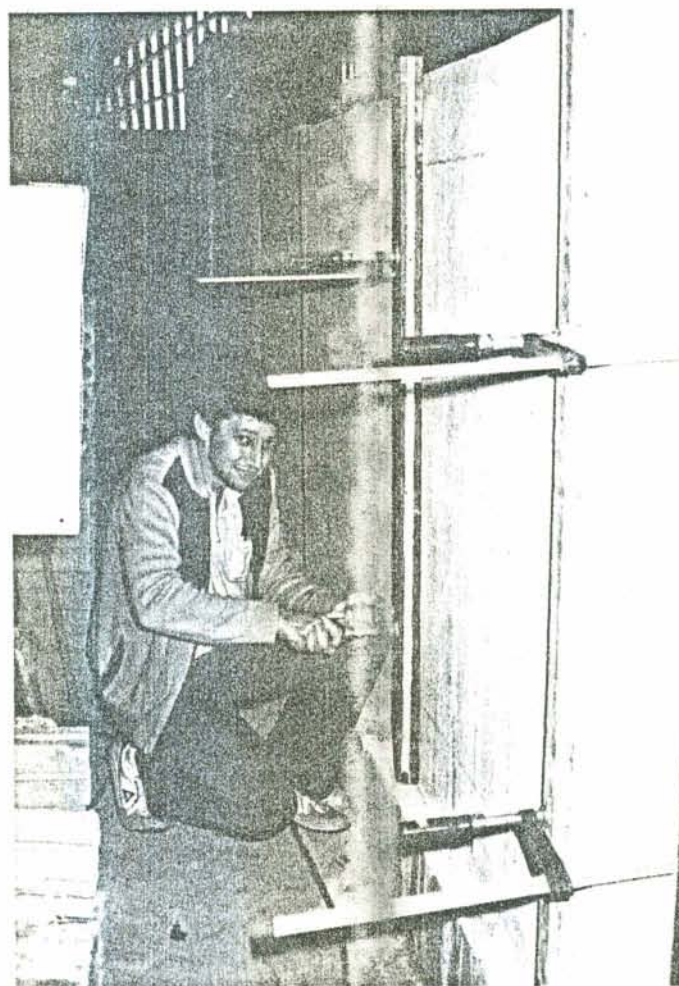


Foto 09 - Fixação da câmara ao corpo de prova.

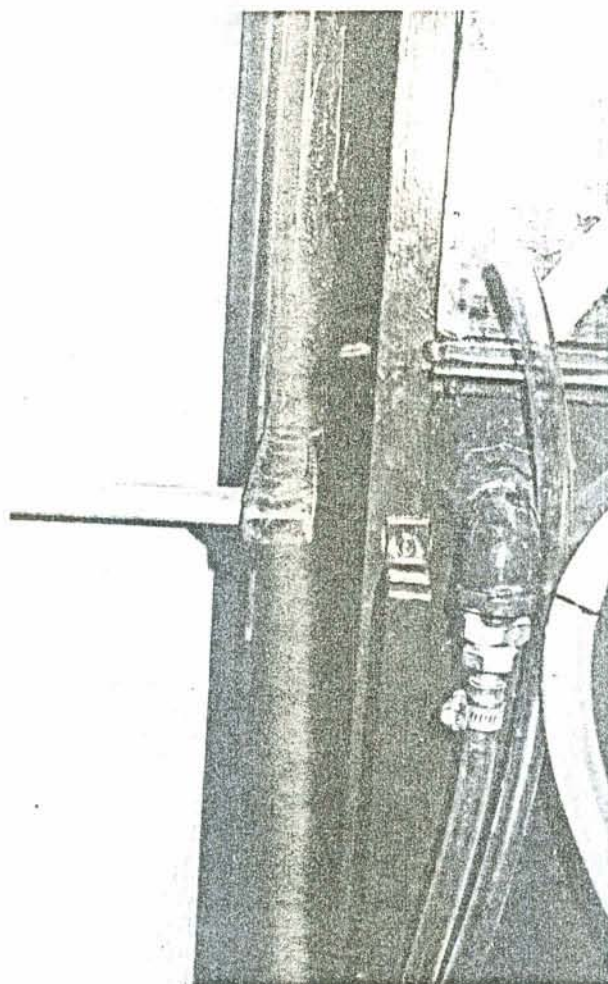


Foto 10 - Detalhe da fixação.



Foto 11 - Ajuste grosseiro da pressão de ar.

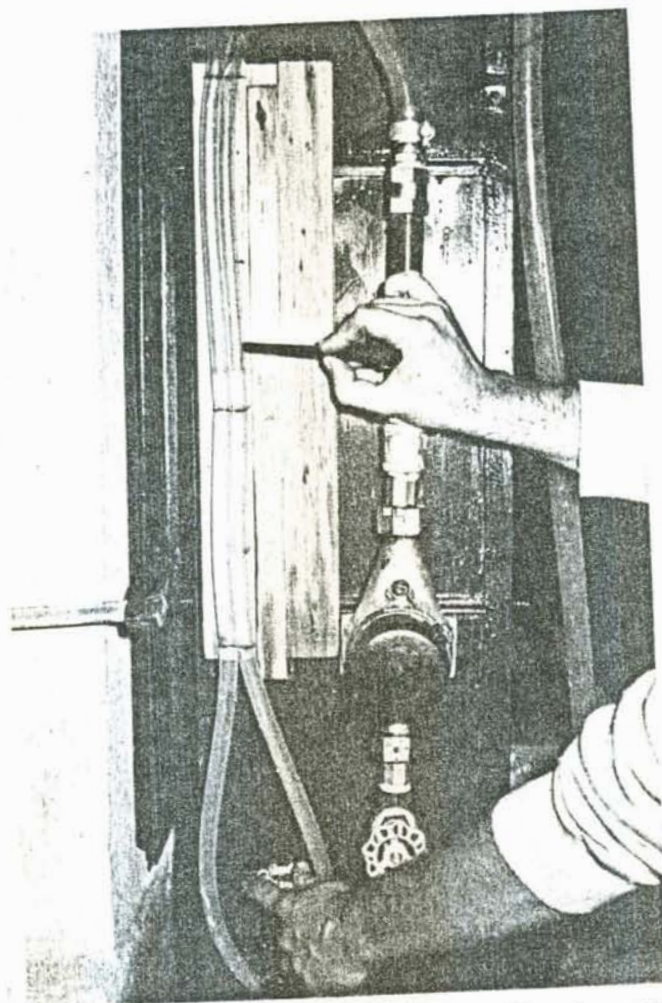


Foto 12 - Ajuste fino da pressão de ar



Foto 13 - Ajuste grosseiro da vazão de água.



Foto 14 - Ajuste fino da vazão da água.

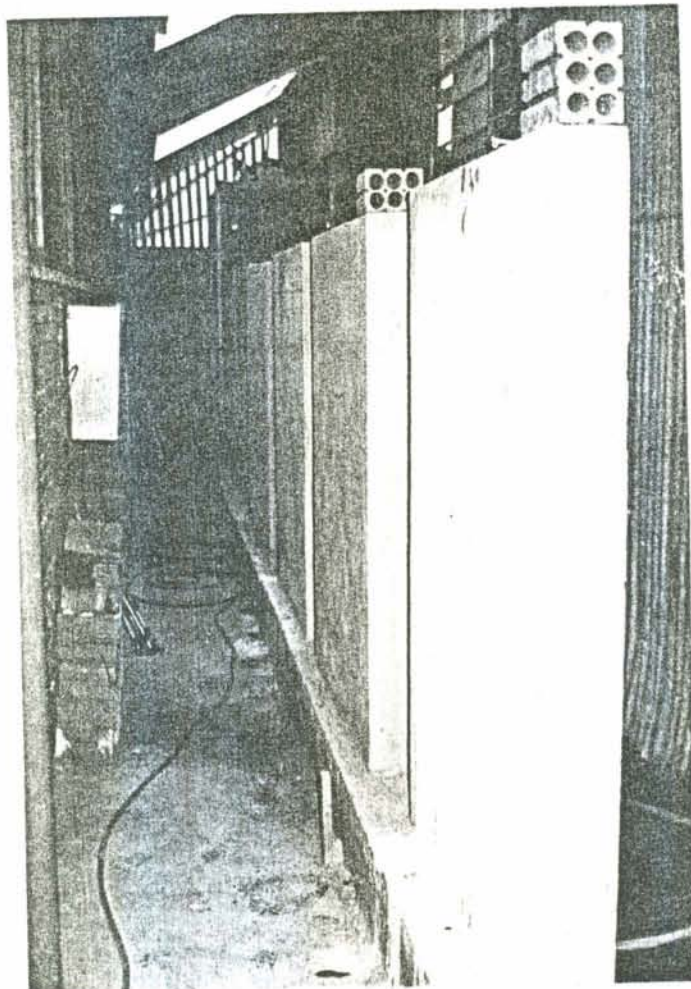


Foto 15 - Detalhe dos corpos de prova.

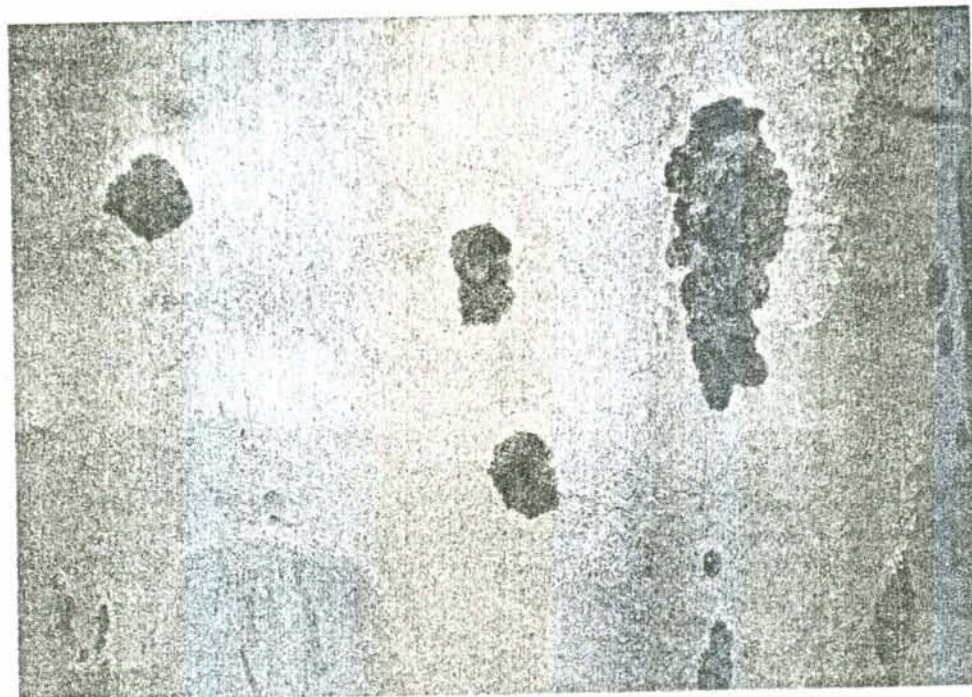


Foto 16 - Mancha de umidade provocada por infiltração de água.



Foto 17 - Avaliação da área umedecida.



Foto 18 - Avaliação da área umedecida

CAPÍTULO 5

APLICAÇÃO PARA AS CONDIÇÕES DE PORTO ALEGRE

A aplicação da metodologia de desempenho no que se refere a estanqueidade das paredes a chuva tem como ponto principal a quantificação das condições de exposição locais de modo a poder-se fazer simulação adequada no equipamento de ensaio.

5.1 Levantamento das condições de exposição

O levantamento das condições de exposição parte do levantamento dos fenômenos meteorológicos envolvidos: chuva e vento. Como citamos anteriormente, os fenômenos meteorológicos tem um comportamento bastante aleatório. Além disso deve-se salientar que os fenômenos chuva e vento apresentam comportamentos estatísticos bem diferentes um do outro.

O nosso objetivo é a análise da concomitância chuva-vento, ou seja, só vamos analisar os períodos de precipitação em que ocorrer a combinação dos dois fenômenos (a chuva sobre superfície vertical só ocorre com a combinação dos dois fenômenos). Na verdade nós vamos analisar uma terceira variável obtida a partir da equação 6 que corresponde a intensidade de chuva vertical (obtidos dados de chuva e vento).

Estudos estatísticos da concomitância da chuva e do vento

foram feitos na França por SACRE [51] e na Bélgica por SNEYERS [26]. Esses estudos culminaram com elaborações de mapas onde se configurou as variações de "agressividade" quanto à chuva e vento de local para local.

É necessário, entretanto destacar que nesses países os dados meteorológicos são coletados já de longa data, o que possibilitou um estudo desse porte.

Em nosso caso a situação é bastante diferente, pois além de não possuímos um grande número de anos de dados coletados (comparando-se com os outros países) muitas vezes esses dados acham-se armazenados em sistemáticas diferentes o que, muitas vezes, impossibilita o uso desses dados na totalidade.

Em função disso, podemos dizer que uma metodologia de análise deve ser voltada a utilização dos dados disponíveis.

Nossa preocupação nesse trabalho foi em desenvolver essa metodologia. Um estudo mais acurado da significância dos parâmetros envolvidos não foi possível devido a dificuldades de tempo e de necessidade de mais informações.

5.1.1 Dados meteorológicos

Geralmente os dados meteorológicos com respeito a chuva são coletados através de pluviógrafos, sendo que se obtém um gráfico, o pluviograma, que nos fornece todo o desenrolar da precipitação. Já os dados de velocidade do vento são registrados através de anemômetros, sendo o registro gráfico denominado anemograma.

Nossa intenção era de analisar esses dois documentos para um certo período de anos procurando desse modo quantificar as condições de exposição para Porto Alegre. Entretanto o 8º Distrito de Meteorologia não dispõe em seus arquivos desse material e o tempo para consegui-lo seria fora do exequível para nosso estudo. Optamos então por utilizar os registros mensais de fenômenos meteorológicos de onde pudemos tirar as seguintes informações:

- histórico da precipitação em termos de intensidade e duração.
- concomitância vento/chuva.

Quanto ao período de tempo (anos) a ser analisado procurou-se alocar um período em que as informações estivessem catalogadas todas em uma mesma sistemática. O período escolhido foi de 8 anos, entre os anos de 1965 a 1972.

Calculou-se para cada mês o índice de chuva dirigida conforme proposto por LACY (capítulo 3, item 3.3.3) obtendo-se o valor máximo de $0,64 \text{ m}^2/\text{s}$. Foram então selecionados para análise os meses que apresentaram um índice de chuva incidente igual ou superior a $0,32 \text{ m}^2/\text{s}$ (50% de $0,64$).

No que se refere ao total de precipitação mensal (mm), obteve-se o máximo de 330mm. Foram então também selecionados para análise os meses que apresentaram total de precipitação igual ou superior a 165mm (50% de 330mm).

5.1.2 Disposição e ajustes dos dados meteorológicos.

Os dados coletados no que se refere a intensidade de precipitação se encontravam assim classificados:

Tabela 5.1 - Classificação das Chuvas

CLASSIFICAÇÃO	INTENSIDADE DE CHUVA
Chuva inapreciável	< 1,1mm/h
Chuva fraca	1,1 a 5mm/h
Chuva moderada	5,1 a 59,9mm/h
Chuva forte	> 60mm/h

Para a nossa análise a chuva inapreciável foi desconsiderada pois seu efeito é desprezível.

No que se refere a chuva forte foi desnecessária a fixação de um valor pois um índice de intensidade de chuva maior que 60mm/h (conforme a classificação) pode assumir, na verdade, qualquer valor.

MARQUARDT [52] apresenta uma relação de chuvas torrenciais máximas entre os anos de 1914 e 1967 (29 dados). O valor médio dessas intensidades de chuvas máximas é de 112,7mm/h. Fez-se então a média entre o valor limite (60mm/h) e a média obtida (112,7mm/h), obtendo-se o valor de 86mm/h.

Em função disso, podemos, então para cada faixa determinar valores médios de intensidade de chuva.

Tabela 5.2 - Classificação Adotada

Classificação	Intensidade	Intensidade média
Chuva fraca	1,1 a 5mm/h	3mm/h
Chuva moderada	5,1 a 59,9mm/h	32,5mm/h
Chuva forte	60 a 112,7mm/h	86,0mm/h

Quanto aos dados de velocidade do vento, no caso de velocidades superiores a 10m/s temos as seguintes faixas:

Tabela 5.3 - Classificação da Velocidade do Vento (*)

Classificação	Velocidade Média (m/s)
Força 10	26,4
Força 9	22,6
Força 8	18,9
Força 7	15,5
Força 6	12,3

(*) Para velocidades superiores a 10 m/s, os valores da velocidade achavam-se registrados no histórico da precipitação

Para velocidades inferiores a 10m/s se utilizou o fato de serem feitas 3 leituras diárias, em horários específicos. Se considerou o valor da velocidade para cada intervalo como sendo constante o último valor lido

No que se refere a duração das precipitações, a duração total corresponde ao tempo entre o início e o fim da precipitação, excluindo-se os intervalos sem chuva desde que cada um não ultrapasse 1 hora. Caso ocorra um intervalo superior a 1 hora já se considera outra precipitação a partir do começo da chuva.

5.1.3 Metodologia de análise

De posse dos levantamentos de chuva e vento concomitantes, procurou-se desenvolver uma metodologia capaz de quantificar as condições de exposição no que diz respeito aos fenômenos meteorológicos.

Como um ensaio de desempenho pressupõe uma simulação das condições de exposição, os parâmetros de ensaio estão intimamente ligados a quantificação das condições de exposição.

I - Análise da duração:

Definiu-se com ocorrência em uma precipitação, a uma situação específica de dado valor de intensidade de precipitação associada à velocidade de vento concomitante.

Caso, durante o intervalo de duração da precipitação (duração total da chuva), ocorrer alteração do valor de intensidade da chuva ou da velocidade do vento, ou ainda, dos dois simultaneamente, os novos valores irão corresponder a outra ocorrência (fig. 5.1).

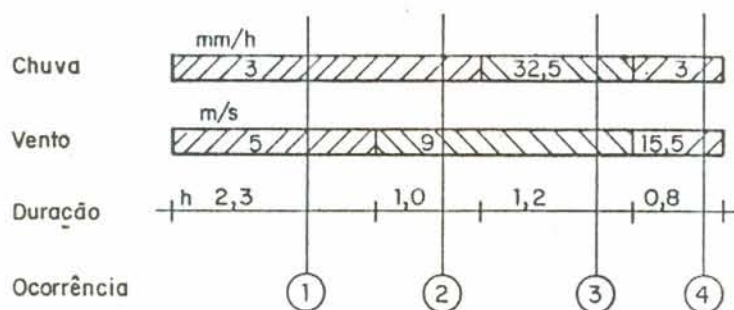


Fig. 5.1 - Exemplo de combinação de intensidades de chuva e velocidades de vento originando quatro ocorrências durante o período de precipitação.

Calculou-se então, para cada ocorrência, a intensidade de chuva sobre a superfície vertical através da equação 6 (item 3.3.1).

Procurando-se determinar uma distribuição de probabilidades da intensidade de chuva incidente das diversas ocorrências (o

total de precipitações analisadas), os dados foram agrupados em intervalos obtendo-se a distribuição de frequências da tabela 5.4.

Com os dados obteve-se a curva de distribuição de probabilidades para a intensidade de chuva incidente das ocorrências (fig. 5.2).

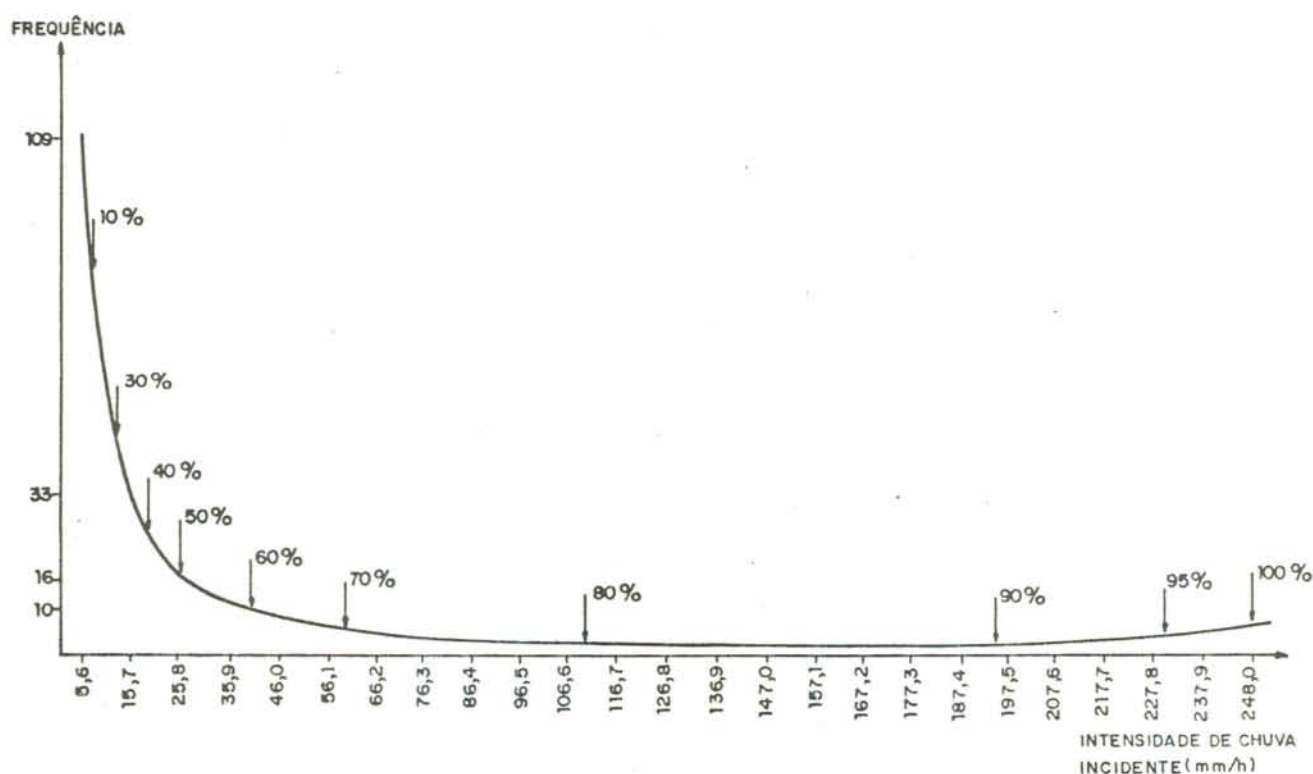


Fig. 5.2 - Curva de distribuição de probabilidades.

Com respeito a duração definiu-se como duração relativa de uma ocorrência à duração percentual daquela ocorrência em relação a duração total da precipitação. Considerando-se 100% a duração total da precipitação, a duração relativa corresponde ao percentual relativo a duração da ocorrência em questão.

Para cada ocorrência determinou-se então a duração relativa correspondente. Isso foi feito com a finalidade de determinar quais as contribuições, em termos de duração, das diversas

Tabela 5.4 - Distribuição de Frequência da Intensidade de Chuva Incidente

Intensidade chuva incidente (mm/h)		Frequência
Intervalo	Valor médio	
1 0,55 - 10,65	5,6	109
2 10,65 - 20,75	15,7	33
3 20,75 - 30,85	25,8	16
4 30,85 - 40,95	35,9	10
5 40,95 - 51,05	46,0	-
6 51,05 - 61,15	56,1	10
7 61,15 - 71,25	66,2	1
8 71,25 - 81,35	76,3	2
9 81,35 - 91,45	86,4	-
10 91,45 - 101,55	96,5	1
11 101,55 - 111,65	106,6	-
12 111,65 - 121,75	116,7	-
13 121,75 - 131,85	126,8	-
14 131,85 - 141,95	136,9	4
15 141,95 - 152,05	147,0	-
16 152,05 - 162,15	157,1	-
17 162,15 - 172,25	167,2	-
18 172,25 - 182,35	177,3	-
19 182,35 - 192,45	187,4	-
20 192,45 - 202,65	197,5	-
21 202,65 - 212,65	207,6	2
22 212,65 - 222,75	217,7	-
23 222,75 - 232,85	227,8	-
24 232,85 - 242,95	237,9	-
25 242,95 - 253,05	248,0	6

ocorrências nas durações totais das precipitações.

O objetivo, na verdade, é se chegar a uma precipitação tipo que represente, em termos médios, as contribuições de cada ocorrência no total da precipitação.

Para isso dividiu-se o conjunto de dados de intensidade de chuva incidente das ocorrências em duas faixas em função de probabilidades:

Tabela 5.5 - Faixas de Precipitação

Classificação	Probabilidade
Faixa I	0 a 50%
Faixa II	50 a 100%

Com isso obtivemos duas condições, uma com uma solicitação "mais severa" (Faixa II) e outra com uma solicitação de fraca a moderada (Faixa I).

Quanto a intensidade de chuva incidente temos, respectivamente:

Tabela 5.6 - Intensidade de Chuva das Faixas

Classificação	Intensidade de chuva incidente
Faixa I	menor ou igual a 26,8mm/h
Faixa II	maior que 26,8mm/h

No que se refere a caracterização das faixas quanto a duração, determinamos a duração relativa média das ocorrências para cada faixa. Obtivemos então:

Tabela 5.7 - Duração Relativa Média das Faixas

Classificação	Duração relativa média
Faixa I	36%
Faixa II	30%

A média das durações totais de todas as precipitações foi determinada e corresponde a 7,0 horas.

Aplicando-se o conceito de duração relativa sobre a duração total média, a precipitação tipo, em termos de duração, se apresentará do seguinte modo:

Tabela 5.8 - Duração das Faixas

Classificação	Duração
Faixa I	$DI = 7,0 \times 0,36 = 2,52h$
Faixa II	$DII = 7,0 \times 0,30 = 2,10h$

II - Análise da intensidade de chuva incidente e velocidade do vento.

A partir da curva de distribuição de probabilidades adotou-se dois níveis de análise em função das faixas fixadas anteriormente na análise da duração.

Fixou-se como parâmetros de solicitação os valores de intensidade de chuva incidente para as probabilidades de 50 a 95%.

Tabela 5.9 - Parâmetros de Solicitação

Solicitação	Probabilidade (%)	Intensidade de chuva incidente (mm/h)
Severa	95	230
Fraca a moderada	50	25,8

A determinação da velocidade de vento associada à intensidade de chuva incidente foi determinada a partir do gráfico da figura 5.3. Esse gráfico possui 3 funções, uma para cada intensidade de chuva (horizontal). Entrando com a intensidade de chuva incidente podemos obter diretamente a velocidade do vento. Utilizaremos sempre a função que nos der maior velocidade de vento para a intensidade de chuva incidente especificada.

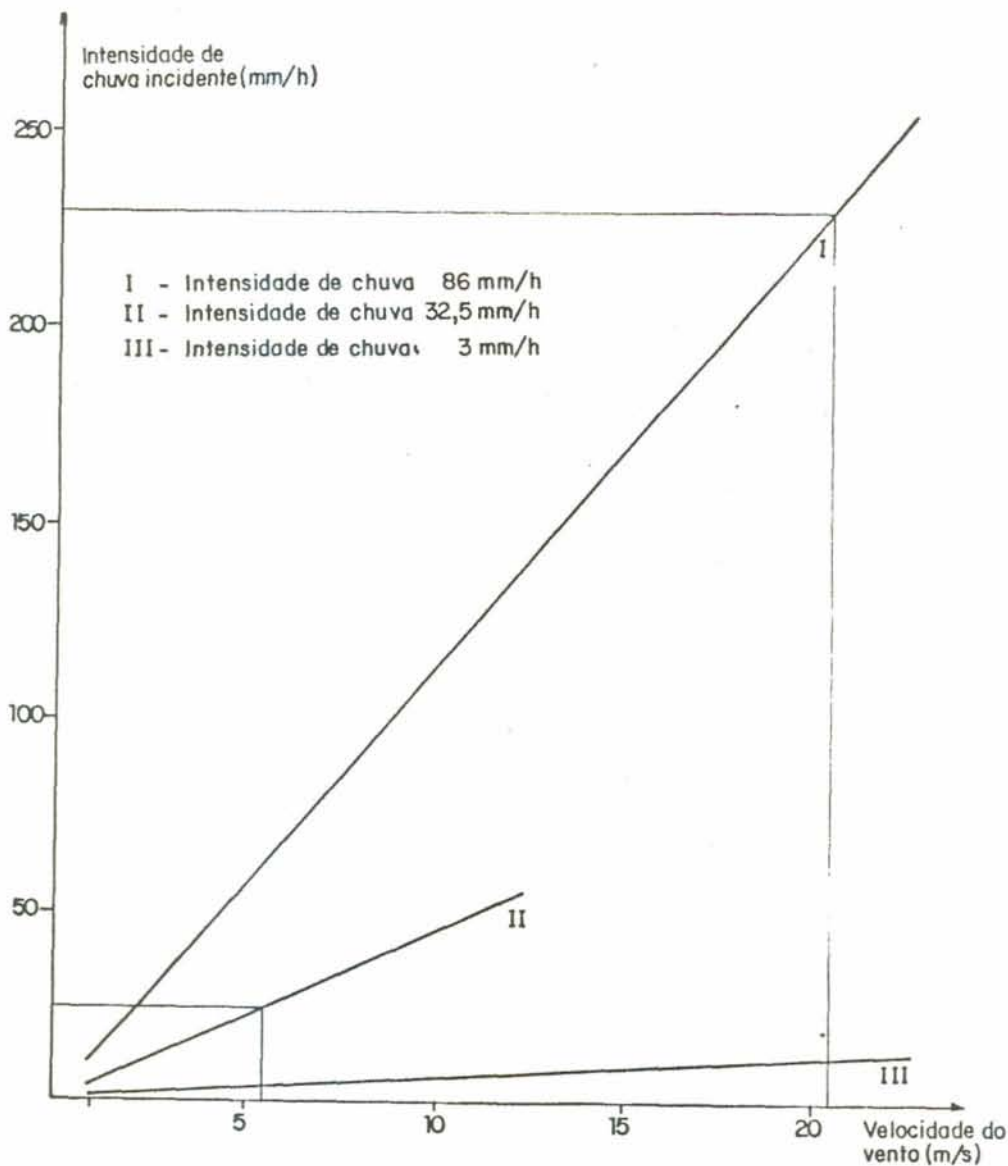


Fig. 5.3 - Relação entre a intensidade de chuva incidente e a velocidade do vento.

Para os parâmetros de intensidade de chuva incidente pré estabelecidos obtivemos:

Tabela 5.10 - Parâmetros Finais

Solicitação	Probabilidade (%)	Intensidade de chuva incidente	velocidade (m/s)
Severa	95	230mm/h	20,5
Fraca a moderada	50	25,8mm/h	5,4

5.1.2 Considerações sobre os resultados obtidos:

Com relação aos resultados obtidos com a aplicação da metodologia descrita são necessárias algumas considerações.

No que diz respeito a análise de durações, o que se esperava é que o somatório das durações relativas médias (Faixa I + Faixa II) desse um valor próximo de 100%. Isso não ocorreu sendo que as causas podem ser muito diversas. A que nos parece mais plausível é o fato de a média da amostra não ser um valor representativo. Para se esclarecer isso seria necessário um amplo estudo estatístico que fugiria ao propósito desse trabalho.

Podemos citar alguns fatores que podem servir de referência para estudos futuros:

- utilizar um número maior de faixas.
- distinguir a análise em termos de chuvas de curta e longa duração (conforme proposto por LACY).
- utilizar uma amostra maior no que se refere ao período analisado (maior número de anos).

Toda a metodologia descrita tem como base a análise de ocorrência da intensidade de chuva incidente. Entretanto o estudo também pode ser conduzido no sentido de considerar a análise de probabilidade de ocorrência de velocidade de vento associada a probabilidade de ocorrência de chuva (intensidade de chuva).

5.2 Determinação dos parâmetros de ensaio

O objetivo da análise de dados meteorológicos é se poder chegar a resultados representativos que possam ser simulados em ensaio.

Conforme desenvolvimento da metodologia (item anterior) temos dois estágios no que se refere a simulação pretendida.

Tabela 5.11 - Parâmetros Duração, Intensidade e Velocidade

Estágio	Solicitação	Duração (h)	Intensidade de chuva incidente	velocidade (m/s)
I	Fraca a moderada	2,52	25,8mm/h	5,4
II	Severa	2,10	230mm/h	20,5

A "chuva tipo" obtida em função da análise feita, englobará então os dois estágios, apresentando as solicitações de chuva e vento incidentes sobre as alvenarias.

Traduzindo os resultados em termos de parâmetros básicos de ensaio teremos:

Tabela 5.12 - Parâmetros básicos de Ensaio

Estágio	Fase	Duração (h)	Vazão (l/m ² .min.)	Pressão estática de ar (Pa)
I	A	2,50	*	0,0
II	B	2,00	3,80	260,0

* Suficiente para criar um filme de água

de 1

de 1

(C₁ = C₂) = 1

No estágio I os valores da vazão e da pressão estática de ar são bastante baixos sendo que nesse caso a penetração da água ocorrerá predominantemente por absorção capilar. A simulação desse estágio consiste em aplicar sobre a face do corpo de prova um filme de água sem aplicação de pressão estática de ar. Simula-se basicamente a absorção por capilaridade. No ensaio, o estágio I corresponde a Fase A [Ítem 4.2.3.6].

No estágio II a vazão e a pressão estática de ar tem ordem de grandeza bem maior que no estágio I, e são simulados na Fase B de ensaio de estanqueidade, com o auxílio da câmara de ensaios.

Temos, então os parâmetros básicos de ensaio:

Tabela 5.13 - Parâmetros básicos de Ensaio

Estágio	Fase	Duração (h)	Vazão (l/m ² .min.)	Pressão estática de ar (Pa)
I	A	2,50	*	0,0
II	B	2,00	3,80	260,0

* Suficiente para criar um filme de água sobre a superfície do corpo de prova.

Os valores da pressão estática de ar devem ser corrigidos conforme as condições de exposição através da seguinte equação:

$$P = P_o \cdot S_1^2 \cdot S_2^2 \cdot (C_e - C_i) \quad (\text{eq.13})$$

P -> Pressão de ensaio [Pa]

P_o -> Pressão básica de ensaio [Pa]

S₁, S₂ -> Fatores de correção da velocidade de vento em função da altura e topografia [item 4.2.1]

(C_e - C_i) -> Coeficientes aerodinâmicos [item 4.2.1]

5.3 Critério final de avaliação de desempenho

Uma vez estabelecidos os parâmetros de ensaio em função das condições de exposição, podemos estabelecer um critério final para o qual havíamos estabelecido um critério provisório [item 4.2.2].

CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO: "Para as condições de exposição de Porto Alegre, as paredes, quando componentes do envelope do edifício, não devem permitir a penetração da água para sua face interna quando submetidas a ensaio específico de estanqueidade. Os parâmetros de ensaio acham-se na tabela 5.13, bem como as correções da pressão de ensaio em função da altura são tiradas da equação 13, tabela 4.5 e tabela 3.4".

5.4 Avaliação prática do desempenho de alvenarias em relação a estanqueidade à chuva.

Com o fim de demonstração, executamos uma série de experimentos onde se avaliou o desempenho de dois tipos de alvenarias. As alvenarias foram executadas em blocos cerâmicos (tijolo furado com 6 furos), tendo sido ensaiadas com e sem revestimento. As demais características são listadas na tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Características dos Materiais Utilizados

Espessura nominal (cm)	Argamassa assentamento traço em volume (cim.:cal:areia média)	Argamassa revestimento traço em volume	
		Interno (*)	Externo (*)
15	1: 2: 9	1: 2: 9	1: 1: 6
20	1: 2: 9	1: 2: 9	1: 1: 6

* traço em volume
cimento: cal hidratada: areia média

Com respeito à cura dos corpos de prova, ela foi feita em local abrigado das intempéries (laboratório) em um período mínimo de 30 dias.

Com respeito à camada de revestimento, utilizou-se uma camada de argamassa com espessura de 1 cm. Os traços utilizados acham-se referenciados na tabela 5.14, sendo que a face exposta à ação da pressão e da incidência da água corresponde ao item "externo" da tabela, e a outra face ao item "interno".

Os resultados dos ensaios estão expressos nas planilhas a seguir (figura 5.4 em diante) onde se pode observar a variação da área molhada com o avanço do tempo de exposição no ensaio. No caso de escorrimento, os pontos foram determinados e registrados nas figuras que acompanham as planilhas. Nas planilhas acham-se registrados os resultados obtidos nas duas fases (A e B) do ensaio (ver procedimento de ensaio).

Dos ensaios realizados cabe ressaltar que:

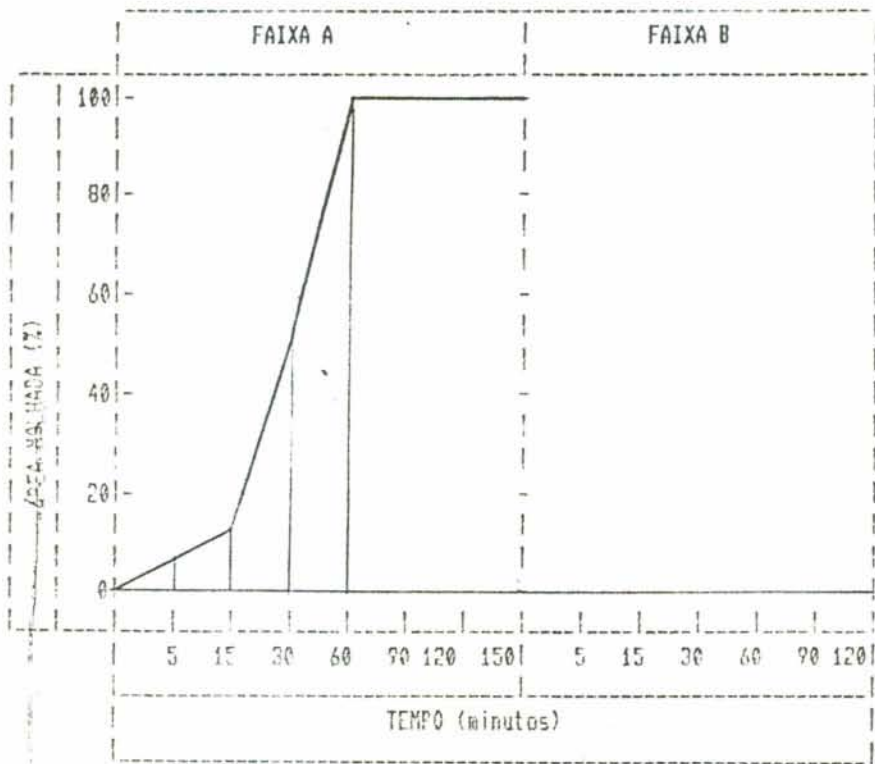
- somente as paredes com espessura nominal 20cm revestidas foram aprovadas no ensaio.

- as paredes não revestidas tiveram um desempenho medíocre ocorrendo a percolação de água em menos de 5 minutos.

- ficou evidenciada a importância da espessura da parede, visto que as paredes revestidas de espessura 20cm foram as únicas a serem aprovadas no ensaio.

- evidenciou-se o problema da penetração da chuva através das juntas mal ligadas. Todos os pontos de escorrimento tiveram origem nesse fato.

- as paredes revestidas tiveram um desempenho muito superior às não revestidas. Isso se deve ao fato de a argamassa de revestimento preencher as aberturas devido às juntas mal ligadas.



Obs.:
Surgimento da primeira mancha => 2.2 min

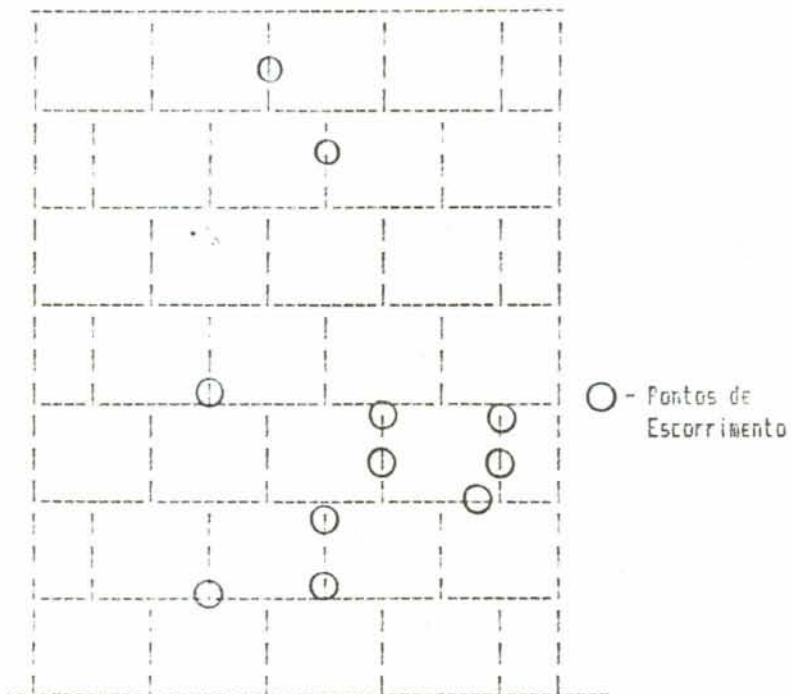
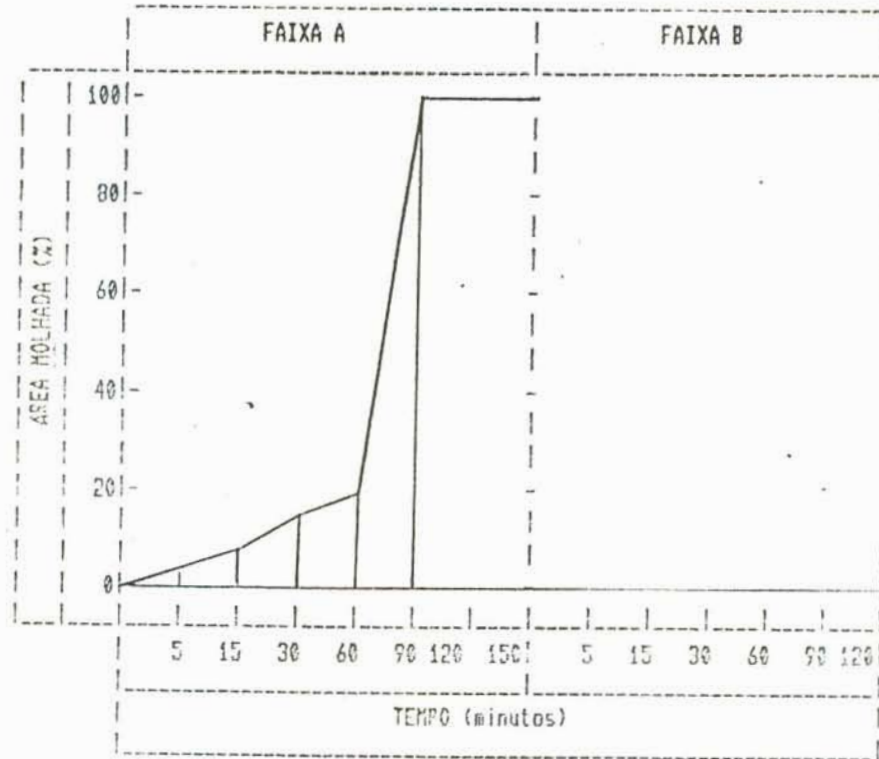


Fig. 5.4 - Parede 1 (sem revestimento, espessura 15cm).



Obs.:
Surgimento da primeira mancha => 4,4 min

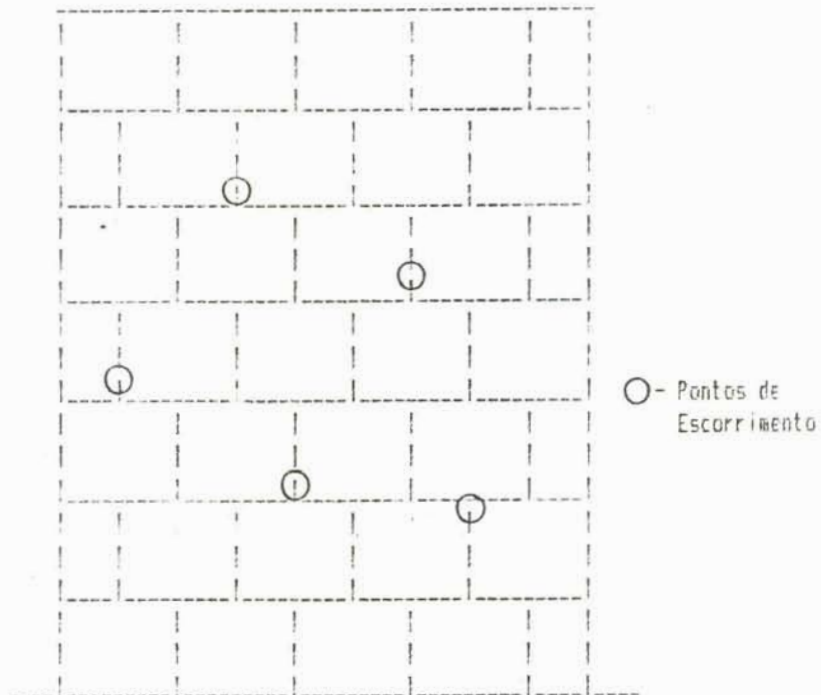
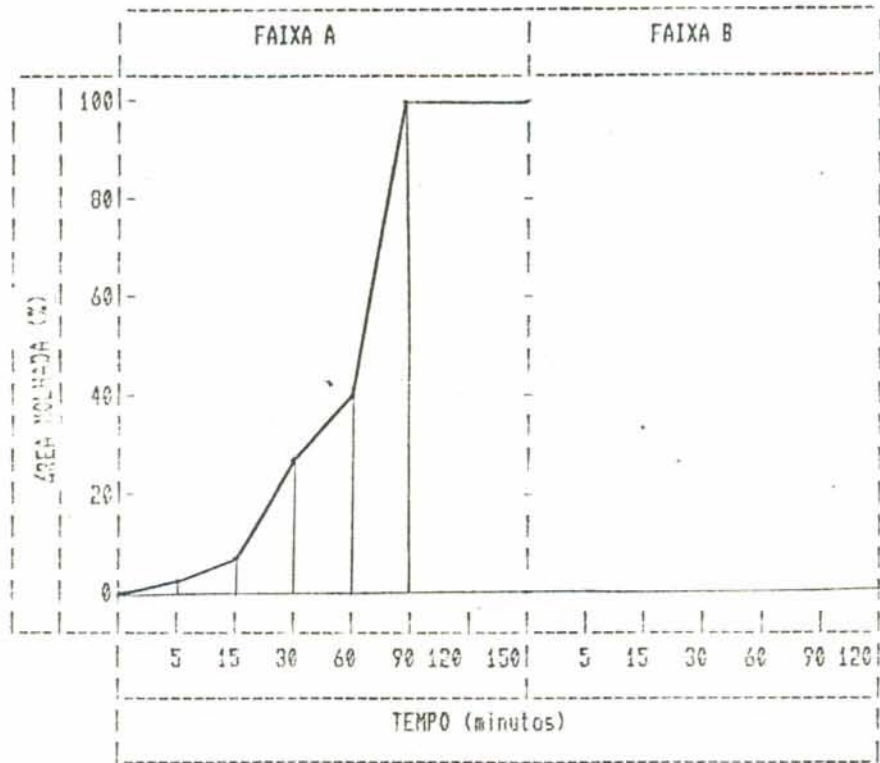


Fig. 5.5 - Parede 2 (sem revestimento, espessura 15cm).



Obs.:

Surgimento da primeira mancha => 2,3 min

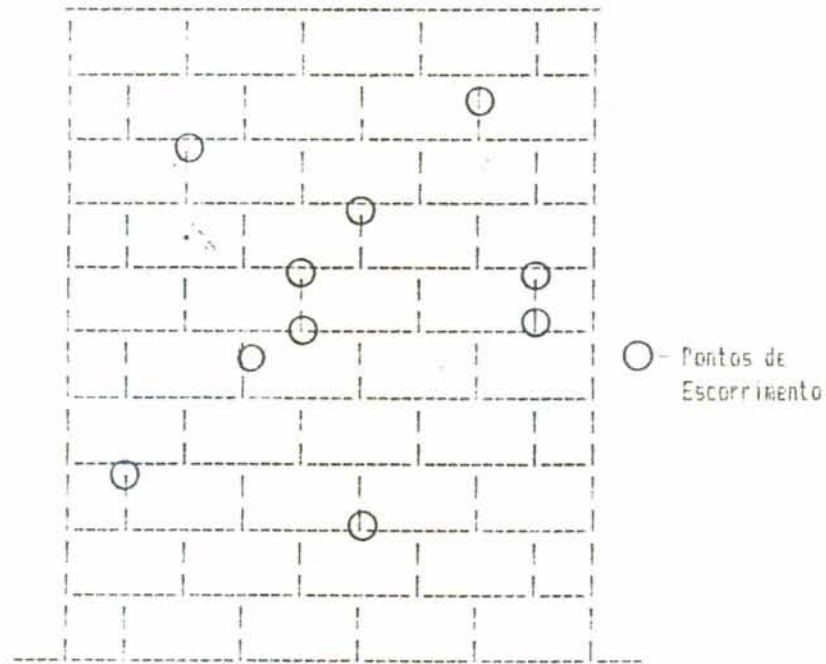
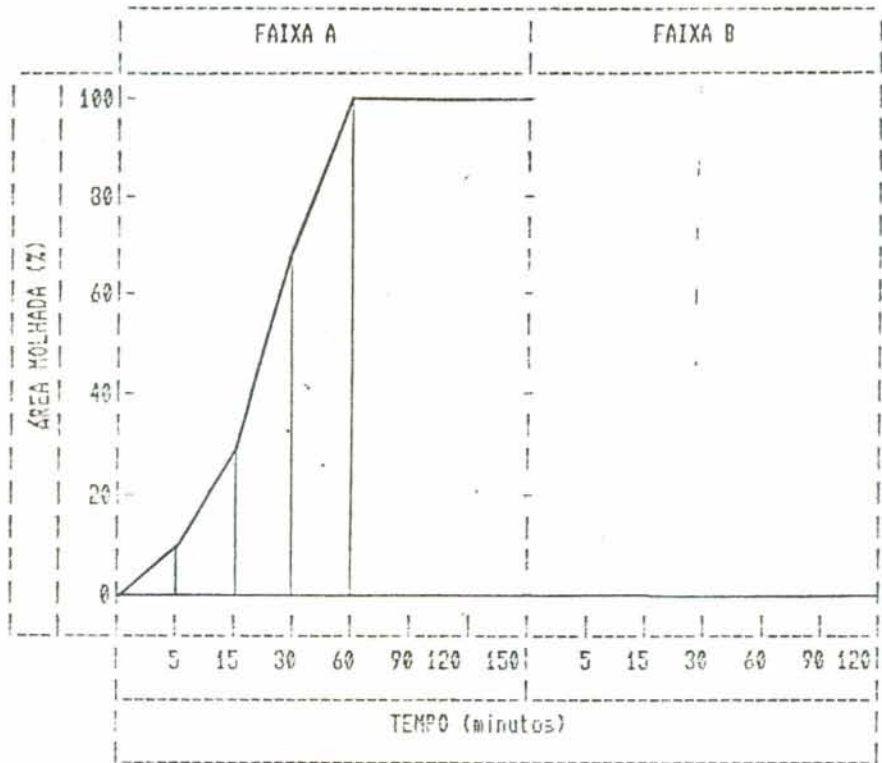


Fig. 5.6 - Parede 3 (sem revestimento, espessura 20cm)



Obs.:
Surgimento da primeira mancha => 2,5 min

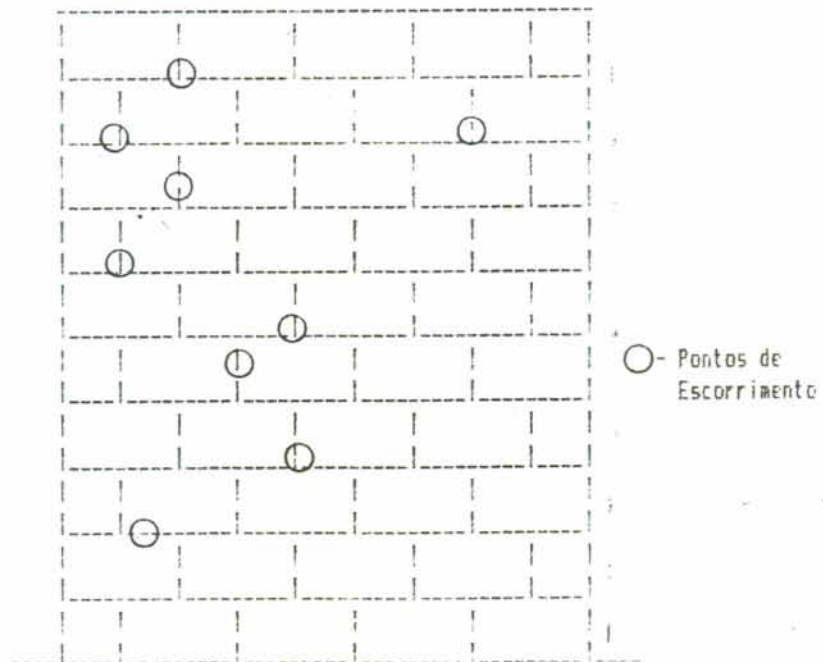


Fig. 5.7 - Parede 4 (sem revestimento, espessura 20cm).

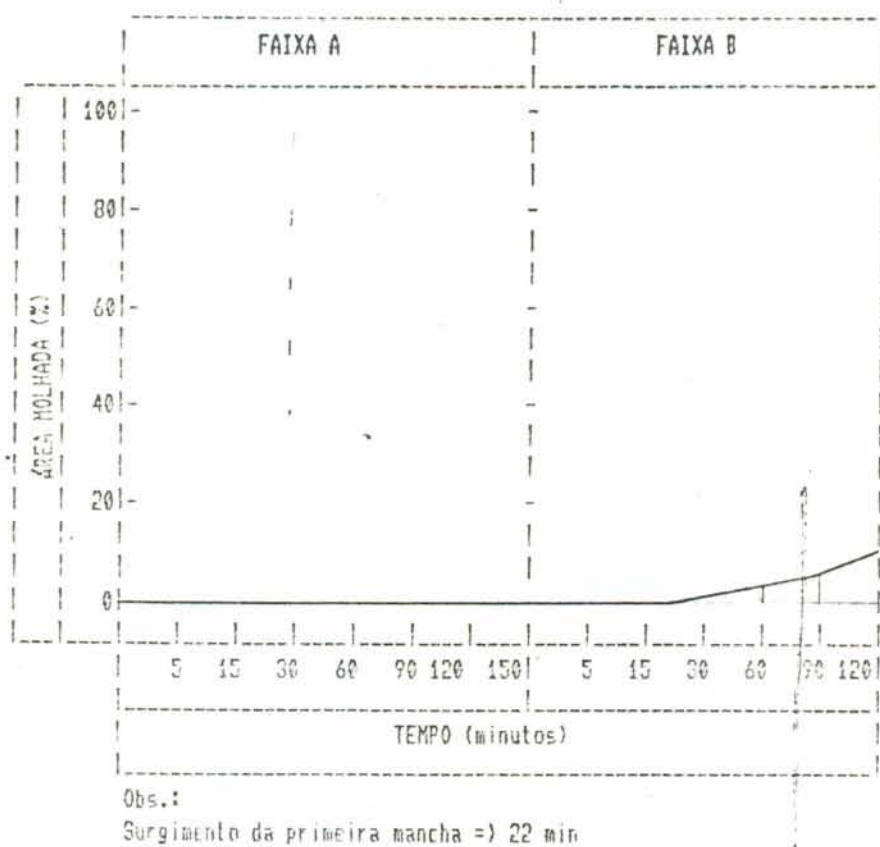


Fig. 5.8 - Parede 1 (com revestimento, espessura 15cm).

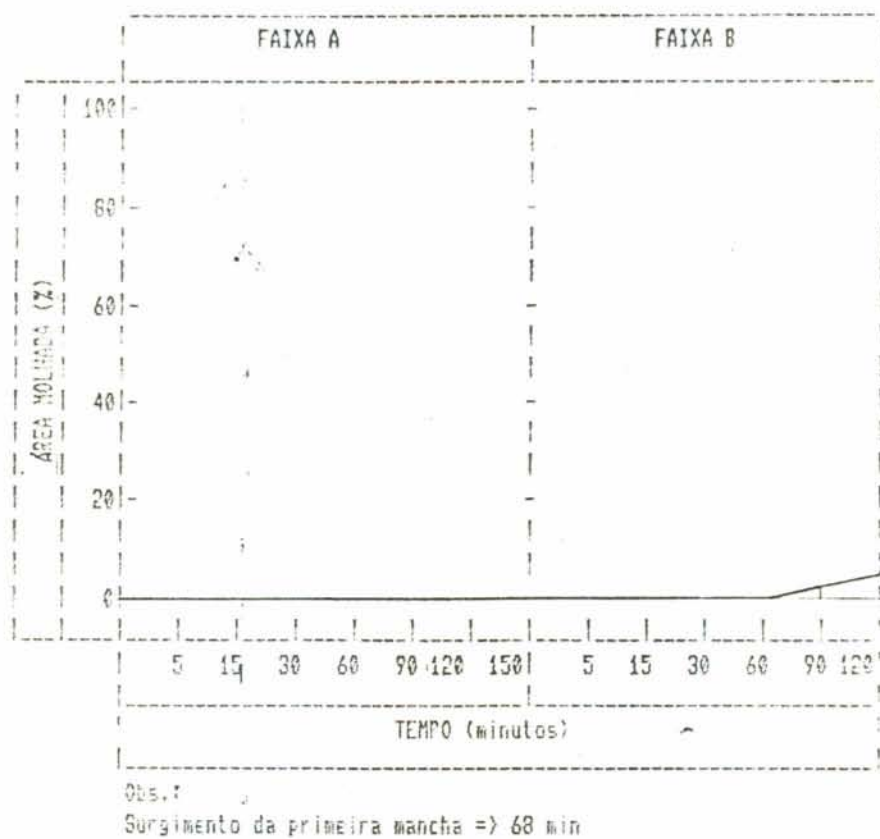
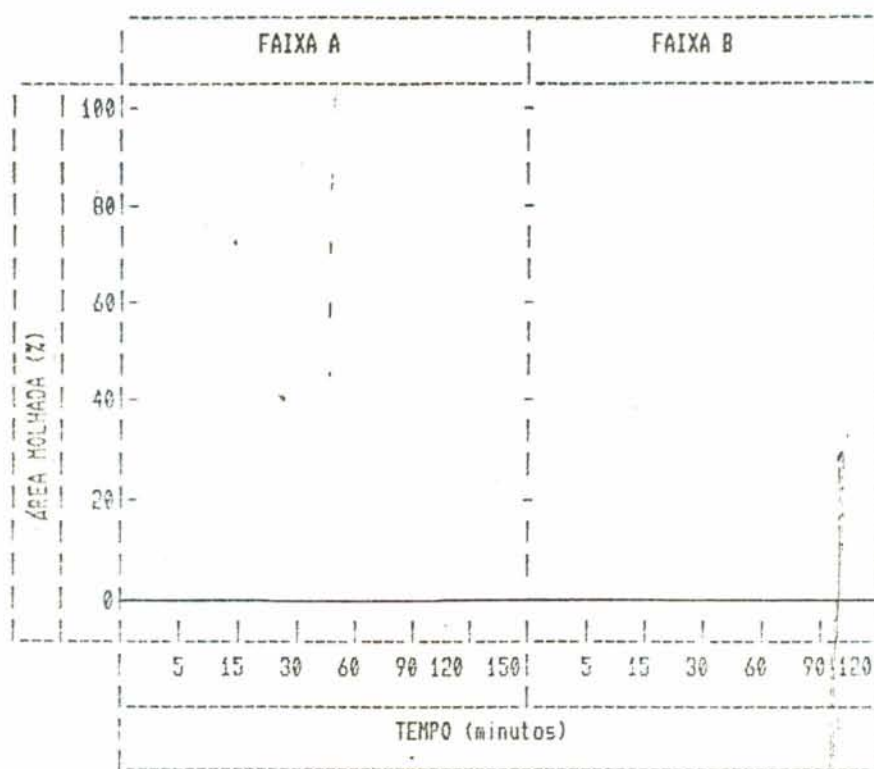


Fig. 5.9 - Parede 2 (com revestimento, espessura 15cm).



Obs.:
NÃO apresentou mancha

Fig. 5.10 - Paredes 3 e 4 (com revestimento, espessura 20 cm).

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A penetração da água da chuva nas fachadas de alvenaria ocorre em função da combinação de diversos fatores e fenômenos que geram um mecanismo de ação bastante complexo. As diversas formas de penetração da água basicamente são oriundas da aleatoriedade e dependência, bem como também da grande gama de fenômenos envolvidos.

O grau de importância atribuído ao estudo da penetração da chuva varia de região para região. Em regiões de altos índices de precipitação e umidade relativa do ar, certamente as solicitações impostas a parede, no que se refere a sua estanqueidade, são bem mais significativas. As soluções utilizadas nesses casos são de bem mais responsabilidade do que em regiões de menor "agressividade".

A concepção da alvenaria com respeito a resistência a penetração da chuva comporta a análise das características dos materiais, quer seja em relação a compatibilidade mútua entre eles, quer seja em relação as características desejáveis em relação a garantir perfeita resistência a ação da chuva na alvenaria. Também deve ser considerado o comportamento e a função específica de cada material, bem como a elaboração de dispositivos que auxiliem ou garantam a estanqueidade global da alvenaria.

Outro fator de interesse, tanto na concepção da alvenaria como na avaliação de sua estanqueidade, é a avaliação das condições de exposição. Sem dúvida, o grau de exposição sintetiza a solicitação que é imposta a parede. Em função disso, a avaliação do grau de exposição deve ser coerente e o mais representativa e exata possível. A metodologia desenvolvida nesse trabalho permite uma avaliação bastante significativa, desde que se tenha disponibilidade de dados suficientes e que se faça um estudo estatístico de modo a se obter parâmetros representativos da amostra.

Com respeito a avaliação da estanqueidade das fachadas, a metodologia de desempenho descrita no capítulo 4 é perfeitamente adaptável ao caso. As diferenças entre os métodos de ensaio existentes são bastante discutíveis. As principais causas disso são o nível de tecnologia de ensaio local e o nível de análise utilizado, dependendo logicamente da quantidade e forma dos dados meteorológicos existentes.

Por fim, salientamos que embora a análise de penetração da chuva em fachadas seja um ponto singular no estudo da estanqueidade do envelope do edifício, sem dúvida alguma é um passo muito importante para uma análise global do desempenho do envelope como tal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. REYGAERTS, J. G. & GASPER, M. B. & DUTORDOIR, C. 1200_Problems CSTC, Revue, Bruxelles, (3):2-6, sept. 1976.
2. ÉTUDE_statistique_de_12200_cas_de_sinistres_survenus_en1982. s.l. Annales de L'Institut technique du Batiment et des Travaux Publics, (426), jul-out. 1984.
3. YOSHIMOTO, E. Incidência_de_manifestações_patológicas_em_edificações_habitacionais.Tecnologia de Edificações - IPT- S. Paulo. (2):109-112, ago. 1985.
4. PAROIS_et_murs_en_maçonnerie. Paris, Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment, (193), oct. 1978.
5. RITCHIE, T. & PLEWES, W. G. - Design_of_unit_masonry_for_weather_resistance. Ottawa, National Research Council Canada, 1955.
6. DAVISON, J. I. Rain_penetration_and_masonry_wall_systems.Ottawa, National Research Council Canada; Building Practice Note, 1979.

7. RITCHIE, T. & PLEWES, W. G. *A review of literature on rain penetration of unit masonry*. Ottawa, National Research Council Canada, 1957.
8. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Sampling and testing brick and structural clay tile: C - 67 80a*. Philadelphia, 1980.
9. SCHAUPP, W. *Le mur exterieur*. Paris, Editions Eyrolles, 1966.
10. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. *Recommandations pour l'execution des maçonneries de briques et de blocs*. Bruxelles.s.d.(Note D'Information Technique 95).
11. PEREZ, A. R. *Umidade nas edificações*. São Paulo, 1986 (Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo)
12. CINCOTTO, M. A. *Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações*. Tecnologia de Edificações.IPT São Paulo, (1): 7-12, 1984.
13. GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. 2^o ed. London, Applied Science Publishers, 1981.

14. MARSH, Paul. Air_and_rain_penetration_of_buildings. Lancaster
The Construction Press, 1977.
15. MEERT, E. & VANACKERE, G. L'étanchéité_au_vent_et_a_la_pluie
des_façades. CSTC Revue, Bruxelles, (2): 31-41, Juin 1978.
16. GARDEN, G. K. Rain_penetration_and_its_control. Ottawa, Cana-
dian Building Digest. 1963.
17. KILLIP, I. R. & CHEETHAM, D. W. The_prevention_of_rain_pene-
tration_through_external_walls_and_joints_by_means_of
pressure_equalization. Building and Environment, s.l. (vol.
19 N° 2) 81-91, 1984.
18. DAVISON, J. I. Rain_penetration_and_design_detail_for_masonry_
walls. Ottawa, National Research Council Canada; Building
Practice Note, 1979.
19. POLISSENI, A. E. Método_para_avaluar_a_capacidade_de_imper-
meabilizante_de_revestimento_de_paredes. Método do Cam-
chimbo. Porto Alegre, 1986. (Dissertação de mestrado a-
presentada ao Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
20. TRANSPORTI_de_l'humidité_dans_les_matériaux_poreux. Bases
theoriques. CSTC Revue, Bruxelles (1): 7-12, mars 1982.

21. MEERT, E. & VAN ACKERE, G. Vent_et_pluie_en_façade_essais_et_execution_des_chassis. CSTC Revue, Bruxelles, (4):27-50, dec. 1976.
22. LACY, R. E. Survey_of_meteorological_information_for_architecture_and_building. s.l. 1971 (CIB Report n° 15)
23. -----An_index_of_exposure_to_driving_rain,s.l.Building Research Establishment. s.d.(Digest 127).
24. -----Climate_and_building_in_Britain. London, Building Research Establishment, 1977.
25. BAKER, M. L. Rain_deposit,_water_migration_and_dirt_marking_of_buildings. In: RILEM/ASTM) CIB Symposium an Evaluation of the Performance of External Vertical Surfaces of Buildings. Otaniemi, 1977.
26. MEERT, E. & SNEYERS, R e outros. Intensite_de_la_pluie_bat tante_et_pression_du_vent_sur_les_façades. CSTC Revue, Bruxelles, (2):22-37, juin.1979.
27. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Wind_Environment_Around_Tall Buildings. s.l. s.d. BRE Digest 141.

28. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Forças devidas ao vento em edificações*. NBR 6123. Rio de Janeiro, 1980.
29. GANDEMER, J. *Wind environment around buildings -- aerodynamic concepts*. In: Fourth international conference on wind effects on building and structures. Heatrow, Edited by Dr. Keyth J. Eaton, 1975.
30. KUNZEL, H. *Evaluation of renderings and paintings with respect to the rain protection* In: RILEM/ASTM CIB Symposium on Evolution of the Performance of External Vertical Surfaces of Buildings Otaniemi, 1977.
31. BAKER, M. C. & ROBINSON, G. *Wind-driven rain and buildings*. Ottawa, National Research Council Canada, 1955.
32. COUPER, R. R. *Drainage from vertical surfaces*. Paper n°4 In: Wind-Driven Rain and the Multi Storey Building. Australia, Division of Building Research. CSIRO. 1972.
33. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. *recherches sur les performances du bâtiment*. Bruxelles, 1976. (Compte rendu d'étude et de recherche n°26).
34. *GUIDE de performances du bâtiment*, Bruxelles, CSTC; IC-IB; SECO, 1979.

35. PICHI, F. A. Impermeabilizações de coberturas de concreto: materiais, sistemas, normalização. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1984. (Dissertação da tese de mestrado).
36. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Performance standards in building - principles for their preparation and factor for inclusion: DP: 6241, Geneva, 1980.
37. CONSEIL INTERNATIONAL DU BATIMENT (CIB). Working with the performance approach in building. Rotherdam, 1982. (CIB report publication 64).
38. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. Recherches sur les performances du bâtiment. Bruxelles, 1979. (Compte rendu d'étude et de recherche n°26).
39. CRONBERG, T. Notes on methods for selecting performance criteria. In: Setting Performance Criteria for Buildings Products - CIB W60. s.l., 1977.
40. CHRISTENSEN, G. Development of performance testing methods - some considerations. In: Performance test methods and the interpretation of results. -CIB W60.s.l.; 1979.

41. Dawance, G. *Unes generales sur les performances des materiaux constituant les surfaces exterieures verticales des bati- ments*. In: RILEM/ASTM/CIB Symposium on Evaluation of the Performance of External Vertical Surfaces of Buildings. O- taniemi, 1977.
42. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Desempenho de jane- las de alumínio em edificação de uso residencial e comer- cial*. Rio de Janeiro, NBR 7202, 1982.
43. PFAFSTETTER, Otto. *Chuvvas intensas no Brasil*. 2º ed. Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Obras de Saneamento; Ministério do Interior, 1982.
44. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS: *Determinação da estan- queidade à água de paredes externas*. ME-15. In: Normali- zação de interesse da construção de habitações. São Paulo, 1981. V.2.
45. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Estanqueidade*. In: Ava- liação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. São Paulo, 1981. V.1.
46. *RÉSISIANCE a l'eau de pluie des materiaux poreux*. Paris, Ca- hiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment, (19), 1954.

47. LA RÉSISTANCE des murs à la pénétration de l'eau de pluie. Paris, Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, (39), 1959.
48. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Methods of test for resistance to air and water penetration. BS 4315 Part 2: Permeable walling constructions (water penetration). London, 1970.
49. BUILDING RESEARCH INSTITUTE. Performance testing methods for building, building elements, components and materials. Ministry of Construction, Japanese Government. s.l. 1973.
50. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for water permeance of masonry: E-514. Philadelphia, 1980.
51. SACRÉ, C. Concomitance de la pluie et du vent en France; une proche statistique. Paris, Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 232, sept. 1982.
52. MARQUARDT, H. E. Determinantes climatológicas para a arquitetura em Porto Alegre e Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1969.

53. RATHBONE, A. J. Rain and air penetration performance of concrete blockwork. s.l. Cement and Concrete Association, 1982. (Technical Report 553).
54. CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT (CIB). CIB master list. s.l. 1983. (CIB Report - Publication 18).
55. ----- . Rain penetration investigations. Oslo, 1963.
56. RITCHIE, T. & PLEWES, W. G. Moisture penetration of brick masonry panels. Ottawa, National Research Council Canada, 1961.
57. PEREZ, A. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. Tecnologia de Edificações - IPT. S. Paulo (2): 35-42, 1985.
58. RITCHIE, T. Moisture degradation of masonry walls. Ottawa, National Research Council Canada, 1976.
59. ----- . Rain penetration of walls of unit masonry. Ottawa National Research Council Canada, Canadian Building Digest, 1961.

60. BOYD, D. W. Weather and Building. Ottawa, National Research Council Canada, Canadian Building Digest, 1961.
61. GUIDE de performances du bâtiment, Bruxelles, CSTC; IC-IB; SECO, 1979.
62. VEROUGSTRAETE, P. Commentaire de plusieurs essais de laboratoire relatifs à l'étanchéité des fenêtres au vent et à la pluie. CSTC Revue, Bruxelles, (1): 10-21, mar 1983.
63. ISYUMOU, N. & DAVENPOR T. The ground level wind environment in built-up areas. In: Fourth international conference on wind effects on building and structures. Heathrow, Edited by Dr. Keith J. Eaton, 1975.