

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

**A ALTERAÇÃO DA APARÊNCIA DAS FACHADAS DOS EDIFÍCIOS:
INTERAÇÃO ENTRE AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS E A FORMA CONSTRUÍDA**

Dissertação de Mestrado

Helena Maria Cabeda Petrucci

Porto Alegre, 2000

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

**A ALTERAÇÃO DA APARÊNCIA DAS FACHADAS DOS EDIFÍCIOS:
INTERAÇÃO ENTRE AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS E A FORMA CONSTRUÍDA**

Helena Maria Cabeda Petrucci

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

Porto Alegre, 2000

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelos Orientadores e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS (PPGEC/UFRGS).

Prof.^a Eng.^a Denise Dal Molin, Dra., UFRGS
Orientadora

Prof.^o Eng.^o Acir Mércio Loredo-Souza, Ph. D., UFRGS
Orientador

Prof.^o Eng.^o Francisco de Paula S. L. Gastal, Ph. D., UFRGS
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

Banca Examinadora:

Prof.^o Eng.^o Luis Carlos Pinto da Silva Filho, UFRGS
Ph. D. pela University of Leeds, UK

Prof.^o Eng.^o Mario José Paluch, UPF
Dr. pelo CPGEC/UFRGS, RS

Prof.^o Arq.^o Hélio Adão Greven, UFRGS
Dr. Ing. pela Univ. Tech. Hannover, Alemanha

AGRADECIMENTOS

Aos professores Denise C. C. Dal Molin e Acir Mércio Loredo-Souza, pela orientação segura e estímulo constante no desenvolvimento dos conteúdos deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudo que viabilizou as atividades de pesquisa.

Aos colegas e professores deste Programa de Pós-Graduação, pela convivência agradável e sempre estimulante, valendo destacar o professor Luis Fernando M. Heineck, atualmente na UFSC, orientador de minha iniciação em trabalhos de pesquisa.

Aos colegas de departamento na Faculdade de Arquitetura desta Universidade, Antônio Tarcísio da Luz Reis, Rita Maria Pillar Kessler e José Carlos de Freitas Lemos que, algumas vezes, gentilmente substituíram-me em atividades docentes e Daniela Marzola Fialho, pelo auxílio na formatação final do texto.

Aos funcionários da Secretaria do Programa de Pós-Graduação e da Biblioteca da Escola de Engenharia da UFRGS, pelo apoio solidário.

Aos amigos arquitetos Flávia Boni Licht, autora das fotografias dos exemplares analisados no estudo de caso desta pesquisa, e Airton e Ana Cattani que elaboraram os slides utilizados na sua apresentação e defesa.

À minha família, pelo apoio e o entusiasmo com que acompanha minhas realizações pessoais, valendo destacar as presenças da Sônia, do Nando e da Vivian.

Ao Joca, companheiro já de muita vida, pelo estímulo e amor.

A todas as pessoas que, de uma forma ou outra, colaboraram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Fernando e Maria Tereza

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 A MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA DE MANCHAMENTO DAS FACHADAS DOS EDIFÍCIOS POR PARTÍCULAS DE CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA....	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	8
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	8
2 FATORES EXTRÍNSECOS ENVOLVIDOS NO MANCHAMENTO DAS FACHADAS: CONDIÇÕES AMBIENTAIS	10
2.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS – PARTÍCULAS.....	10
2.1.1 Deposição das partículas.....	11
2.1.2 Adesão das partículas.....	13
2.2 AGENTES CLIMÁTICOS.....	14
2.2.1 Ação do vento.....	14
2.2.1.1 O edifício: obstáculo ao vento.....	19
2.2.2 Ação da água da chuva.....	21
2.2.2.1 Chuva incidente ou dirigida.....	22
2.2.2.2 Escorrimento da chuva pelas superfícies das fachadas.....	28
2.2.3 Umidade relativa do ar.....	32
2.2.4 Temperatura do ar.....	32
3. FATORES INTRÍNSECOS: INTERAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS COM A FORMA CONSTRUÍDA E SUA INFLUÊNCIA NO MANCHAMENTO DAS FACHADAS	33
3.1 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DA FACHADA (GEOMETRIA E MATERIAIS) NA DEPOSIÇÃO E ADESÃO DAS PARTÍCULAS DE CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE SUAS SUPERFÍCIES.....	35
3.2 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DA FACHADA NA AÇÃO DE LAVADO DIRETO DAS SUPERFÍCIES POR DEPOSIÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA.....	38
3.3 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DA FACHADA NOS EFEITOS PROVOCADOS PELA AÇÃO DO ESCORRIMENTO DA CHUVA SOBRE SUAS SUPERFÍCIES	42

3.4 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DA FACHADA NA PERCEPÇÃO DA SUJIDADE (CAMUFLAGEM DA SUJIDADE).....	51
4 ESTUDO DE CASO	53
4.1 FATORES EXTRÍNSECOS: CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE FÍSICO DA CIDADE DE PORTO ALEGRE.....	54
4.1.1 Estado da contaminação atmosférica por material particulado	55
4.1.1.1 A qualidade do ar/ monitoramento.....	55
4.1.1.2 Configuração urbanística da cidade e sua relação com a qualidade do ar.....	57
4.1.2 Dados climáticos	58
4.1.2.1 O vento na cidade de Porto Alegre	58
4.1.2.2 Chuva.....	59
4.1.2.3 Temperatura do ar e radiação solar.....	63
4.1.2.4 Umidade relativa do ar.....	65
4.1.3 Os exemplares analisados: edifícios Vera Cruz e Sulacap localizados no centro histórico	66
4.1.3.1 Os edifícios e o clima do entorno urbano.....	71
4.2 FATORES INTRÍNSECOS: OS EDIFÍCIOS VERA CRUZ E SULACAP.....	79
4.2.1 Edifício Vera Cruz	79
4.2.1.1 Fachadas Leste e Sul – geometria e materiais.....	80
4.2.1.2 Análise da ocorrência da manifestação patológica e de suas prováveis causas.....	81
4.2.2 Edifício Sulacap	85
4.2.2.1 Fachadas Oeste, Norte e Sul – geometria e materiais.....	86
4.2.2.2 Análise da ocorrência da manifestação patológica e de suas prováveis causas.....	88
5 CONCLUSÕES	95
5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	98
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Escoamentos direcionados do vento.....	14
Figura 2.2	Efeito da rugosidade superficial nas características do vento.....	15
Figura 2.3	Mapa das isopletas da velocidade básica do vento para o Brasil.....	16
Figura 2.4	Efeitos aerodinâmicos do vento.....	17
Figura 2.5	Efeitos aerodinâmicos do vento.....	18
Figura 2.6	Escoamento típico do ar ao redor de um edifício alto com um edifício mais baixo a barlavento.....	19
Figura 2.7	Região da esteira.....	20
Figura 2.8	Separação do escoamento.....	20
Figura 2.9	Exemplo de coeficientes de pressão.....	20
Figura 2.10	Captação da água pela fachada.....	22
Figura 2.11	Prováveis padrões de escoamento do ar e trajetórias das gotas de chuva.....	25
Figura 2.12	Parábola de chuva incidente.....	26
Figura 2.13	Chuva dirigida em túnel do vento.....	26
Figura 2.14	Umedecimento das fachadas.....	27
Figura 2.15	Lavados sujos e limpos.....	31
Figura 3.1	Plataformas.....	36
Figura 3.2	Características dos materiais com influência na deposição e adesão das partículas de contaminação.....	37
Figura 3.3	Relação entre o desenho da janela e as manchas do escoamento da água da chuva.....	43
Figura 3.4	Rugosidade e textura e a distribuição da água pelas superfícies da fachada...	43
Figura 3.5	Canais contínuos.....	45
Figura 3.6	Planos contínuos.....	46
Figura 3.7	Descontinuidades de planos e canais.....	47
Figura 3.8	Diedros côncavo e convexo.....	48
Figura 3.9	Planos avançados.....	49
Figura 3.10	Planos corridos horizontalmente.....	50
Figura 3.11	Planos corridos verticalmente.....	50

Figura 3.12 Relevos e juntas na superfície da fachada..... 51

Figura 4.1 Mapa das áreas de maior potencial de poluição atmosférica por emissões
veiculares..... 56

Figura 4.2 O vento na cidade de Porto Alegre..... 59

Figura 4.3 Precipitação pluviométrica na cidade de Porto Alegre..... 60

Figura 4.4 Curva (a): velocidade média do vento durante a chuva (m/s); curva (b):
intensidade média horizontal das chuvas (mm/h); curva(c): intensidade
média vertical das chuvas (mm/h)..... 61

Figura 4.5 Curva (a): frequência das chuvas (% de horas do total); curva (b):
precipitação (% do total)..... 61

Figura 4.6 Grau de exposição das fachadas à chuva dirigida, na região de Porto Alegre,
em função de suas orientações..... 62

Figura 4.7 Temperatura média compensada em Porto Alegre..... 63

Figura 4.8 Umidade relativa do ar em Porto Alegre..... 63

Figura 4.9 Insolação em Porto Alegre..... 63

Figura 4.10 Evaporação em Porto Alegre..... 63

Figura 4.11 Projeção estereométrica das trajetórias do sol em Porto Alegre. Indicação
dos períodos de incidência de sol nos planos desobstruídos à esta ação,
orientados para Norte, Sul, Leste e Oeste..... 64

Figura 4.12 Sombreamento na Av. Borges de Medeiros devido ao entorno edificado..... 65

Figura 4.13 Centro histórico de Porto Alegre..... 66

Figura 4.14 Edifício Sulacap à esquerda de quem sobe a Av. Borges de Medeiros..... 67

Figura 4.15 Edifício Vera Cruz à direita de quem sobe a Av. Borges de Medeiros..... 67

Figura 4.16 Vista do cruzamento entre as avenidas Sen. Salgado Filho e Borges de
Medeiros..... 68

Figura 4.17 Vista do cruzamento entre as avenidas Sen. Salgado Filho e Borges de
Medeiros..... 68

Figura 4.18 Fachada Sul – ed. Vera Cruz..... 69

Figura 4.19 Fachada Leste – ed. Vera Cruz..... 69

Figura 4.20 Ed. Sulacap..... 70

Figura 4.21 Vista dos edifícios Vera Cruz e Sulacap, da Rua Gal. Andrade Neves..... 70

Figura 4.22 Mapa do clima urbano.....	72
Figura 4.23 Estudo da radiação solar.....	74
Figura 4.24 Cânion da Av. Borges de Medeiros.....	75
Figura 4.25 Situação (A) do vento.....	76
Figura 4.26 Situação (B) do vento.....	77
Figura 4.27 Situação (C) do vento.....	78
Figura 4.28 Ed. Vera Cruz.....	79
Figuras 4.29 Fachada Leste - ed. Vera Cruz.....	82
Figura 4.30 Detalhe esquina - ed. Vera Cruz.....	82
Figura 4.31 Escorrimentos limpos com limites em “dentes de serra”.....	84
Figura 4.32 Diedro côncavo.....	85
Figura 4.33 Diedro côncavo.....	85
Figura 4.34 Ed. Sulacap.....	87
Figura 4.35 Parte da fachada Sul do ed. Sulacap (mais acentuado manchamento).....	88
Figura 4.36 Detalhe da fachada Sul do ed. Sulacap (presença de microorganismos).....	89
Figura 4.37 Detalhe da fachada Oeste do ed. Sulacap.....	90
Figura 4.38 Elementos horizontais salientes e beiral - ed. Sulacap.....	91
Figura 4.39 Plataformas horizontais que possibilitam o descolamento da água escorrida - ed. Sulacap.....	91
Figura 4.40 Maior marcação das juntas do revestimento - ed. Sulacap.....	92
Figura 4.41 Aberturas distribuídas regularmente - ed. Sulacap.....	92
Figura 4.42 Distribuição regular das janelas emolduradas - ed. Sulacap.....	93
Figura 4.43 Proteção dos parapeitos – efeito de abrigo - ed. Sulacap.....	94
Figura 4.44 Estrutura em grade do volume das sacadas - ed. Sulacap.....	94

RESUMO

Este trabalho se insere dentro dos estudos relativos à durabilidade ou integridade física da Arquitetura, mais particularmente à durabilidade da aparência das fachadas dos edifícios. Estuda a interação que se estabelece entre as partículas de contaminação atmosférica combinadas com o vento e a chuva (condições ambientais), e a morfologia das fachadas (geometria e materiais) nas mudanças visuais ou manchamentos que degradam suas aparências. Após sistematização do conhecimento geral sobre os mecanismos e fatores envolvidos na formação desse tipo de manifestação patológica, utiliza um estudo baseado em casos reais para análise das correlações entre as variáveis envolvidas no processo, em nível de condições ambientais locais e características da morfologia das fachadas. Os dois edifícios escolhidos como estudo de caso estão dentro do centro da cidade de Porto Alegre, mais precisamente em área designada por Centro Histórico, tendo sido construídos na primeira metade do século. O Centro Histórico foi escolhido como área para a seleção dos exemplares analisados por possuir um alto potencial de acumulação de poluentes, exagerando o fenômeno estudado. Os exemplares analisados, apesar da mesma idade, chegaram aos dias de hoje em condições díspares quanto à manutenção da sua aparência, possibilitando a confirmação da influência da sua materialização no seu desempenho frente às condições de exposição aos agentes ambientais envolvidos no processo.

ABSTRACT

This work is included in the field of studies related to the durability or physical integrity of Architecture, particularly the durability of the appearance of the buildings facades. It focuses on the interaction established between the particles of atmospheric contamination, in combination with the wind and the rain (environmental conditions), and the morphology of the facades (geometry and materials) in the process of visual changes, or soiling, which degrade their appearance. After having organized the general knowledge relative to the mechanisms and factors involved in the formation of this kind of pathologic manifestation, the author utilized a case study methodology in order to analyse the correlations among the variables involved in soiling, taking into consideration the local environmental conditions and the features of the facades morphology. The two buildings that were chosen for the case study are located in the center of Porto Alegre, in an area designated as Centro Histórico [Historical Center] and were built in the first half of the century. The Centro Histórico was chosen as the area for the selection of exemplars due to its high potential of pollutants accumulation, thus amplifying the studied phenomenon. Today, despite their same age, the analyzed exemplars became unequal, regarding the maintenance of their appearance. This made possible the confirmation of the influence of their materialization on their performance, concerning the conditions of exposure to the environmental agents involved in the process.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA DE MANCHAMENTO DAS FACHADAS DOS EDIFÍCIOS POR PARTÍCULAS DE CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA

A Arquitetura pode ser definida, segundo Carrió (1985, p.7), como Arte Funcional, tendo o adjetivo funcional, na definição, um sentido de uso vital, conforme explica o autor: “A Arquitetura – cada arquitetura concreta – se cria, não só para ser vista, sim, sobretudo, para ser vivida, para ser utilizada”.

Os aspectos básicos dessa funcionalidade, segundo o mesmo autor (Carrió, 1985), lembrando os atributos da Arquitetura propostos pelo arquiteto romano Marco Vitruvius Polião - no primeiro século a.C., em tratado com grande influência sobre a formulação teórica da arquitetura ocidental (Moreno-Navarro, 1993) -, seriam a Habitabilidade (*Utilitas*), a Estética (*Venustas*) e a Integridade (*Firmitas*).

A *Habitabilidade*, principal característica da Arquitetura, relaciona-se a uma adequada distribuição interior o mais funcional de seus espaços e ao conforto ambiental criado pelo desempenho físico-químico de suas envolventes. A *Estética exterior* da Arquitetura define o aspecto visual de um edifício e parte do entorno físico e histórico em que se assenta; a *Estética interior*, intimamente ligada à habitabilidade, afeta diretamente os usuários dos espaços internos que define. A *Integridade* diz respeito à permanência do edifício que, para ser vivido, precisa cumprir o tempo previsto para a sua duração sem degradações funcionais ou estéticas; a *integridade mecânica ou estabilidade estrutural* relaciona-se à exigência de estrutura de suporte no edifício e a *integridade física* à necessidade de durabilidade das edificações e é entendida por suficiente resistência ante os agentes agressivos ao longo do tempo, conferindo à edificação permanência funcional e formal durante sua vida útil (Carrió, 1985).

À necessidade de durabilidade dos edifícios se contrapõe a idéia de envelhecimento. Os edifícios, no tempo, podem sofrer desgastes causados pelo homem e/ou pela natureza, tendo em vista que os seus materiais, mesmo em estado natural, estão sujeitos a uma deterioração contínua resultante de processos físicos, químicos e biológicos. O ciclo de vida das construções e materiais de construção está diretamente determinado pelas condições da atmosfera de um determinado lugar (o meio ambiente) a cada determinado momento (o tempo) e, mais ou menos lentamente, dependendo de sua composição e das características da

atmosfera, todas as construções mudam com o tempo. Se o envelhecimento é o resultado de um movimento contínuo dos processos aludidos acima, ele é, então, o efeito do tempo (Mostafavi e Leatherbarrow, 1993).

No caso das fachadas dos edifícios, parte de sua envolvente, o desgaste ao longo de seu tempo de uso reflete a função de elementos reguladores da interação dos espaços internos com os externos que as converte em anteparo aos agentes agressivos do meio ambiente (Elder e Vandenberg, 1977; Symposium, 1977; Dorfman e Petrucci, 1989).

Esse desgaste, quando procede ininterruptamente, pode conduzir a falhas nos materiais constituintes e até à ruína do próprio edifício. Com o objetivo de prevenir ou retardar sua ocorrência, os edifícios precisam sofrer ações de manutenção que compreendem desde operações rotineiras de limpeza das superfícies (*conservação*), passando por atividades de *substituição* de materiais ou componentes e de correção de defeitos (*retificação*) originados em qualquer etapa do processo de construção e uso da edificação, até atividades de *renovação* realizadas com o objetivo de recuperar ou elevar o desempenho do edifício ou parte dele (Seeley, 1994; Moreno et al., s. d.).

Reconhecendo-se que apesar das ações de manutenção que possam vir a sofrer os edifícios o envelhecimento ainda ocorre, a mudança paulatina de imagem decorrente não tem porque resultar inadmissível se é suficientemente lenta e equilibrada para ajustar-se ao envelhecimento integral de seu entorno material e humano (Vallejo, 1990a).

Observa-se, no entanto, que algumas fachadas têm suas aparências desfiguradas, muitas vezes com ainda pouco tempo de uso e principalmente em centros urbanos, não podendo passar por consideração desatenta daquele observador interessado na conservação da imagem urbana como parte de seu ambiente vital. As fachadas de um edifício são os elementos que limitam, ao mesmo tempo, os espaços internos e o espaço externo, possuindo, portanto, papel preponderante na configuração das paisagens ou espaços urbanos. Por definirem o espaço exterior e interior e por contribuírem mais do que qualquer outro elemento à imagem que dele se tem, Elder e Vandenberg (1977) acreditam que para uma grande maioria de pessoas *as fachadas são o edifício*.

As mudanças na aparência das fachadas dos edifícios, desfigurando-as, podem se dar, segundo Theissing (1984), entre dois fenômenos com estreita inter-relação:

- parcialmente *devido ao ataque químico* na camada da superfície. Os casos de degradação, tais como a corrosão, proveniente da ação de gases, e em particular dos ácidos, preferencialmente vistos como agentes de degradação química dos materiais, além de terem conseqüências sobre a estética de uma fachada, são vistos principalmente como um risco para a integridade das obras (Carrié et al., 1975; Torraca, 1986; Torraca, 1988). Além disso, estão mais condicionados à qualidade dos materiais utilizados. A concentração de elementos corrosivos, tais como o dióxido de enxofre, é alta em alguns ambientes urbanos e pode afetar certos materiais; no caso do concreto aparente, por exemplo, a sua qualidade (densidade) será a melhor defesa contra tal ação química (PCI, 1973; Coutinho, 1988; Mehta e Monteiro, 1994; Neville, 1997). Ao explicar a aceleração do desgaste de esculturas (expostas à intempérie no meio urbano) e superfícies externas de edifícios, revestidos em pedra, atribuída ao incremento da poluição atmosférica em ação combinada com os agentes naturais de degradação, Fassina (1988) faz uma revisão daqueles poluentes atmosféricos que, direta ou indiretamente, afetam as pedras de construção.

- parcialmente *devido à deposição de partículas sólidas* na superfície. Nas manifestações patológicas de manchamento das superfícies das fachadas, alterando suas aparências, como resultado da aderência de partículas (no inglês, *soiling of facades*; no francês, *salissures de façades*) existem quatro importantes fontes das quais elas (as partículas) podem se originar (Perrichet, 1984; Theissing, 1984; Verhoef, 1988; Estoup, 1997):

1. *Do interior do próprio material desfigurado*, ao provocar os fenômenos de formação de eflorescências (formação de depósito salino na superfície), manchas devidas à degradação das armaduras, entre outros (Uemoto, 1988; Verhoef, 1988; Mehta e Monteiro, 1994; Bauer, 1997; Souza, 1997);

2. *Dos materiais de construção próximos ou vizinhos às fachadas*, tais como betumes, tintas, compostos selantes, parafusos e pregos esquecidos. Também a água da chuva escorrida de elementos de concreto da fachada pode causar manchas nos vidros das janelas situadas abaixo (PCI, 1973; Verhoef, 1988; Richardson, 1991);

3. *De microorganismos*. O manchamento externo das paredes dos edifícios é devido, em muitos casos, à presença de microorganismos vegetais que vivem em geral em associações ecológicas com a predominância de um tipo ou de outro, tais como bactérias, algas e fungos. Neste caso de degradação, a tipologia do material de superfície não é o mais importante para o fenômeno, mas sim a umidade, absolutamente necessária, e a orientação solar, que

determinará os efeitos devidos a ventos preferenciais e exposição à luz do sol (Perrichet, 1984; Torraca, 1986; Alucci et al., 1988; Cincotto, 1988; Shirakawa et al., 1997);

4. *Do meio ambiente* e principalmente causada por atividades humanas ou de fontes naturais. Desta fonte, dois tipos de manchamento precisam ser distinguidos: - um primário, físico, devido à deposição de, principalmente, material particulado de uma cor diferente daquela da superfície da fachada, sendo um efeito puramente ótico (fuligens e poeiras são os poluentes dominantes); o outro, secundário, devido a depósitos que interagem com a superfície da fachada ou com as influências micro-meteorológicas, caracterizando-se como um efeito físico-químico extremamente complexo (Theissing, 1984; Devitofrancesco et al., 1987; Verhoef, 1988; Fassina, 1988).

O presente trabalho centra sua atenção no tipo primário de alteração da aparência das fachadas por deposição de partículas de contaminação atmosférica, por tratar-se de um tipo de desfiguramento intimamente relacionado com a plástica da arquitetura que, segundo Tedeschi (1976), pode ser entendida como o caráter formal dos elementos construídos que limitam o espaço - resultado da utilização de linhas, planos, volumes, materiais (qualidade, textura), luz e cor. No caso da manifestação patológica em estudo, justamente as decisões ou escolhas feitas pelo projetista para imprimir um bom aspecto às fachadas, entre outros condicionantes considerados na etapa do projeto da edificação, é que poderão, ironicamente, conduzir à deterioração estética acelerada dos planos das fachadas e de seu meio (espaço) de inserção.

Atkinson (1977) lembra que os projetistas, além de estarem preocupados com a verificação de desempenho de uma dada solução de superfície quanto aos requisitos técnicos necessários de habitabilidade, integridade estrutural e durabilidade, se interessam ou deveriam se interessar em prever as mudanças na aparência que possam vir a sofrer seus projetos de fachadas, em entender os efeitos que uma geometria escolhida e arranjo das partes de um edifício terão na sua durabilidade e alteração de aparência.

O envelhecimento ou degradação das fachadas pela exposição às partículas originadas da poluição do ar é o resultado de uma seqüência de eventos, começando com a emissão de poluentes por alguma fonte, seguida pelo transporte atmosférico e pela deposição sobre a superfície da fachada (Verhoef, 1988). Os contaminantes do ar, combinados com o vento e a chuva, interagem então com os materiais, com a geometria da fachada e as formas provenientes de seus detalhes, determinando mudanças visuais (degradações) que podem alterar a intenção estética do projetista.

O interesse pelo tema, ora apresentado, também é decorrente do fato de que a prevenção da patologia observada, em nível de projeto, está diretamente relacionada com o controle da migração da água da chuva sobre as superfícies das fachadas. Este controle, segundo Marsh (1977), juntamente com a prevenção da penetração da chuva através da parede, está entre as principais considerações no projeto das superfícies externas de uma edificação para impedir a absorção da água pelos materiais (Bauer, 1987; Perez, 1988). A umidade, proveniente da ação da água, pode desempenhar papel importante na deterioração de aproximadamente todos os materiais de construção, tais como metais, plásticos, pinturas, madeira e alvenarias, que serão afetados de um modo ou outro (Gratwick, 1979; Richardson, 1991).

Sendo assim, podemos então definir, de acordo com Vallejo (1990a, p.14), a manifestação patológica em estudo como

(...) uma alteração formal e, com frequência, material da fachada de um edifício, cuja conseqüência é a aparição, em um curto espaço de tempo, de uma imagem desagradável acompanhada, em maior ou menor medida, por uma deterioração física do material de revestimento. Dita imagem não desejada está produzida por uma pátina marcada e irregular de sujeira progressivamente acumulada em toda a superfície da fachada. Marcada, pelo contraste forte de cor com o material de suporte; irregular, pelas diferenças de intensidade de acumulação de partículas, derivadas da própria morfologia da fachada, e pelas zonas de limpeza e lavado que produzem os agentes meteorológicos”.

Segundo Ordaz e Esbert (1988, p.44), na apresentação de um glossário de termos mais comumente empregados na literatura específica sobre a alteração das rochas como materiais de construção (mais particularmente sobre deterioração das pedras nos monumentos), o termo genérico de *pátina* inclui várias acepções, dentre as quais a de “capa ou película superficial e delgada formada sobre as pedras por acumulação superficial de sujeira (pátina de escurecimento)”, utilizada na definição de Vallejo (1990a) com extensão aos materiais porosos de revestimento, de um modo geral, e adotada para este trabalho. Vallejo (1990a, p.32) esclarece a diferença existente entre os conceitos de *pátina* e *crosta de sujidade* ao definir este último como “pátina associada a uma capa quimicamente alterada, principalmente por sulfatação dos calcários e arenitos ou por desagregação dos feldspatos”.

A funcionalidade e a economia dos edifícios são valorizações que, na prática, segundo Vallejo (1990a), se sobrepõem às degradações ou alterações de fachadas que comprometem seus aspectos estéticos; esta questão coloca-se, via de regra, de forma ambígua, já que o aspecto estético das edificações está exclusivamente ligado ao imediatismo da obra acabada e

sua conseqüente comercialização, não considerando as deteriorações dos edifícios ao longo de sua vida útil (Heineck e Petrucci, 1989).

Apesar da desvalorização e escassa consciência social acerca das degradações com repercussão estética, limitando-se a atuação sobre edifícios afetados a recursos de limpeza naqueles com reconhecido valor de preservação (Vallejo, 1990a), o fenômeno segundo o qual uma construção em meio urbano se desfigura, ao se recobrir de modo mais ou menos regular de poeira e fuligem, é cada vez mais de difícil aceitação, como analisam Carrié et al. (1975); sinal de uma poluição insana, altera o aspecto de certas construções contemporâneas de modo julgado, o mais seguido, como inadmissível. Salientam ainda os autores que o fato dessa aversão se dar principalmente em relação às construções contemporâneas explica-se por nos sentirmos mais responsáveis pela sua qualidade e por possuímos uma maior exigência em relação aos novos materiais utilizados. Para muitos destes materiais, como o aço inoxidável, o plástico, o alumínio e o vidro, não possuímos referência cultural de seu envelhecimento, apreciando-os exclusivamente por seu aspecto novo.

Muitas são as associações feitas, como em Robinson e Baker (1975), Marsh (1977) e Mostafavi e Leatherbarrow (1993), entre a renovação compositiva trazida pela modernidade do século XX, que privilegia o uso de superfícies mais lisas, despojadas dos elementos que secularmente participavam das fachadas (ex.: molduras e cornijas), e introduz novos materiais de comportamento desconhecido ante o envelhecimento prolongado, e a degradação acelerada da aparência das fachadas dos edifícios. Mas, certamente, os novos inconvenientes da industrialização dos grandes núcleos urbanos e a conquista de suas ruas pelo automóvel aceleraram o antes lento processo de manchamento, provocando degradações às quais se unia o manchamento, mas também a alteração química e a degradação física dos revestimentos (Vallejo, 1990a).

O fato pode ser evidenciado através de uma reportagem, em periódico nacional (Templo, 1981, p.64), que informava sobre a proposta de revestir de plástico as ruínas do Partenon, formulada por uma equipe de especialistas baseada na Universidade de Atenas e encarregada de salvar dos efeitos da poluição industrial esse monumento histórico. Comenta a reportagem que

Se a solução parece desesperada, a situação é catastrófica. O Partenon, como vários outros monumentos de mármore da colina da Acrópole, resistiu a 24 séculos de abandono, chuvas, granizos, ventos e geadas, e até mesmo aos invasores turcos que, em 1687, transformaram o templo em depósito de

pólvora. Mas nada parece ser capaz de protegê-lo dos últimos 25 anos de progresso”.

A transformação da tranqüila cidade mediterrânea em um pólo industrial, nesse quarto de século, trouxe, principalmente, uma densa carga de dióxido de enxofre para o ar, proveniente da combustão do petróleo que, em certas condições, dissolve-se na água da chuva formando ácido sulfúrico que ataca o mármore transformando-o em gesso (Fassina, 1988).

Estimular medidas que contribuam para impedir ou retardar as causas e os efeitos dos manchamentos devidos aos contaminantes da atmosfera sobre as fachadas dos edifícios, tais como a regulação e limitação dos vertidos contaminantes (imprescindíveis também frente aos problemas da saúde pública e corrosão dos materiais), constitui benefício indiscutível, tanto no plano econômico quanto no social. Portanto, os projetos de fachadas, participantes indiretos no processo de degradação, se reproduzirem um conhecimento mais aprofundado dos mecanismos que regulam o comportamento daqueles elementos funcionais frente ao fenômeno analisado, podem ser transformados em instrumentos dessa prevenção (Vallejo, 1990a).

Reconhecendo que a ação de sujar-se é um processo natural identificado ao próprio envelhecimento dos edifícios, é necessário que o projeto aspire não à anulação de um fenômeno de qualquer maneira inexorável, mas à obtenção de um domínio e de uma capacidade de controle sobre um processo de envelhecimento natural das edificações (que pode inclusive contribuir para seu enriquecimento plástico e simbólico), com vistas a evitar a sua conversão em um processo danoso e indesejável de degradação rápida e descontrolada de sua aparência (Theissing, 1984; Dorfman e Petrucci, 1989).

Desta forma, este trabalho discute aspectos relativos à integridade da Arquitetura, mais especificamente à sua durabilidade, detendo-se particularmente na questão da alteração da aparência das fachadas dos edifícios, ou de sua estética exterior, por deposição de partículas de contaminação atmosférica em suas superfícies.

Interessa-se em investigar, sem julgar a qualidade compositiva das fachadas do ponto de vista estético, a influência da morfologia da fachada (volumetria, geometria e materiais), ao interagir com as condições ambientais de exposição, na alteração de seu aspecto original.

Foi possível verificar, ao longo do trabalho, como já mencionara Vallejo (1990a), a escassez de investigações com um enfoque global do fenômeno empreendidas nessa área da patologia das construções, cabendo destacar os trabalhos de Carrié et al. (1975), Robinson e

Baker (1975), Symposium (1977), El – Shimi et al. (1980) e Verhoef (1988). Ainda mais raras são aquelas investigações baseadas em observações sistemáticas do patrimônio edificado como é o trabalho de Vallejo (1990a; 1990b), referência importante para a viabilização desta pesquisa. O autor explica os princípios teóricos e analisa, experimentalmente, em área edificada na cidade espanhola de Valladolid, o fenômeno do manchamento de fachadas por deposição de partículas de contaminação atmosférica, concluindo com uma síntese de sugestões para projeto.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O presente trabalho tem como objetivo geral verificar, através de revisão bibliográfica e estudo de caso, a existência de interações entre as condições ambientais e a forma construída na manifestação patológica de manchamento por partículas de contaminação atmosférica em superfícies de fachadas de edifícios.

Como objetivos específicos, pretende:

- sistematizar, através de revisão bibliográfica, o conhecimento geral dos mecanismos e fatores envolvidos na formação desse tipo de manifestação patológica;
- utilizar um estudo baseado em casos reais para verificação de correlações entre condições ambientais e a forma arquitetônica, a partir da identificação das variáveis envolvidas no processo patológico em nível de condições ambientais locais e características da morfologia das fachadas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No **Capítulo 1** identifica-se, delimita-se e justifica-se a pertinência do objeto de estudo. A manifestação patológica alvo analisada é conceituada e algumas considerações são feitas sobre a importância da sua prevenção em nível de projeto e da ainda incipiente consciência social que provoca.

A seguir, fundamenta-se teoricamente a manifestação patológica de manchamento das fachadas dos edifícios por partículas de contaminação atmosférica. Procura-se obter um conhecimento geral dos mecanismos e fatores implicados na formação desse tipo de lesão. Considerando-se a extensão do trabalho a ser realizado e a complexidade do fenômeno observado, pela presença de um número muito grande de variáveis, exclui-se o referente a tratamentos de manutenção decorrentes e necessários (Verhoef, 1988).

As variáveis presentes no fenômeno observado são identificadas ao longo do trabalho tendo como idéia estruturadora sua inserção no grupo daquelas relativas aos *Fatores Extrínsecos*, condições ambientais (ou ambiente físico) para as quais as fachadas dos edifícios se expõem, responsável direto sobre a degradação abordada; ou das pertinentes aos *Fatores Intrínsecos*, que dizem respeito à materialização do edifício, à forma construída. No decorrer do estudo são estabelecidas as correlações existentes entre elas.

Esse levantamento encontra-se nos Capítulos 2 e 3. O **Capítulo 2**, relativo aos *Fatores Extrínsecos*, aborda fundamentalmente os contaminantes atmosféricos e os agentes climáticos envolvidos no manchamento das fachadas. O **Capítulo 3**, dedicado aos *Fatores Intrínsecos*, desenvolve os aspectos referentes à interação das condições ambientais com a forma construída (a fachada do edifício, sua geometria e materiais).

Optou-se por uma pesquisa qualitativa e pelo estudo de caso como metodologia. Essa parte do trabalho, que constitui o **Capítulo 4**, aproxima-se ao fenômeno estudado analisando empiricamente as manifestações patológicas de manchamento por partículas de contaminação atmosférica em dois edifícios cujas fachadas foram afetadas de alguma forma pelos processos lesivos expostos na parte teórica. Os exemplares selecionados, os edifícios Vera Cruz e Sulacap, fazem parte do patrimônio edificado da cidade de Porto Alegre. Objetiva-se, com este estudo, identificar a patologia estudada e verificar se os modelos de manchamento apresentados pelos exemplares observados correspondem aos previstos.

A análise do manchamento originado sobre as edificações selecionadas realiza-se, dentro do possível, com caracterização do meio atmosférico e localização dos fatores que têm influência no processo e que se encontram condicionados pela materialização dos edifícios e tipos de fachadas com relação a materiais e composição formal, e diferentes situações externas com influência no processo.

Registros gráficos e fotográficos, feitos durante o período de observação dos exemplares, constam do conteúdo deste capítulo.

O **Capítulo 5**, dedicado às conclusões, faz uma apreciação final do trabalho e algumas sugestões para pesquisas futuras. Constata-se a interação entre as condições ambientais envolvidas no processo e a incidência do desenho arquitetônico e construtivo das fachadas no modo de produzirem-se os manchamentos.

2 FATORES EXTRÍNSECOS ENVOLVIDOS NO MANCHAMENTO DAS FACHADAS: CONDIÇÕES AMBIENTAIS

As influências das condições ambientais à forma construída no manchamento das fachadas dos edifícios são analisadas a partir das variáveis *contaminantes atmosféricos* (natureza, origem, deposição e adesão aos paramentos das partículas de poluição que produzem a sujidade) e *agentes climáticos* (vento e chuva isolados e combinados, temperatura e umidade do ar).

2.1 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS - PARTÍCULAS

A atmosfera (o ar) que envolve a crosta terrestre constitui um meio gasoso composto predominantemente de nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), e outros gases presentes em concentrações variáveis e quantidades menores, como vapor de água, dióxido de carbono e ozônio. Apesar de aparentemente invariável em sua composição, a atmosfera é um sistema dinâmico: seus componentes gasosos estão em contínua troca com os seres vivos e com os oceanos, e continuamente recebe produtos procedentes da terra (Lima et al., 1998).

Ditos produtos são lançados tanto por processos naturais, como erupções vulcânicas, quanto artificiais, como os produzidos pela queima de combustíveis e por processos industriais (Lima et al., 1998). Classificam-se, segundo o estado de agregação da matéria contaminante, em *gases*, que se misturam completamente com o ar, e *aerossóis*, “mesclas de partículas suficientemente finas em suspensão no ar”. Dá-se o nome de *névoa* ou *neblina* ao aerossol formado por partículas líquidas, e *pó atmosférico* ao formado por partículas sólidas. O aerossol misto, “dispersão de partículas em fases sólida e líquida”, a *fumaça*, “resulta, principalmente, da combustão de óleo diesel e consta, basicamente, de carvão e outros materiais combustíveis” (Vallejo, 1990a, p.17-18).

O *pó atmosférico* e as *fumaças pretas* (partículas finas com diâmetro inferior a 10 μm) são as principais causas da degradação estética das fachadas dos edifícios por sujidades concentradas em seus paramentos. Das fontes principais em áreas urbanas de aerossóis sólidos, fumaças e partículas sólidas em geral, as emissões de chaminés industriais (produzindo carvão, hidrocarbonetos, minerais, cinzas, entre outros) e as emissões de subprodutos de combustão e semicombustão na queima de combustíveis (carvão,

hidrocarbonetos, cinza, mas, principalmente a fuligem) são as principais responsáveis pelas sujidades dos paramentos (Vallejo, 1990a).

Carrié et al. (1975) observam que a permanência das partículas em suspensão no ar depende de sua velocidade de queda. Cada partícula presente no ar está submetida a duas forças de sentido contrário – gravidade (proporcional à sua massa) e atrito com o ar (devido ao deslocamento do ar provocado pela queda da partícula) –, e quando ambas chegam a equilibrar-se, a velocidade de queda se faz constante (velocidade limite); para uma mesma natureza de partícula, esta velocidade é função de sua dimensão e de sua forma.

Portanto, como analisam os referidos autores (Carrié et al., 1975), a distinção entre partículas sedimentáveis e partículas suscetíveis de ficarem retidas em suspensão no ar é feita naturalmente sob a ação da força da gravidade. As partículas sedimentáveis se depositam por gravidade essencialmente sobre as paredes não abrigadas, em particular sobre planos horizontais ou inclinados em saliência; as componentes dos aerossóis permanentes, ao fim de certo tempo mais ou menos longo, carregadas pelo ar ou arrastadas pelo vento, podem alcançar qualquer superfície, mesmo aquelas muito abrigadas, e permanecer agarradas pelas forças de adesão que podem ser muito superiores àquelas da gravidade.

2.1.1 Deposição das partículas

A deposição de poluentes sobre as superfícies externas das edificações é o passo final na série de eventos de transporte e transformação entre fontes e superfícies receptoras. Os contaminantes são transportados para as superfícies das fachadas por deposição úmida pela chuva ou por deposição seca direta do ar (Fassina, 1988; Verhoef, 1988).

Segundo Vallejo (1990a, p.27), “a *deposição úmida* consiste na eliminação de algumas substâncias nocivas em suspensão, mediante sua incorporação às pequenas gotas que formam as nuvens e seu posterior depósito através das precipitações”, e afeta as partículas menores que 1µm. A *deposição seca* “é o meio quase exclusivo pelo qual vão formar-se as pátinas e crostas de sujidade. Consiste no depósito continuado das partículas de contaminação transportadas por vento e turbulências atmosféricas, ou por simples sedimentação em situação de calma, sobre as superfícies receptoras”. Os mecanismos da deposição seca são diversos e dependem, entre outros condicionantes, do tamanho das partículas, da situação de vento e das características da superfície do material (estas últimas abordadas no Capítulo 3).

O tamanho das partículas, considerando exclusivamente ar seco, segundo Vallejo (1990a), se estende desde cadeias de várias moléculas, com raio aproximado de 0,0006 μm , até partículas de 20 μm .

Carrié et al. (1975), Estoup (1996) e Colegio (1996), numa tentativa de síntese, classificam as partículas, independentemente de sua natureza, em dois grandes grupos segundo seu tamanho e tendo em vista a divisão em aerossóis temporários e permanentes:

- *partículas de contaminação de tamanho inferior a 1 μm* . Formam os aerossóis que permanecem longo tempo em suspensão por sua elevada mobilidade ou por sua reduzida velocidade de queda. Aderem às superfícies rugosas e têm grande capacidade de cobertura devido à elevada relação superfície/massa. Podem desaparecer por *coagulação* (para partículas inferiores a 0,1 μm), ou seja, agregação a outras maiores do aerossol (Carrié et al., 1975).

- *partículas com diâmetro superior a 1 μm* , principalmente de origem mineral, sedimentam-se mais ou menos rapidamente em função de sua massa e da influência do vento. Segundo Vallejo (1990a), são as que, principalmente, afetam o processo de manchamento das fachadas, depositando-se, a maioria delas, mediante o fenômeno de difusão ligado à turbulência do vento; quanto maiores sejam, menor sua sensibilidade a este fenômeno e maior a influência das forças da gravidade.

Pela *difusão turbulenta*, as partículas de tamanho compreendido entre 1 μm e 15 μm “estão submetidas a deslocamentos aleatórios devido ao regime de fluxo turbulento do ar que as transporta nas proximidades da superfície; o impulso recebido é suficiente para que possam transpor a capa limite do fluxo laminar e acessar as superfícies receptoras, constituindo assim o principal mecanismo de deposição sobre os paramentos verticais” (Vallejo, 1990a, p.29).

Também para esse tamanho de partículas (entre 1 e 15 μm), segundo Carrié et al. (1975), começam a ser importantes os efeitos por *choque inercial*, produzindo-se a deposição sempre que a energia de rebote não supere a força de adesão. Outro aspecto considerado pelos autores refere-se ao fenômeno da *difusão browniana*, para o qual encontram-se submetidas as partículas de tamanho inferior a 1 μm ; tem lugar em todo o meio descontínuo (como o ar) que contém moléculas gasosas em movimento, cujas condições energéticas fazem com que sofram constantes deslocamentos da ordem de 0,1mm em direção arbitrária, chocando-se com as

partículas de contaminação, deslocando-as e dificultando seu movimento de queda; favorecendo, portanto, sua maior permanência em suspensão.

Na ausência de movimento de ar torna-se importante, conforme Vallejo (1990a), a ocorrência de mecanismos de apoio à deposição das partículas aos paramentos, tais como o *fenômeno de transferência* que ocorre quando existe gradiente de temperatura entre o ar e a superfície (para partículas de tamanho inferior a 1 μm) e esta se encontra mais fria (termoforese), ou em presença de gradiente de umidade entre ar e paramento, produzindo-se em ambos sentidos (efeito Stefan).

2.1.2 Adesão das partículas

Com relação à adesão das partículas às superfícies, Carrié et al. (1975), Theissing (1984), Verhoef (1988), Vallejo (1990a) e Estoup (1997) observam que as partículas de sujidade que entram em contato com a superfície da fachada tendem a permanecer aderidas ao suporte pela presença de diferentes forças de atração.

Sobre superfícies horizontais ou inclinadas, ou de rugosidade elevada, as *forças de gravidade* são predominantes. Tratando-se não de forças de aderência, propriamente dito, sua ação consiste na interceptação dos contaminantes em queda pela presença dessas plataformas; dependendo da dureza do suporte, o choque produzido no contato entre partícula e superfície permitirá ou não sua (da partícula) adesão.

As *forças de tensão superficial (ou capilares)*, existentes nas interfaces sólido-liquido-ar em presença de alto conteúdo de umidade no ar e nos poros da superfície, que favorece a fixação das partículas sobre a superfície receptora, têm origem no desequilíbrio das forças intermoleculares na proximidade da superfície, criando laços mais estreitos entre as moléculas de sujidade e as do suporte. Estima-se que essas forças intervêm quando a umidade relativa do ar é superior a 65% (Carrié et al., 1975).

Também intervêm na adesão das partículas *forças de atração eletrostática*, negligenciáveis para suportes de materiais porosos, e *forças de atração molecular* (forças de Van der Waals), para as partículas mais finas (em torno de 0,01 μm), devidas à constituição molecular da matéria. Há, ainda, a possibilidade de que se estabeleça um processo de *ligação química* entre a contaminação e o material de suporte quando a natureza química da contaminação e a do material de suporte são adequadas, existem as condições ambientais

oportunas e estejam partícula e paramento em contato utilizando algum outro mecanismo de adesão para que o contato possa manter-se (Vallejo, 1990a).

2.2 AGENTES CLIMÁTICOS

O Vento e a Chuva são os fenômenos meteorológicos com maior influência na manifestação patológica de manchamento das superfícies das fachadas dos edifícios por partículas de contaminação atmosférica. A Temperatura e a Umidade relativa do ar contribuem para a criação de certas condições ambientais que favorecem ou dificultam a deposição e adesão das partículas.

2.2.1 Ação do vento

O vento (por sua velocidade e direção) serve de veículo às partículas sujas, à água de chuva, e atua, com sua própria força e a energia cinética das partículas que transporta, na modificação da distribuição da sujeira depositada sobre as superfícies das fachadas. Na dispersão e transporte das partículas contaminantes pode beneficiar áreas próximas das fontes de emissão ou prejudicar áreas muito distantes, expondo-as aos efeitos da contaminação.

A ação que o vento desenvolve, isolado ou associado com a água, encontra-se muito relacionada com o perfil do terreno e da cidade objeto de estudo, cuja morfologia urbana é determinante do comportamento dos escoamentos de ar. Estes escoamentos podem operar, em realidade, independentes das correntes dominantes, direcionados através de um planejamento urbano (Figura 2.1) ou em condições altamente turbulentas (Gandemer, 1975).

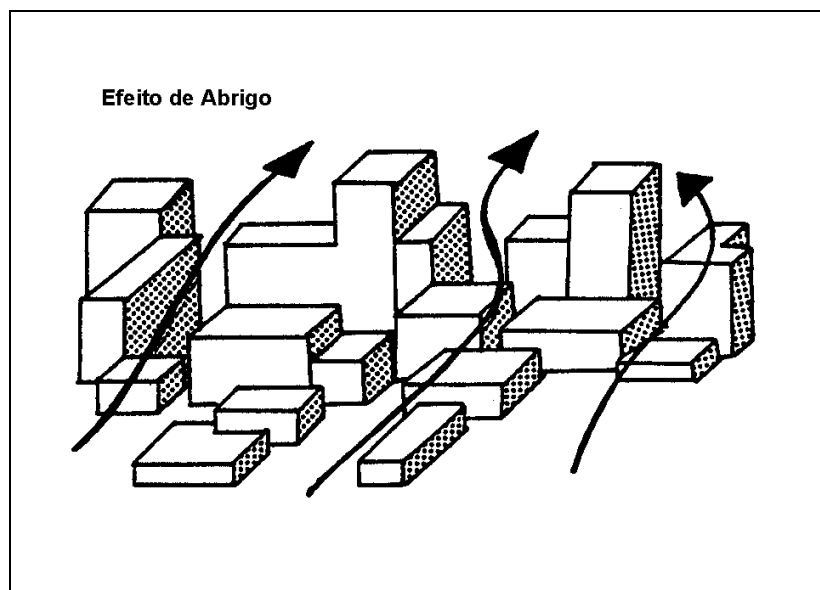


Figura 2.1 Escoamentos direcionados do vento (Gandemer, 1975)

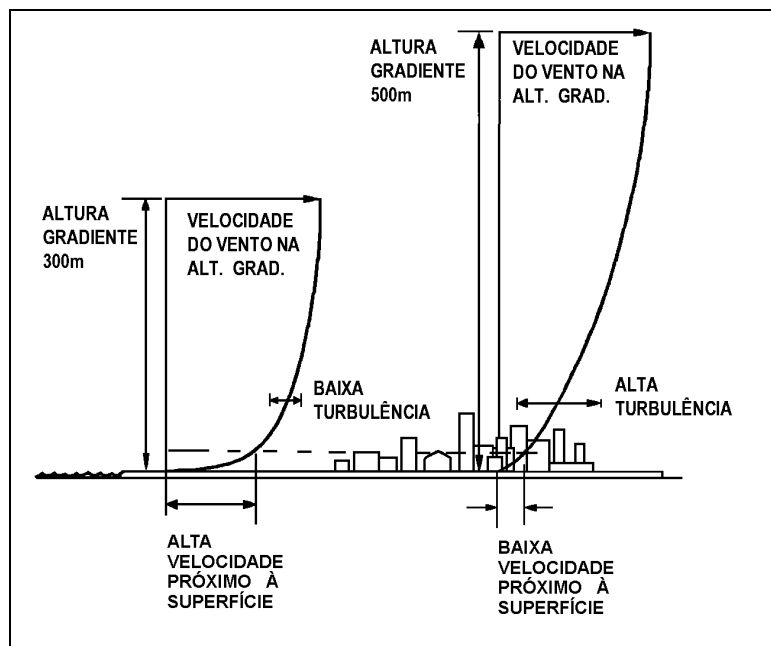


Figura 2.2 Efeito da rugosidade superficial nas características do vento (Mac Donald, 1975)

Também as condições locais de topografia e rugosidades no solo (edifícios circundantes, obstáculos, vegetação) afetam o perfil da velocidade do vento e, portanto, as velocidades do vento interceptado pelos edifícios que se projetam deste campo. Em zonas urbanas ocorre uma diminuição da velocidade média do vento a baixa altitude e aumento da turbulência. Informações provenientes de estudos de cargas do vento em estruturas procuram expressar o modo pelo qual as rugosidades no solo afetam o perfil da velocidade do vento acima deste nível ao produzir uma camada de ar, denominada *camada limite atmosférica*, na qual ocorre um gradiente de velocidade (diminuição da velocidade média do escoamento de ar com a diminuição da altura, chegando a um valor nulo na superfície do terreno) (Fig. 2.2) (Blessmann, 1995).

A Norma Brasileira NBR – 6123: “Forças devidas ao vento em edificações” (ABNT, 1988) indica o procedimento para a determinação da velocidade do vento a ser utilizada em projetos de edificações. A velocidade característica (velocidade de projeto) é definida por:

$V_k = V_o S_1 S_2 S_3$ [m/s], onde V_k = velocidade característica [m/s], V_o = velocidade básica [m/s], S_1 = fator topográfico, S_2 = fator de rugosidade, dimensão da edificação e altura acima do terreno, e S_3 = fator estatístico. A norma contém tabelas com os valores dos diversos fatores de ajuste e o mapa das isopletas (fig. 2.3) da velocidade básica do vento para o Brasil.

A força correspondente à velocidade característica é dada pela expressão: $F = q C A$, sendo F a força devida ao vento [N], $q = 0,613 V_k^2$ a pressão dinâmica [N/m^2], C o coeficiente aerodinâmico, e A a área de referência [m^2].

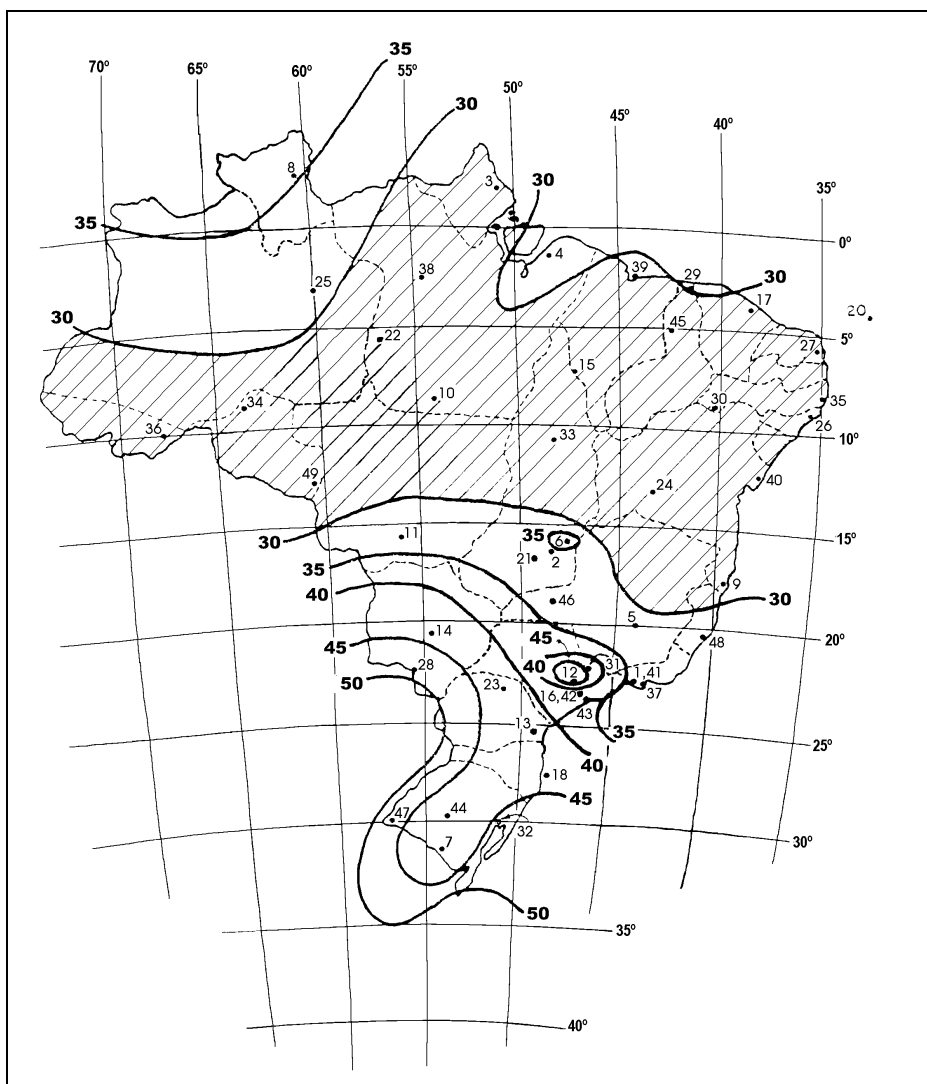


Figura 2.3 Mapa das isopletas da velocidade básica do vento para o Brasil (ABNT, 1988)

O perfil da velocidade do vento mostrado na Fig. 2.2 só ocorrerá acima de um nível conhecido como o plano zero. Para um local aberto o plano zero está virtualmente no plano do solo, mas para um meio ambiente urbano ele ocorre efetivamente em uma altura um pouco superior. Abaixo disto, existe uma camada interfacial na qual as características do escoamento serão totalmente dependentes dos efeitos locais devidos às edificações existentes, sendo que não é possível a descrição de quaisquer características em particular para esta região (Blessmann, 1995).

Gandemer (1975) observa que a justaposição de edifícios pode formar defletores para o vento e canalizar o ar para zonas estreitas (com aumento da velocidade do escoamento); esses diferentes tipos de escoamento podem se combinar, dependentes, ao mesmo tempo, das características do vento incidente (gradiente médio de velocidade vertical, turbulência) e das características dos edifícios e sua vizinhança (formas, tamanhos, posições), de tal modo que a resultante pode ser bastante complexa.

As principais características do vento natural, tais como: perfil de velocidades médias do vento, intensidade da turbulência, macro-escala da turbulência e espectro de potência da velocidade do vento, são abordadas em Blessmann (1995) e valores para os efeitos de vizinhança são indicados em Blessmann (1989).

Os principais estudos sobre o comportamento do vento frente aos obstáculos, como são os edifícios, estão baseados em experimentos levados a cabo em túneis de vento, sobre modelos em escala reduzida. Alguns destes estudos permitem a visualização do escoamento através de setas indicativas da direção local do vento, como o realizado por Loredou-Souza et al. (2000) para um complexo empresarial a ser edificado. O trabalho avaliou os coeficientes de velocidade do vento (velocidade do vento no nível dos pedestres em relação a uma velocidade de referência) em vários locais e para uma ampla gama de direções do vento.

Experimentos realizados pelo CSTB/França (Gandemer, 1975) descrevem os principais efeitos aerodinâmicos do vento sobre os edifícios através da seleção de situações representativas de configurações urbanísticas e suas realidades construtivas e qualidades aerodinâmicas. Entre eles, os efeitos *de barreira*, *Venturi*, *de aberturas* e *de canalização* (Fig. 2.4 e 2.5).

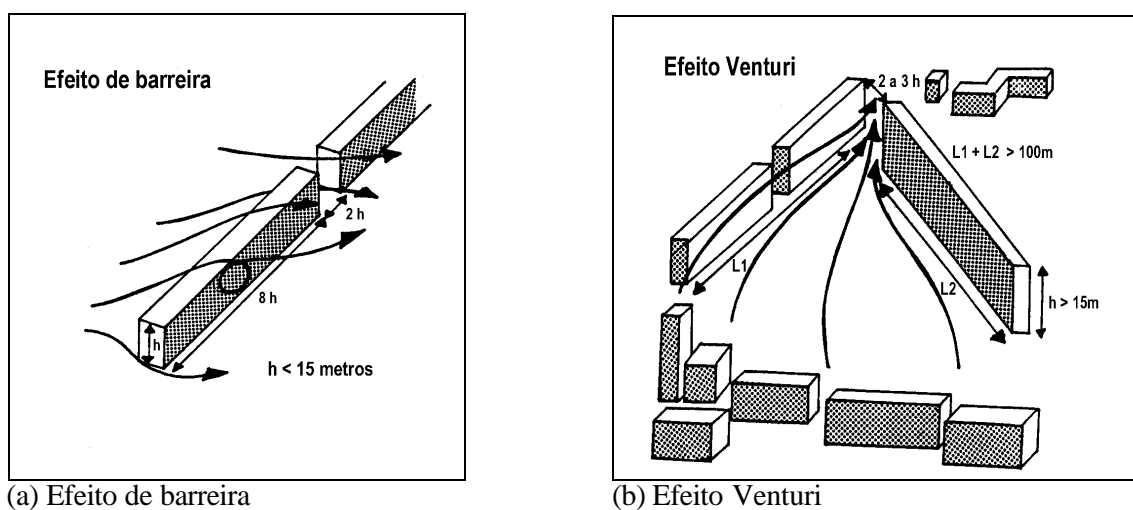
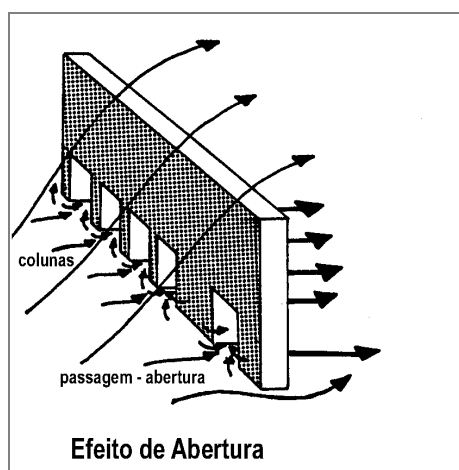


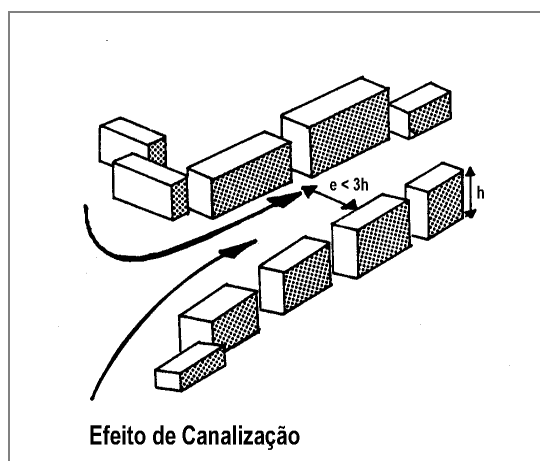
Figura 2.4 Efeitos aerodinâmicos do vento (Gandemer, 1975)

- Efeito de barreira (Fig. 2.4-a): O escoamento do ar ao encontrar o obstáculo contorna-o sem muita turbulência. Os edifícios localizados atrás da barreira, e com altura não superior, se protegem do escoamento de ar incidente, que desvia para o topo e as laterais livres da barreira. Para que o efeito ocorra, os edifícios barreira devem ter espessura menor do que 10m, altura homogênea, e não maior que 30 m, e comprimento mínimo de oito vezes a altura.

- Efeito Venturi (Fig. 2.4-b): Fenômeno de aceleração por afunilamento do escoamento de ar produzido por edificações separadas, cujos eixos coincidem em um ângulo agudo ou reto. A altura mínima dos edifícios deve ser maior que 15m, o comprimento não menor do que 100m e a vizinhança desocupada em área igual à do canal. Quando a abertura no final do canal possui dimensão de cerca de 2 a 3 vezes a altura média dos edifícios, o escoamento atinge sua velocidade máxima.



(a) Efeito de abertura



(b) Efeito de canalização

Figura 2.5 Efeitos aerodinâmicos do vento (Gandemer, 1975)

- Efeito de abertura (Fig. 2.5-a): Refere-se a ligações que se estabelecem entre dois lados do edifício na sua base. Quanto à variação do escoamento do ar, aberturas individuais direcionam mais do que “pilotis” ou colunas, por provocar um escoamento mais concentrado. A saída do escoamento de ar, no lado oposto ao da incidência de vento no edifício, ocorre na forma de jatos ou “esguichos”, sendo que a zona afetada por este efeito é equivalente à área da abertura no lado de saída do jato.

- Efeito de canalização (Fig. 2.5-b) (corredor): Com formação de corredor entre edifícios, com largura menor que três vezes a altura dos prédios, ocorre canalização com aceleração do escoamento de ar, sem ocorrências de significativas anomalias.

Importante observar que as proporções dos edifícios influenciam mais do que os seus tamanhos nas variações dos efeitos aerodinâmicos do vento sobre eles.

2.2.1.1 O edifício: obstáculo ao vento

Penwarden e Wise (1975), com base em estudos em túnel de vento, observam que o edifício age como um obstáculo ao escoamento do vento que, ao encontrá-lo segundo uma incidente normal, procura escapar de todas as faces possíveis mudando de trajetória abruptamente nas arestas laterais e topo da face para barlavento (Fig. 2.6).

O campo do escoamento do vento atmosférico em torno de um edifício é ditado, essencialmente, pelas características do vento imediatamente a barlavento, pelo rumo com que se apresenta e, evidentemente, pelas características geométricas do próprio edifício. Na representação de uma forma muito simplificada do campo de escoamento em torno de uma forma prismática, apoiada no solo, imersa numa camada limite com ventos que se aproximam numa direção perpendicular à maior face, são visíveis os dois mecanismos básicos que podem induzir a velocidades elevadas em nível do solo (Mascaró, 1996a):

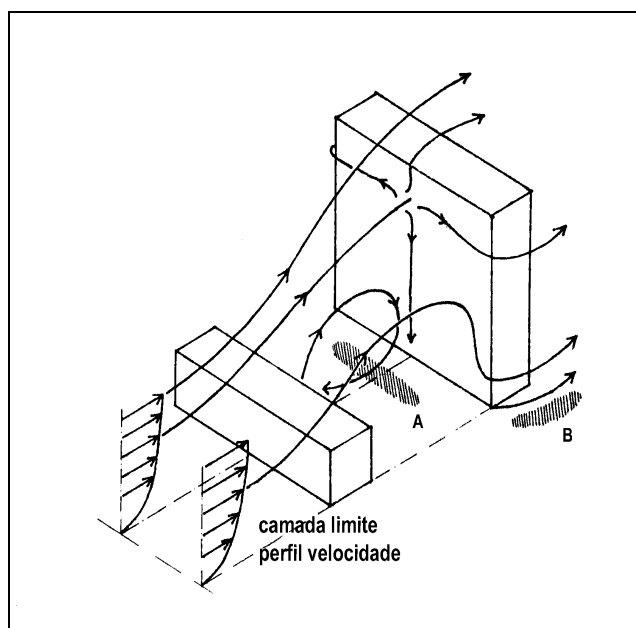


Fig. 2.6 Escoamento típico do ar ao redor de um edifício grande com um edifício mais baixo a barlavento (Wise* apud Robinson e Baker, 1975)

- O primeiro é o forte escoamento descendente que se verifica na fachada a barlavento devido aos significativos gradientes de pressão estática sobre a superfície (pressão essa positiva, diretamente associada à pressão dinâmica do escoamento não perturbado aos níveis

* Wise, A. F. E. **Wind effects due to groups of buildings**. Building Research Station. Ministry of public and Works, Garston, 1970. (Current Paper, 23).

correspondentes, e que apresenta o máximo no ponto de estagnação, tipicamente localizado a cerca de $2/3$ da altura do corpo). Este escoamento acaba por vir a formar um vórtice muito intenso junto ao solo (o chamado vórtice de pé de fachada) que vai contornar as arestas e ser estirado para sotavento pelo escoamento médio, dando, por sua vez, origem a dois efeitos significativos: uma clara aceleração do escoamento nos cantos e um agravamento da chamada pressão de base (pressão sensivelmente uniforme e negativa que se distribui de forma aproximadamente constante sobre toda a face de sotavento) devido ao aumento de vorticidade verificada. A existência de edifícios mais baixos a barlavento pode agravar drasticamente este tipo de fenômeno (Mascaró, 1996a).

- O *segundo* mecanismo tem origem no diferencial de pressões entre as faces de barlavento (sobrepensões) e de sotavento, ou mesmo laterais (sucções), que pode promover, dadas as reduzidas distâncias (eventuais significativos gradientes de pressão), escoamentos de elevada velocidade em arcadas e comunicações abertas (Mascaró, 1996a). A Fig. 2.8 indica com mais detalhe a linha de separação; a Fig. 2.7 detalha o escoamento a sotavento da edificação na região da esteira e a Fig. 2.9 indica uma distribuição de pressões, em termos de coeficientes aerodinâmicos, para a face de barlavento de uma edificação paralelepípedica convencional (Cook, 1985).

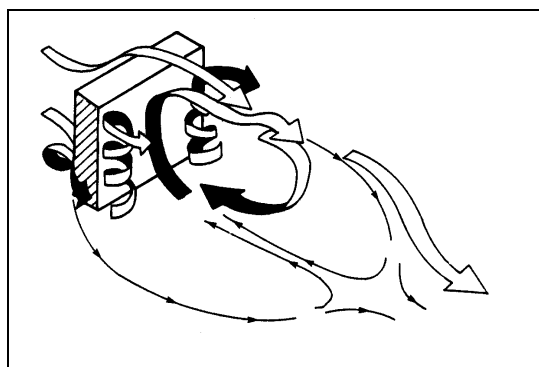


Figura 2.7 Região da esteira (Cook, 1985)

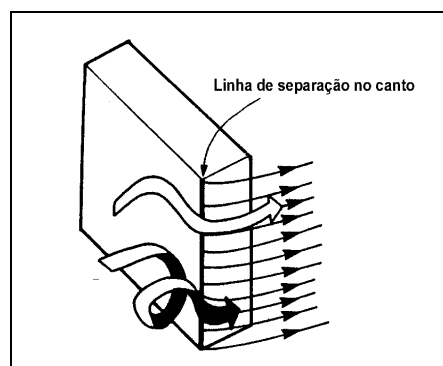


Figura 2.8 Separação do escoamento (Cook, 1985)

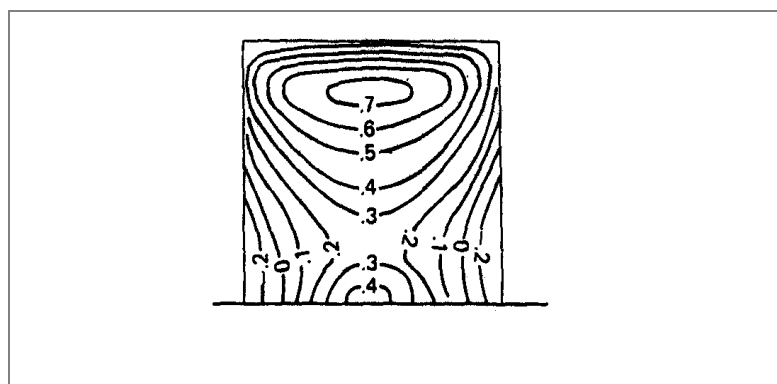


Figura 2.9 Exemplo de coeficientes de pressão (Cook, 1985)

Aproximando-se da ação sobre a manifestação patológica de manchamento por partículas atmosféricas, Carrié et al. (1975), Robinson e Baker (1977), Verhoef (1988), Vallejo (1990a), entre outros, observam que as correntes de ar que mudam bruscamente de velocidade e direção atuam sobre as fachadas produzindo uma eliminação das partículas em seco, que será maior em suas partes mais expostas como esquinas laterais e coroamento. Em contrapartida, nas partes baixas da fachada e naquelas abrigadas por elementos salientes ou obstáculos, onde o vento incide com menor intensidade e junto às quais aparecem zonas de remanso respectivamente, a força de abrasão diminui consideravelmente, passando a taxa de deposição a ser superior. Se a ação do vento não é reforçada pelo lavado ocasionado pela chuva, o manchamento, nessas partes, irá aumentando lentamente.

Estas análises são válidas, a princípio, para um edifício isolado em local aberto; no interior de um tecido urbano o fenômeno é mais complexo. Vallejo (1990a) observa que em edificações livres inseridas em um tecido urbano consolidado, sem amplos espaços livres adjacentes, estas condições podem não se verificar. Lembra o autor que os efeitos de proteção podem modificar as trajetórias teóricas do vento, influenciando especialmente na distribuição das linhas de pressão sobre os paramentos. Também nos edifícios livres, em geral em todos, o efeito da proteção ou abrigo por outros obstáculos supõe a diminuição da pressão dinâmica em coroamento.

Todos estes fenômenos irão afetar a deposição da água da chuva conduzida pelo vento às superfícies das fachadas.

2.2.2 Ação da água da chuva

Segundo Carrié et al. (1975), a chuva é um fenômeno extremamente variável em sua intensidade, duração, frequência, diâmetro das gotas que a constituem; seu *domínio* vai desde um nevoeiro, no qual as gotas de água não são visíveis, até uma tempestade cujas gotas atingem até 5 a 6mm de diâmetro. Sua ação sobre a manifestação patológica de manchamento das fachadas será, portanto, também muito variável. Pode favorecer, como um nevoeiro, a adesão das partículas de contaminação (pela taxa elevada de umidade que provoca), sanear a atmosfera das partículas em suspensão, como um temporal, e provocar, segundo sua duração, uma lavagem mais ou menos intensa das fachadas. Os autores observam que o efeito de limpeza da atmosfera pela ação das precipitações pode ser percebido pela redução do

conteúdo de partículas (preferencialmente aquelas com diâmetro superior a 4 μm) no ar após uma chuva.

Quanto à capacidade de lavagem das fachadas dos edifícios pela chuva incidente em suas superfícies, esta depende diretamente de sua intensidade. Em núcleos urbanos, quando a maioria das chuvas é de baixa intensidade (fracas), incidindo com baixa força sobre os paramentos das edificações, elas contribuirão mais para incrementar o aporte de sujeira do que para produzir alguma forma de limpeza. Mesmo assim, de acordo com Vallejo (1990a), pode-se considerar favorável para a limpeza dos paramentos a resultante da ação destas chuvas junto com as mais intensas.

2.2.2.1 Chuva incidente ou dirigida

O vento é o encarregado de impulsionar a água da chuva para os obstáculos situados fora da vertical de sua trajetória com ar em calma. As superfícies se lavam pela ação da água de chuva direta e da água, originada desta, que termina por escorrer sobre seus planos. Para que o lavado seja possível, portanto, a água tem que poder alcançar e golpear a fachada, *rebotando* ou sendo segura pelas forças de adesão e absorção (Carrié et al., 1975; Vallejo, 1990a); deve, também, se produzir com um ângulo de queda que quanto maior seja, maior é a possibilidade de aumento da captação da água pela fachada (e, portanto, de que possa ser lavada) (Fig. 2.10 (a)) (Colegio, 1996). A magnitude de dito ângulo depende exclusivamente do vento e suas oscilações tanto em intensidade como em direção. A Fig. 2.10 (b) ilustra: o máximo escoamento de ar para um nível dado não se produz na superfície do muro, mas sim a uma distância de 2,5 a 13,5 cm devido às turbulências ao longo da fachada.

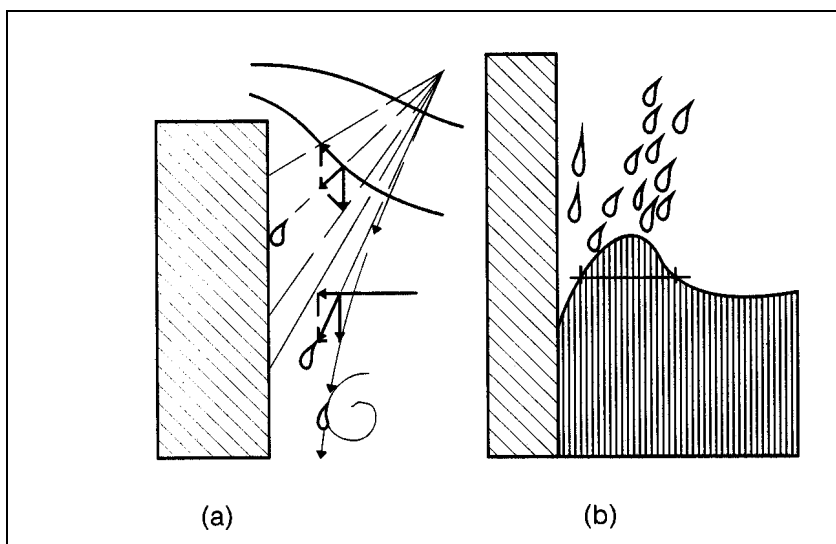


Figura 2.10 Captação da água pela fachada (Colegio, 1996)

Logo, o que interessa observar, segundo Robinson e Baker (1977), é a chuva carregada ou dirigida pelo vento em um ângulo com a vertical, de tal forma que incide sobre as superfícies verticais dos edifícios, já que na ausência de vento (situação rara) ou em situações de vento em calma ou de pouca velocidade (0-1m/s) a chuva descende praticamente paralelamente à fachada.

A chuva dirigida raramente é monitorada diretamente, mas valores para locais abertos, conforme informa Newman (1987), podem ser inferidos de dados de precipitação na horizontal e direção e velocidade do vento simultâneo. A exata relação entre estes parâmetros é complexa (dependendo das relações entre taxa de precipitação, velocidade terminal e tamanho das gotas de chuva), mas como uma boa aproximação a seguinte relação estabelece:

$R_v = 200 R_h V \cos \alpha$, onde: R_v = precipitação através de um desobstruído plano vertical em espaço livre (em mm), R_h = precipitação no plano horizontal (em mm), V = velocidade do vento (em ms^{-1}), e α = ângulo entre a velocidade do vento e a normal ao plano vertical que está sendo considerado.

Índices totais anuais têm sido utilizados, após proposição de Lacy (1977), para avaliação da severidade de exposição à chuva dirigida de locais em particular, obtidos através da seguinte relação:

$ICDa = P V/1000$, onde: $ICDa$ = índice de chuva dirigida anual (em m^2/s); P = Precipitação pluviométrica anual (em mm); V = Velocidade média anual do vento (em m/s).

De acordo com Marsh (1977), para o valor de $1 \text{ m}^2/\text{s}$ do índice de chuva dirigida, corresponde aproximadamente $200 \text{ l}/\text{m}^2$ de chuva incidente sobre uma superfície vertical. Conforme definido, o índice indica a quantidade total de chuva que irá ser dirigida em um ano sobre uma superfície vertical perpendicular ao vento.

Lacy (1977) propôs a seguinte classificação para as condições de exposição:

$ICDa$ de 0 a $3 \text{ m}^2/\text{s}$, exposição protegida ou branda, excluindo-se áreas próximas do mar ou grandes estuários a uma distância de 8 km;

$ICDa$ de 3 a $7 \text{ m}^2/\text{s}$, exposição moderada, exceto em áreas em que existe um índice maior ou igual a $5 \text{ m}^2/\text{s}$, próximas de 8 km do mar ou grandes estuários;

ICDa acima de $7\text{m}^2/\text{s}$, exposição severa;

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

Para Newman (1987) estes índices, úteis como um guia comparativo das condições de exposição entre regiões (com relevância particular na avaliação de efeitos contínuos sobre os paramentos), possuem limitações: trata-se de índices que não indicam as diferenças nas direções preferenciais do vento e desconsideram que as velocidades do vento durante a chuva podem ser na média mais altas que as velocidades médias anuais. Estas deficiências são superadas, no entanto, segundo o autor, quando se obtêm o ICDa baseado na soma de valores horários para $p v \cos \alpha$ (α = ângulo entre a direção (da velocidade) média horária do vento e a normal ao plano vertical considerado, p = precipitação horária medida no plano horizontal, v = velocidade média horária do vento simultâneo), sempre que os dados estiverem disponíveis e mostram-se as componentes direcionais resultantes (Prior, 1982).

A orientação da fachada tem importante papel em relação à incidência de chuva quando sobre a região onde está inserida sopra um vento pluvial dominante. As fachadas expostas a estes ventos receberão maior quantidade de água de chuva do que as não expostas.

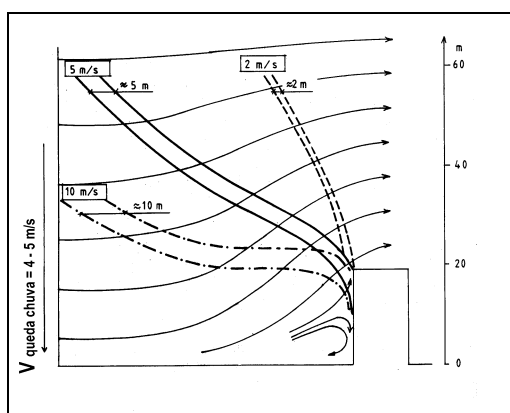
Carrié et al. (1975), na análise das causas do fenômeno superficial de manchamento de fachadas no meio urbano de Paris (França) e na pesquisa de soluções para evitá-lo, com o objetivo de verificar mais de perto a importância da orientação das fachadas no fenômeno, relacionam a chuva e o vento para Paris/Montsouris (França). Não existiam, no momento do estudo, na França, dados meteorológicos da chuva incidente, com o vento e a chuva sendo objetos de medições separadas. Portanto, os autores extraíram dos registros tri-horários diários dos quatro últimos anos da pesquisa as alturas de água tombada durante cada chuva, suas durações e as velocidades e direções do vento durante a chuva. A metodologia empregada na correlação desses dados, para a verificação das diferentes quantidades de chuva incidente recebidas pelas diferentes orientações de fachadas em Paris, foi utilizada por Vallejo (1990a) em Valladolid na Espanha e por Silva e Giralt (1995) para Porto Alegre/ RS. Os resultados para Porto Alegre são apresentados quando da análise das condições ambientais da cidade (Capítulo 4).

Newman (1987) observa que, tendo em vista a importância das condições locais na análise dos efeitos da chuva incidente sobre os paramentos, tem sido essencial o

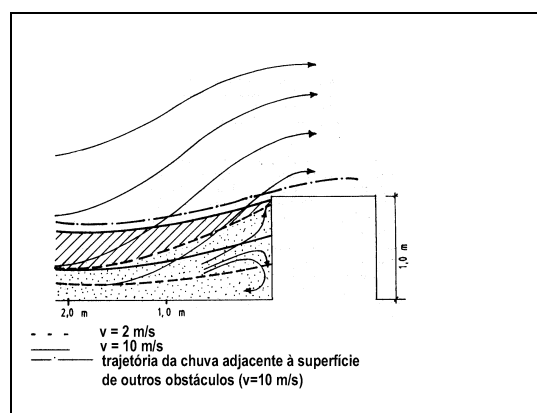
desenvolvimento de procedimentos de ajustes sobre esses índices. Esquemas práticos objetivando essa aproximação utilizam escala de fatores baseados em dados de cargas do vento para estruturas (referidos no item 2.2.1). Infelizmente, na opinião do autor, a facilidade de uso deste simples procedimento é reduzida por uma perda na percepção do significado de cada um dos valores envolvidos. A existência de condições altamente turbulentas no interior de um recinto urbano, difíceis de serem modeladas matematicamente, e o fato dos fatores básicos mapeados para os índices de chuva dirigida incluírem ambos os componentes vento e chuva e os fatores para condições locais basearem-se puramente em condições do vento, são os motivos alegados pelo autor para a preocupação. As gotas de chuva que caem através de um perfil vertical normal do vento são razoavelmente hábeis para ajustar suas velocidades horizontais de acordo, mas em condições altamente turbulentas esta interação é bastante complexa.

Acredita-se, segundo Robinson e Baker (1977), que as gotas de chuva carregadas pelo vento podem ser inábeis para seguir a mudança na direção do escoamento (gotas pequenas podem mais facilmente ser defletidas para o edifício por correntes de ar do que gotas grandes) e, ao invés, ferem a face do edifício explicando o maior umedecimento de algumas de suas zonas, tais como os cantos extremos (topo e esquinas) e elementos salientes da face para barlavento.

Prováveis padrões de escoamento do ar sobre e ao redor dos edifícios e prováveis trajetórias das gotas de chuva podem ser visualizados na Fig. 2.11 (a). Padrões similares de comportamento do escoamento do ar e gotas de chuva foram observados para uma projeção vertical da face de um edifício, conforme ilustra a Fig. 2.11 (b) (Verhoef, 1988).



(a) ao redor do edifício



(b) em projeção vertical

Figura 2.11 Prováveis padrões de escoamento do ar e trajetórias das gotas de chuva (Verhoef, 1988)

Fenômenos observados por Couper* apud Robinson e Baker (1975), em escala real, como o sugerido padrão típico de umedecimento pela chuva (em forma de uma parábola) de uma parede voltada para a chuva dirigida pelo vento (Fig. 2.12), também verificado através da colocação de coletores de chuva sobre fachada (Meert e Ackere, 1976), foram recentemente comprovados em ensaios de modelos reduzidos de edificações colocados em túnel de vento de camada limite, no qual foram simuladas as características do vento natural e da chuva incidente, também em escala (Fig. 2.13) (Surry et al., 1994).

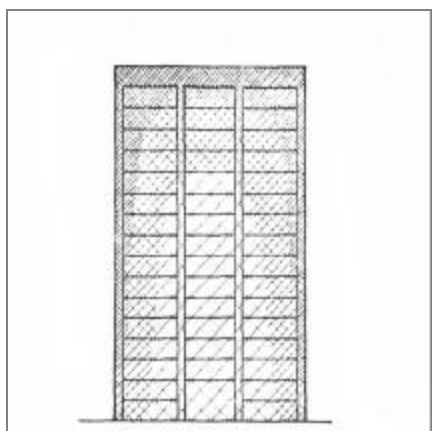


Figura 2.12 Parábola de chuva incidente (Couper, 1972 apud Robinson e Baker, 1975)

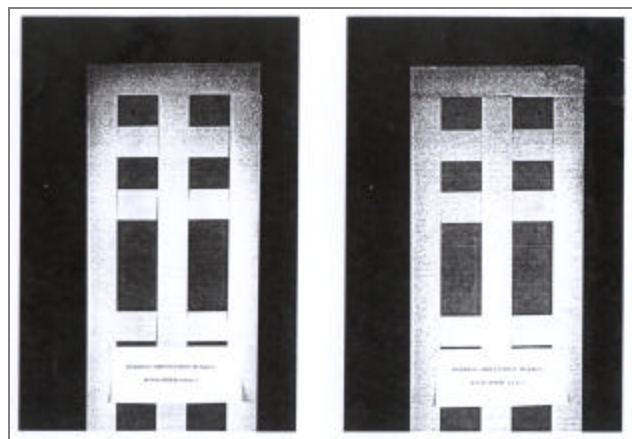


Figura 2.13 Chuva dirigida em túnel de vento (Surry et al, 1994)

Pode-se, portanto, concluir que a chuva não incidirá sobre uma fachada de modo uniforme; existirá inicialmente uma maior deposição no topo e esquinas da face exposta, quando no restante da parede poderá ser vista, muitas vezes, escorrendo para baixo numa face relativamente seca; isto sucede com bastante independência da intensidade do fenômeno chuvoso.

A natureza do material de revestimento da fachada determinará, segundo Robinson e Baker (1975), o que acontecerá na continuação de uma chuva; a água depositada nas superfícies da parede tenderá a ser absorvida inicialmente pelos materiais porosos, mas tão logo a taxa de depósito exceda a taxa de absorção, começará a migrar pela parede em direção ao solo. Em materiais não porosos a migração da água se dará quase imediatamente depois de ter sido depositada. A formação de modelos de manchamento/limpeza de fachadas e seus componentes encontra-se, dessa forma, relacionada com o modo como a chuva alcança essas

* COUPER, R. R. Drainage from vertical surfaces. In: **Wind-Driven Rain and the Multi Storey Building**. Australia, Division of Building Research, CSIRO, 1972. (Paper, 4).

superfícies e com seus materiais de revestimento. Esse fato pode ser melhor apreciado através da experiência aportada por análises feitas de modelos reais. Os autores informam sobre as observações realizadas em vários edifícios em Ottawa, Canadá, e a Fig. 2.14 traz uma das observações em seqüência em *time-lapse* de um edifício com painéis pré-fabricados de concreto com agregados expostos em suas fachadas.

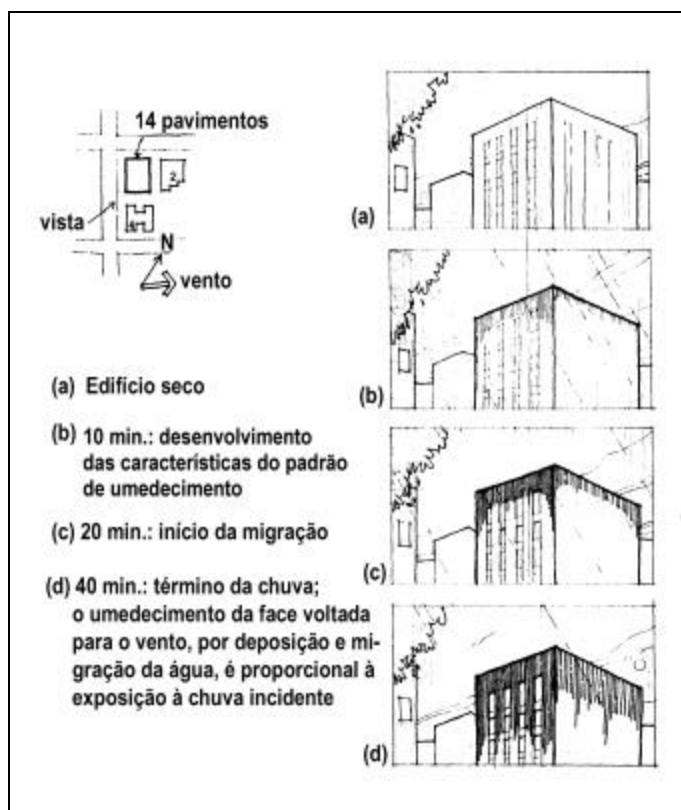


Figura 2.14 Umedecimento das fachadas
(Robinson e Baker, 1975)

Apesar da tendência que tem o vento de conduzir a chuva para os estágios mais altos do edifício, os obstáculos ou abrigos do vento que são os edifícios, uns para os outros, têm igualmente o efeito de modificar a direção da chuva. Segundo Carrié et al. (1975), a variação de inclinação da chuva incidente é um dos aspectos da complexidade do fenômeno.

Os autores (Carrié et al., 1975) esclarecem que as gotas de chuva, menos sujeitas à ação do vento à medida que descendem em direção ao solo, têm uma trajetória que se aproxima cada vez mais da vertical; a quantidade de água de chuva que pode atingir uma fachada será, portanto, mais importante sobre os pavimentos superiores – em particular para o último – onde se produzirá uma lavagem preferencial. Observa-se, em tempos de chuva, que a zona abrigada da água pelas proteções salientes de janelas da fachada aumenta nos pavimentos mais próximos do térreo.

Sintetizando, Carrié et al. (1975) relacionam as principais causas do maior manchamento dos pavimentos inferiores das edificações: concentração mais importante dos poluentes nas camadas baixas da atmosfera e restituição em suspensão, durante o dia, das partículas depositadas à noite sobre as calçadas. E como causas da limpeza ou lavagem dos pavimentos superiores: turbulências, ao nível dos pavimentos superiores, que dispersam os poluentes e a inclinação mais acentuada da chuva, que carrega uma quantidade de água suficiente para a lavagem das fachadas. Todos estes fatores concorrem para a obtenção de uma gradação no manchamento médio de uma fachada.

A acomodação da chuva dirigida pelo vento à nova situação, ao encontrar zonas de vento de diferente velocidade ou direção, é quase impossível ao tropeçar em pequenos obstáculos (como elementos salientes da fachada), terminando por chocar-se contra eles, realizando uma boa limpeza de suas superfícies. Já nas partes inferiores das fachadas, onde as trajetórias da chuva são quase paralelas (com pouca inclinação), a limpeza dos planos verticais pela água de chuva incidente é bastante difícil. Vallejo (1990a) explica a *ação de lavado resultante da água da chuva direta*: a chuva, com grande aporte de água e suficiente inclinação, ao incidir sobre as superfícies secas das fachadas pode provocar um lavado direto através do deslocamento de uma porção de partículas de contaminação, decorrente da energia de impacto da água. A limpeza das fachadas, expostas à ação de ventos dominantes e persistentes, pelo impacto da chuva incidente é resultado da ação de um grande número de eventos de chuva e de quanto menos poroso seja seu material de revestimento e menos molhável sua superfície. Nesses casos, as gotas de água de chuva, com tendência a chocar e *rebotar*, ou depositar-se com pouca superfície de contato com o paramento, são substituídas por outras, favorecendo, desta forma, a abrasão e a formação de uma lâmina líquida de rápido deslizamento.

2.2.2.2 Escorrimento da chuva pelas superfícies das fachadas

Beijer (1977) esclarece que, se a quantidade de água que incide sobre a fachada for superior à quantidade absorvida por capilaridade pelos poros do material, ou quando o material esteja saturado de água, a água restante começa a deslizar em forma de película ou fina lâmina (de uns décimos de milímetro) de água escorrida, de acordo com a lei da gravidade, em direção ao solo, com baixa velocidade (aproximadamente 1m/min.) e muito sensível às irregularidades do paramento. Durante sua trajetória descendente é absorvida continuamente pelo material de revestimento e sua capa de sujidade.

Uma porção das partículas de sujidade existentes sobre a fachada ou aportadas pela chuva penetra na porosidade aberta com a água absorvida ou succionada, haja ou não se formado a lâmina de escorrimento, permanecendo o resto aderido ou sendo arrastado pelo escorrimento. Investigações empreendidas por Beijer (1977) permitiram calcular, com aproximação, as condições da chuva e do material que permitem a formação de escorrimento e que este possa alcançar o nível do solo.

A *ação de lavado* ou de redução da aderência das partículas de sujidade situadas sobre uma superfície ocorre quando o escorrimento tem intensidade suficiente para permitir o desenvolvimento de um fluxo de água que cubra totalmente as partículas. A umidade ou a presença de um filme fino de água (em relação ao tamanho das partículas) na superfície, ao contrário, aumenta fortemente a sua aderência, atuando as gotas de água como ligantes das mesmas (por sua grande bi-polaridade e pela ação das forças moleculares) ou fazendo-as penetrar no seio da porosidade durante a fase de absorção (Carrié et al., 1975).

Vallejo (1990a) observa que a *capacidade de arraste da sujidade* depende não só do volume de água deslizante, mas também do tipo e grau de aderência das partículas ao paramento. As partículas grossas seriam, portanto, mais facilmente removíveis do que as menores, por se encontrarem simplesmente sedimentadas, ao contrário das últimas, ligadas por mecanismos mais fortes ou até mesmo encapsuladas durante a degeneração química da superfície externa do paramento.

A água, ao deslocar-se sobre uma superfície, segundo Carrié et al. (1975), se enriquece de elementos sólidos – poeiras depositadas e mesmo moléculas do material – tendo o seu poder abrasivo aumentado pelo atrito que exerce. Quando os rastros ou leitões, resultantes da *erosão*, estão marcados ou sulcados na superfície, as trajetórias, surgidas a princípio de forma aleatória por irregularidades da superfície, tendem a consolidar-se, iniciando-se um processo cíclico de maior abrasão, maior concentração de fluxo, que induz a um incremento do rastro produzido.

Vallejo (1990a) refere-se também à *erosão química*, ou dissolução pela água do material de fachada, que atua reforçando a ação abrasiva, apesar de mais lenta e fraca (com as exceções dos casos de materiais ou capas de alteração hidrossolúveis). Ainda, segundo o autor, as *erosões mecânica e química* dependem do material, do volume de água aportada e seu conteúdo de substâncias agressivas, mas, principalmente, da ação continuada de eventos de chuva, do passar do tempo.

Portanto, a água tende a distribuir-se em vários *fluxos descendentes de trajetórias preferenciais*, sendo o eixo destes caminhos a zona mais exposta à ação erosiva.

Conforme a película descendente vai lentamente se deslocando em virtude da gravidade e contra o atrito com a parede, novo aporte de sujidade e, eventualmente, de água vai se somando ao escorrimento. Como a velocidade do deslocamento não é suficiente para carregar toda a poeira, ao ir desaparecendo a corrente, as partículas de sujidade arrastadas podem sumir-se nos poros junto com a água absorvida ou depositar-se novamente sobre a superfície da parede, especialmente sobre as trajetórias preferentes (Vallejo, 1990a).

Segundo Carrié et al. (1975), a diminuição de velocidade e intensidade do fluxo descendente, depois de um certo tempo, chegando a desaparecer, pode ser atribuída às seguintes causas:

- o aumento do carregamento da sujeira aumenta a viscosidade do líquido;
- a quantidade de água de chuva “nova” diminui à medida que o escorrimento se aproxima do solo;
- a água pode ser absorvida pelo material da fachada;
- a água é igualmente absorvida pelas poeiras, material pulverulento que pode sugar a água e frear brutalmente o seu deslocamento superficial.

A partir deste entendimento, os autores explicam o fenômeno dos escorrimentos de trajetórias preferentes (Capítulo 3) que aparecem nos paramentos, junto aos extremos dos peitoris das janelas, e a formação e aspecto desses deslizamentos preferentes e localizados de água: um escorrimento preferente e localizado é fortemente limitado em largura; a velocidade do deslocamento é máxima no centro e nula sobre as margens; sendo assim, as sujidades que são transportadas se depositam preferencialmente sobre as margens onde a velocidade é mínima; os escorrimentos sucessivos que se produzem sobre os mesmos leitos incrementam a sujidade depositada, formando barreiras de sujidade que delimitam perfeitamente as zonas submetidas ou não ao escorrimento. A água que atinge estas zonas da fachada é imediatamente absorvida pelas sujidades (depositadas por escorrimentos anteriores), conservando maior umidade no paramento e com isso favorecendo novos depósitos e acentuando o fenômeno com o passar do tempo.

A forma e tamanho das faixas de manchamento são estabelecidos, mais ou menos arbitrariamente, por esse processo em cadeia que é similar e simultâneo ao processo de erosão gerada pelos mesmos deslizamentos preferentes. Em zonas expostas à ação da chuva, geralmente o extremo horizontal do filme de água se distorce em forma de *dentes de serra* característicos, cujos tamanhos estão relacionados com a textura (as irregularidades do paramento, por pequenas que sejam, podem afetar a uma lâmina líquida tão delgada) e porosidade do revestimento. Estas faixas (fig. 2.15) se produzem em parapeitos de janela e, usualmente, abaixo de plataformas horizontais pelas quais a água desliza (Carrié et al., 1975; Robinson e Baker, 1977; Vallejo, 1990a).

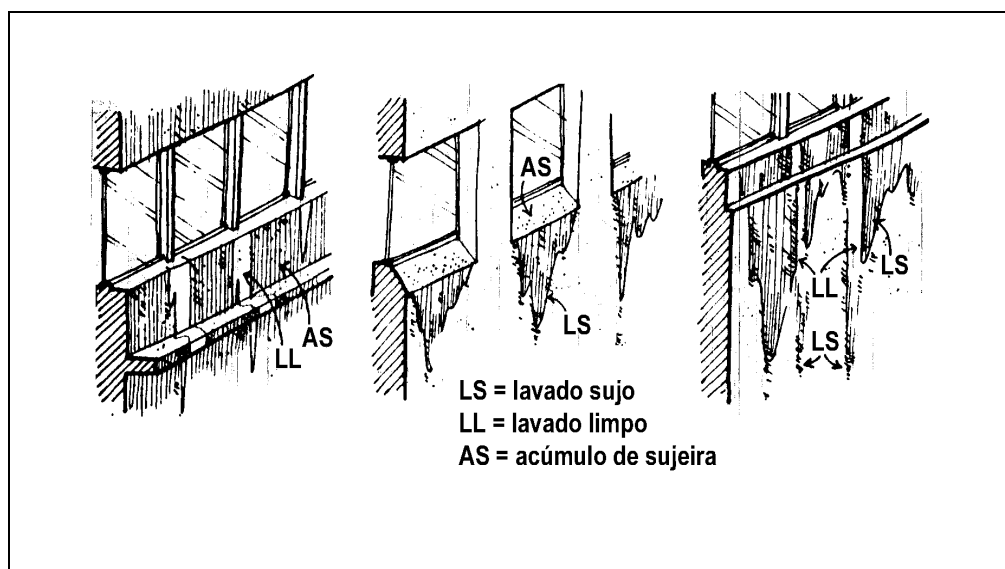


Figura 2.15 Lavados sujos e limpos (Robinson e Baker, 1977)

Estes deslizamentos podem causar faixas ou escorrimentos sujos - *lavado sujo* - sobre peitoris limpos, quando estão muito expostos (pisos superiores), ou, o que é mais corrente, escorrimentos limpos - *lavado limpo* - sobre parapeitos sujos, nas partes mais baixas das fachadas. No *lavado limpo* atua um escorrimento importante capaz de arrastar as partículas de sujeira; a intensidade e velocidade do fluxo impedem que a sujeira se re-deposite sobre as áreas lavadas. Na ocorrência de escorrimentos diferenciados, a água limpará a superfície somente nas zonas afetadas, mantendo-se o resto com a sujeira reforçada, progressivamente, causando grande contraste entre ambos os tipos de áreas. O *lavado sujo* surge pela ação de escorrimentos provenientes de planos ou plataformas exageradamente sujos, dos quais a água arrastou grande quantidade de partículas conduzindo-as para baixo e depositando-as sobre superfícies verticais ou inclinadas limpas ou menos sujas do que aquelas que as antecedem (Robinson e Baker, 1977; Vallejo, 1990a).

Pode-se concluir, segundo Vallejo (1990a), que os *lavados irregulares* e a *redistribuição da sujidade* são os principais efeitos da ação da água escorrida sobre as fachadas ao modificar os depósitos, em geral uniformes, de partículas de contaminação de suas superfícies.

2.2.3 Umidade relativa do ar

Segundo Vallejo (1990a, p.83), o vapor de água influi sobre a contaminação do ar, ao constituir “um dos motivos primários de agregação de partículas, contribuindo assim à modificação do aerossol, com a produção de partículas mais grossas e, portanto, mais facilmente sedimentáveis”. Também a existência de elevada umidade relativa do ar, informa Carrié et al. (1975), parece conduzir a um aumento da deposição e adesão das partículas e, conseqüentemente, do manchamento dos materiais porosos pouco expostos à ação do vento e da chuva. Experimentos conduzidos pelos autores indicam que valores persistentes superiores a 65% de umidade relativa do ar são decisivos para essa ação.

2.2.4 Temperatura ambiental

A temperatura tem influência indireta no processo de formação do manchamento das fachadas por sujidades. Conforme aponta Vallejo (1990a), principalmente ao atuar na dissolução de contaminantes na atmosfera e na modificação dos conteúdos de vapor de água no ambiente e de umidade no interior do material que reveste as fachadas. Sua influência é positiva no processo, ao reduzir a umidade relativa do ar (e, com isso, o risco de condensação e conseqüente aumento da deposição e adesão das partículas nas superfícies dos paramentos) e ao provocar a evaporação da umidade que se localiza sobre a superfície do material de fachada e no interior de seus poros e microporos (efeito muito favorecido pela insolação e pela presença de vento).

Importante mencionar a possível ocorrência do fenômeno de inversão térmica de superfície ou de radiação, “significativo resfriamento noturno da camada de ar junto à superfície do solo, principalmente nas depressões do relevo”, favorecendo a “drenagem de ar frio (mais denso), que conduz consigo os poluentes atmosféricos”, tornando lenta a circulação do ar e dificultando a efetiva dispersão dos poluentes (Lima et al., 1998, p.167).

3 FATORES INTRÍNSECOS: INTERAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS COM A FORMA CONSTRUÍDA E SUA INFLUÊNCIA NO MANCHAMENTO DAS FACHADAS

A partir do (re)conhecimento dos principais fenômenos ou ações (descritos no capítulo 2) dos agentes ambientais envolvidos no processo de manchamento das superfícies das fachadas, por partículas de contaminação atmosférica, objetiva-se identificar as principais características formais das fachadas dos edifícios envolvidas em cada uma dessas ações. Essa identificação procura aproximar-se daquelas medidas, empreendidas na etapa do projeto arquitetônico do edifício e suas fachadas, com maior potencial na prevenção e controle da manifestação da patologia.

Os manchamentos (sujidades) são devidos, em primeiro lugar, às partículas que se depositam sobre as fachadas, mas o vento e a chuva desempenham papel essencial nas diferentes formas que assumem. As principais ações desses agentes, identificadas no capítulo precedente, são:

- a *deposição e adesão das partículas de contaminação atmosférica sobre as superfícies das fachadas;*
- o *lavado de algumas zonas das fachadas por deposição direta da água da chuva;*
- o *escorrimento da chuva sobre as superfícies das fachadas, arrastando em seu caminho a sujeira depositada.*

O uso de *recursos de projeto para mascarar ou camuflar o manchamento* produzido sobre as fachadas, influenciando na percepção que se tem do fenômeno, será também considerado na identificação das principais características formais das fachadas envolvidas.

Quanto às **características formais das fachadas**, ou do edifício, envolvidas no processo patológico, procurou-se identificar as que se relacionam com a *superfície dos materiais de revestimento* da fachada e aquelas que dizem respeito à sua *geometria*, principais fatores indiretos responsáveis pela manifestação da patologia (PCI, 1973; Carrié et al., 1975; Robinson e Baker, 1975; Carrié et al., 1977; Baker, 1977; El-Shimi et al., 1980; Verhoef, 1988; Dorfman e Petrucci, 1989; Vallejo, 1990a).

Na análise das **características dos materiais** envolvidas no processo, priorizam-se aquelas mais ligadas à plástica das fachadas (ou à sua estética), pelos motivos já expostos no Capítulo 1, tais como *textura e cor*; também as relativas, principalmente, aos *materiais porosos*. Apesar de qualquer material de uso normal, que compõe a camada exterior dos paramentos nas fachadas dos edifícios, encontrar-se submetido ao fenômeno patológico de manchamento por sujidades atmosféricas, o material poroso é mais sensível ao fenômeno (El-Shimi et al., 1980).

Na identificação das características dos materiais que intervêm nas diversas ações do processo é importante reconhecer que a camada mais externa do material de revestimento da fachada, substrato para a adesão das partículas, pode possuir propriedades que se diferenciam essencialmente das propriedades médias mecânicas, físicas e químicas do material. Esta camada, descrita freqüentemente como uma *pele*, é algumas vezes muito fina. Verhoef (1988) descreve as características superficiais de alguns materiais de construção (concreto, pedras, tijolos cerâmicos, madeira, vidro, entre outros) usados em fachadas, pela importância que assumem perante o fenômeno estudado e para embasar a escolha de um método de limpeza (conhecer a natureza e a resistência química da pele é indispensável).

Também Helene (1989), ao estudar a heterogeneidade do concreto, observa que a sua superfície mais externa tem características distintas do interior: apresenta maior porosidade, decorrente da inexistência de agregados miúdos e graúdos; maior retração química, de secagem e de carbonatação, devido ao maior consumo de cimento por m³; e maior sensibilidade à ação da cura, devido à concentração de argamassa e pasta de cimento. Fenômeno este decorrente da segregação por gravidade e processo de compactação (efeito parede).

Na consideração da **geometria da fachada** em situações que possuam uma certa generalidade, procura-se identificar as principais características de ordem construtiva ou formal, comuns à maioria das fachadas atualmente existentes, que afetam ao fenômeno de manchamento por deposição de sujidades.

Apesar das fachadas dos edifícios terem passado por um drástico processo de despojamento formal e construtivo, ao longo deste século, em nome de uma nova estética e de uma nova lógica produtiva, Dorfman e Petrucci (1989) observam que são raros os casos em que as fachadas são constituídas por um único plano vertical liso e contínuo. A maioria apresenta algum tipo de descontinuidade, por motivos de ordem estética, construtiva,

funcional e mesmo de autoproteção, tais como aberturas, molduras, relevos, mudanças de planos, entre outros. Estas discontinuidades, além de suas formas e proporções gerais, ou seja, sua *geometria* é que fará com que as fachadas se exponham de maneira não uniforme aos agentes ambientais.

Reconhecendo a existência, em ampla maioria das fachadas construídas com materiais porosos em suas superfícies externas, de *planos maciços* e *planos de aberturas*, os *planos das aberturas* (janelas), em geral retangulares e paralelos ao paramento de fachada, podem encontrar-se mais comumente recuados ou em nível com o plano do paramento.

Quando estão recuados com relação ao plano da fachada pode-se genericamente observar, conforme El-Shimi (1980), duas situações: a água que atinge o plano horizontal inferior do vão é dirigida para fora, pela presença de uma peça desenhada com este objetivo, ou não existe nenhum controle sobre este fenômeno, ficando a água livre para derramar sobre o parapeito maciço logo abaixo. Também a posição, forma e tamanho dos vãos podem variar e ter alguma interferência no comportamento da fachada frente ao manchamento (Vallejo, 1990a).

Com relação aos *planos maciços* e à *geometria* da fachada, e segundo investigações já empreendidas nessa área de estudo (PCI, 1973; Carrié et al., 1975; Robinson e Baker, 1977; El-Shimi et al., 1980; Dorfman e Petrucci, 1989; Vallejo, 1990a), as características principais que afetam o processo de formação das sujidades dizem respeito à inclinação e defasagem dos diversos planos que contém a fachada com relação a um plano-base. A variação das dimensões desses planos vai desde planos que compõem grandes superfícies nas fachadas até, em uma escala menor, os relevos, juntas e detalhes menores de superfície, com maior influência na trajetória da água de chuva escorrida.

3.1 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DA FACHADA (GEOMETRIA E MATERIAIS) NA DEPOSIÇÃO E ADESÃO DAS PARTÍCULAS DE CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA SOBRE SUAS SUPERFÍCIES

Grande parte da contaminação que acessa aos paramentos necessita da existência de *plataformas e abrigos* para permanecer estável, características estas relacionadas com a *rugosidade* dos materiais de revestimento e a existência de *plataformas ou superfícies horizontais superiores* de qualquer elemento saliente ou reentrante nas fachadas.

Com relação às plataformas que compõem a geometria da fachada, estas superfícies, de acordo com a variação da inclinação com respeito à horizontal, ficam mais ou menos expostas à deposição das partículas de sujeira (que costuma ser maior nos pavimentos inferiores) e à incidência de ventos e chuvas, fundamentais para o modelo de manchamento que se formará. Sua existência poderá ocasionar sérios problemas, quando expostas à ação direta da água da chuva e suas continuidades com outros planos verticais ou inclinados não são eficientes na expulsão da água de suas superfícies (PCI, 1973; Robinson e Baker, 1977; Perez, 1988; Carrió, 1990; Vallejo, 1990a; Richardson, 1991) (Fig. 3.1).

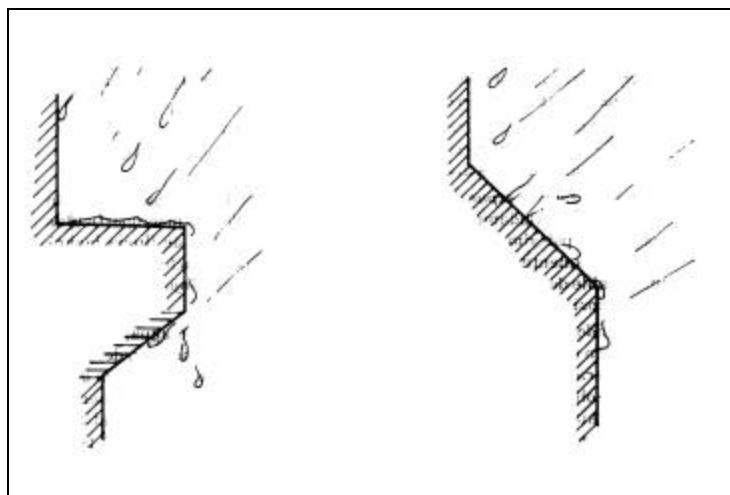


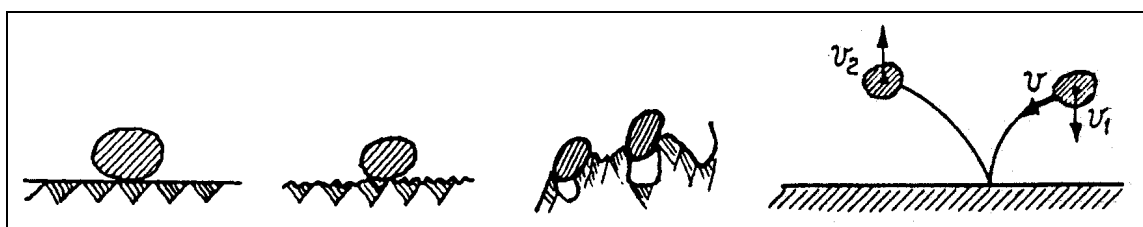
Figura 3.1 Plataformas (Vallejo, 1990)

Quanto aos **materiais de revestimento**, a *rugosidade* da superfície, como apontam Carrié et al. (1975), Carrié et al. (1977) e Vallejo (1990a), é a característica que intervém mais diretamente na deposição e adesão das partículas de sujeira ao suporte. Por estar diretamente ligada à massa das partículas, a sedimentação por ação da força da gravidade, além de necessitar da existência de superfícies horizontais ou pouco inclinadas, é influenciada pela rugosidade do suporte ao efetuar-se, por exemplo, por difusão turbulenta: o grau de rugosidade modifica as turbulências locais favorecendo o intercâmbio entre ar e superfície.

Com relação à adesão das partículas ao suporte, considerando que todas as forças de adesão são, praticamente, proporcionais à superfície de contato entre a partícula e o suporte ou inversamente proporcionais à distância que os separa, Carrié et al. (1975) observam que as *irregularidades do suporte*, ao modificarem este fenômeno, podem aumentar ou diminuir estas forças. Experiências com superfícies mais ou menos polidas de suportes metálicos ou de vidro, em que as forças de adesão diminuía com o aumento da altura das asperezas do suporte, conduziram os autores a distinguir três estados de superfície para um mesmo par de partículas e suporte (Fig. 3.2 (a)):

- *textura muito lisa* em que a superfície de contato e a aderência são ditas normais;
- *textura ligeiramente rugosa*, na qual as asperezas são inferiores às dimensões das partículas e em que a superfície de contato e, por conseguinte, as aderências são mínimas;
- *textura na qual as asperezas do suporte são da ordem de grandeza da partícula*, em que a superfície de contato e a adesão são importantes.

O último estado trata-se do mais desfavorável frente à deposição, por permitir que as partículas se alojem nas cavidades da superfície e se fixem de modo muito mais significativo do que se esta rugosidade fosse muito mais fina ou muito mais acentuada.



(a) Rugosidade

(b) Dureza

Figura 3.2 Características dos materiais com influência na deposição e adesão das partículas de contaminação (Carrié et al., 1975)

Ainda com relação à influência das características dos materiais de revestimento, a *porosidade* (Torraca, 1986), ou a distribuição, tamanho, forma e volume dos poros acessíveis dos materiais componentes das fachadas, afeta diretamente aos processos de absorção e evaporação de água (assim como aos intercâmbios de vapor), influenciando, portanto, indiretamente na deposição e redistribuição dos componentes sólidos da contaminação atmosférica (Vallejo, 1990a).

Um material *poroso* e capilar é suscetível de se sujar em profundidade: a água fixa as poeiras e por capilaridade penetra nos materiais. Se os capilares são muito finos e numerosos, pode se produzir uma espécie de filtragem da água: a poeira se deposita na entrada dos capilares e o paramento suja-se de forma pronunciada; se os capilares são, ao contrário, muito grossos e pouco numerosos, os paramentos sujam-se em profundidade, mas de forma menos aparente. Segundo Carrié et al. (1975), este é o fenômeno que explica porque certos materiais, tais como os tijolos cerâmicos ou as pedras, comportam-se melhor que as argamassas de cimento frente ao manchamento.

Outra característica importante dos materiais é a *dureza* do suporte, que decidirá se os choques produzidos no momento do contato entre partícula e superfície permitem ou não sua adesão. Segundo a elasticidade do suporte e a energia cinética das partículas em suspensão no ar (devida ao agito e transporte pelo vento) estas podem *rebotar* e não aderir ao suporte (Fig. 3.2 (b)). Por outro lado, a dureza do revestimento intervem também sobre a magnitude da força de adesão, quando o revestimento se deforma sob o impacto das partículas, aumentando a superfície de contato entre ambos (Carrié et al., 1975; Vallejo, 1990a). Situações similares ocorrem com o choque das gotas de água de chuva contra os paramentos, podendo ser ou não captadas pelo material de suporte, sendo imediatamente absorvidas ou adsorvidas por ele ou constituindo o fluxo deslizante ou o escoamento (Vallejo, 1990a).

3.2 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DA FACHADA NA AÇÃO DE LAVADO DIRETO DAS SUPERFÍCIES POR DEPOSIÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA

A orientação da fachada, ou sua exposição ao vento e à chuva incidente, condiciona a quantidade de água de chuva e de contaminação que a atingem, caracterizando-se como importante decisão no projeto da edificação frente ao fenômeno patológico em estudo.

É importante, porém, observar que se trata de decisão fortemente influenciada pela procura por adequada orientação para insolação e ventilação visando conforto ambiental para os espaços projetados (Aroztegui, 1977). Além disso, um edifício livre no terreno possuirá ao menos quatro fachadas submetidas ao processo e em situações variadas de exposição. Logo, os objetivos de evitar ou minimizar a manifestação da patologia de manchamento das fachadas através da exposição de seus planos à ação do vento e da chuva encontram-se, provavelmente, minimizados em importância no processo de projeto.

Também o nível de proteção à incidência do vento (e, conseqüentemente, da chuva dirigida), proporcionado pelo entorno edificado, encontra-se, na maioria das vezes, imposto. As formas e proporções do edifício, condicionantes da ação de limpeza em seco pelo vento e pela água da chuva incidente sobre os paramentos, encontram-se, por outro lado, bastante submetidas às legislações urbanísticas e aos problemas relacionados com a viabilidade físico-econômica dos empreendimentos; os edifícios apresentam-se, na maioria das vezes, na tradicional forma retangular para suas fachadas, caracterizando-se como obstáculos pouco aerodinâmicos à ação do vento (Vallejo, 1990a).

Sendo assim, conforme Verhoef (1988), ao menos que todos os edifícios fossem projetados em forma de pirâmide, e seria um absurdo sugerir que assim o fossem, somos obrigados a aceitar que algumas partes dos edifícios não serão naturalmente lavadas pela ação da água da chuva; esta constatação conduziria a que se projetasse de forma a facilitar a manutenção/limpeza dessas áreas através da facilidade de acesso e escolha adequada dos seus **materiais de revestimento**, ou de modo a assegurar que, apesar de permanecerem sujas, o edifício não será afetado em sua integridade física ou estética.

Assim como algumas das partes dos edifícios não serão lavadas pela ação direta da água da chuva, outras, em contrapartida, estarão bastante expostas a esta ação, exigindo uma adequação de seus materiais de revestimento e esmerado detalhamento de suas superfícies, não só visando a prevenção da manifestação patológica de manchamento, mas, principalmente, tendo em vista uma maior durabilidade e facilidade de manutenção da fachada em sua totalidade (Dorfman e Petrucci, 1989).

Resta ao projetista, portanto, estudar as fachadas dos edifícios que projeta tendo em vista as diferentes exposições de suas partes à ação da água da chuva direta, resultantes, muitas vezes, de uma **geometria** condicionada por outros requisitos de projeto.

A importância da variabilidade da exposição à chuva incidente, ao longo das superfícies externas de um edifício, tem sido reconhecida em muitas ocasiões. Fazendo referência a algumas delas:

- Newman (1987) lembra que a experiência de muitos anos e o conhecimento do comportamento do material frente à ação dos agentes agressivos do meio ambiente (entre os quais a água) têm permitido, na seleção e aplicação da pedra calcária, recomendações para adequadas durabilidades relacionadas ao elemento a ser revestido e sua posição na fachada. Pedras com diferentes durabilidades são propostas para zonas de diferentes exposições;

- Na descrição das manifestações patológicas ocorridas no revestimento externo em argamassa de um edifício antigo, em condições severas de exposição, Selmo (1989) concluiu que a falta de manutenção constituiu-se num importante fator de desagregação do revestimento ao potencializar, de forma progressiva, a manifestação de erros de projeto e de execução. A origem dos problemas de fissuração e descolamento do reboco (por movimentação termo-higroscópica diferenciada do revestimento) nas regiões salientes das fachadas (quadros de quebra-sóis, topo de platibanda, peitoris das janelas, entre outros) pôde

ser atribuída à inadequação do uso de revestimentos extensos em argamassa convencional nestes elementos mais expostos à ação da água da chuva e radiação solar;

- Como princípio genérico, para o projeto de fachadas, visando “fornecer-lhe (ao projeto) um eixo ordenador centrado no objetivo de garantir-lhes (às fachadas) durabilidade crescente e dificuldade (e, portanto, custo) de manutenção decrescente”, Dorfman e Petrucci (1989, p.260) propõem a busca por “crescente adequação entre o comportamento previsto para os materiais e elementos construtivos utilizados nas fachadas, o comportamento previsto para suas formas de aplicação e/ou associação aos edifícios e os diferentes graus de exposição das várias partes das fachadas às quais estarão incorporados”;

- Em Carrió (1992) somos informados sobre trabalho realizado pelo Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas da Universidad Politécnica de Madrid objetivando a constituição de um banco de dados, para estudo e análise estatística, sobre patologia construtiva de fachadas na cidade de Madrid. Dentre seus objetivos estava o de conhecer, para cada uma das lesões observadas, as características construtivas e ambientais que podem ter tido alguma incidência no processo patológico. Na análise dos dados relativos aos tipos de lesão, observa-se o predomínio de duas delas: os descolamentos (23%), tanto de elementos soltos como de elementos contínuos, e as sujidades (22%), em forma de escorrimentos ou pátina geral. Na análise dos elementos construtivos mais afetados pelas lesões, os dados indicaram os panos cegos (24%), os balcões (21%) (qualquer corpo avançado da fachada, sobretudo a parte horizontal inferior) e as cornijas (11%) (remate superior da fachada) como os mais afetados, seguidos pelas molduras horizontais (8%); os panos cegos provavelmente por serem os mais dominantes em superfície, mas também por resultarem com menor proteção ante os agentes atmosféricos, e os demais por tratarem-se de elementos salientes do plano de fachada, portanto claramente mais expostos aos agentes agressivos exteriores.

Com base em dados preliminares obtidos através desse trabalho, Carrió (1990), ao verificar quais as unidades construtivas que se destacavam por apresentarem alta incidência de lesão, confirmando a presença das mais abundantes, das mais expostas aos agentes atmosféricos e mecânicos de degradação, ou das que apresentam mais superfície de exposição e mais “recortes” em seus desenhos (caso das aberturas e molduras), alerta para a importância de sua definição em nível de projeto, tanto para especificar sua qualidade, como para condicionar sua execução, sem esquecer a importância dos trabalhos de manutenção; o autor faz sugestões para o desenho correto desses elementos, após a análise de uma série de casos concretos em que aparecem erros sistemáticos de projeto e execução.

- O efeito de abrigo do plano (revestido em argamassa) situado logo abaixo do beiral de cobertura, de grande parte das águas da chuva que o atingiriam, fica demonstrado em trabalho de Petrucci et al. (1997) sobre o levantamento de manifestações patológicas em revestimentos externos em argamassa, de conjunto habitacional em Porto Alegre. A distribuição da incidência das manifestações patológicas de mapeamento e descolamento de revestimento nos planos, segundo sua posição no pavimento, revela a relação existente entre a menor ocorrência no último pavimento (quarto) e a existência de beiral de cobertura.

- O efeito de abrigo proporcionado à região da fachada logo abaixo de mesmo pequenas projeções horizontais pode ser visualizado pelo padrão de umedecimento da fachada durante a chuva ou mais permanentemente como manchamentos. Beirais de oitões ou laterais, saliências ou projeções das paredes, tais como molduras horizontais e peitoris de janelas, são detalhes tradicionais de proteção das paredes. Paricio (1999) alerta para os problemas que a abertura de um vão em um muro de fachada trazem, decorrentes da necessidade de modificação no entorno do vão para fazer frente às dificuldades que a descontinuidade introduz: algumas de caráter mecânico e outras com origens na proteção do vazio frente às águas que descem pela fachada e na condução da sujidade para os planos contíguos. Existe na bibliografia especializada (Marsh, 1977; Quewet, 1980; Perez, 1988; Carrió, 1990) algumas sugestões de como projetar adequadamente essas plataformas, evitando os escorrimentos da água da chuva, de trajetórias mais ou menos irregulares, causados pelos vertidos de água sobre os planos verticais ou inclinados imediatos;

De acordo com Newman (1987), existe muito pouca informação disponível sobre o comportamento da água em proximidade com a parede, especialmente no efeito da textura e de detalhes de proteção ou ornamentais, mas observações qualitativas durante a chuva revelam que a água coletada e vertida por tais detalhes tende a cair verticalmente na camada fronteira de divisa do ar, mais do que a derramar na parede. Em muitos casos, o incorreto detalhamento e execução de detalhes de superfície podem conduzir a concentrações ou canalizações de água sobre certas regiões da parede, tornando-as expostas e vulneráveis à degradação, apesar da superfície como um todo estar protegida.

3.3 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DA FACHADA NOS EFEITOS PROVOCADOS PELA AÇÃO DO ESCORRIMENTO DA CHUVA SOBRE AS SUPERFÍCIES DAS FACHADAS

O volume de água escoada pelos planos de uma fachada depende da quantidade de água de chuva que incide diretamente sobre os mesmos e da eficiência de alguns elementos mais expostos à ação da água da chuva de, ao recebê-la, despejarem-na de volta para o campo da chuva, protegendo as superfícies contíguas de sua incidência.

A redistribuição e a eliminação da sujidade e da água da chuva dos paramentos das fachadas estão intimamente relacionadas com a quantidade da água da chuva escoada e sua trajetória.

No que diz respeito aos **materiais de revestimento** a quantidade e a trajetória da água escoada sobre as superfícies das fachadas são, respectivamente, especialmente influenciadas por suas (dos materiais) características de *porosidade* e *rugosidade* (textura) (Beijer, 1977; Robinson e Baker, 1977).

A *porosidade* da superfície do material da fachada intervém diretamente na formação de água de escoamento, importante no lavado indireto e na redistribuição da sujidade. A água da chuva que incide sobre os paramentos de fachadas pode penetrar no seio da porosidade aberta, em uma certa grandeza, dependendo do índice de absorção da água pelo material (Torraca, 1986). Para isso são fundamentais a existência de macro-poros, aberturas e falhas de formação do material como são as fissuras da camada superficial (Jackson e Dhir, 1988; Illston, 1994).

A absorção de água mais importante é a que ocorre através dos poros capilares, característica dos materiais em cuja formação houve a intervenção de fenômenos de dessecação. Medida através da força capilar permite, segundo Beijer (1977), prever o momento de aparição da lâmina deslizante e a extensão de sua trajetória. A característica de porosidade do material escolhido para revestir as diversas partes de uma fachada permitirá máxima absorção, por exemplo, no coroamento, evitando um maior volume de água de escoamento ou, ao contrário, com absorção mínima, a fachada poderá ser lavada em grande extensão.

As janelas nas fachadas normalmente desenvolvem uma maior quantidade de água de escoamento do que os materiais do paramento, devido ao negligenciável coeficiente de

absorção do vidro. Mudanças na aparência dos paramentos das fachadas abaixo das janelas estão diretamente associadas com o modo como a janela é desenhada para controlar o escoamento. Quando a água é dirigida para os lados no plano horizontal do peitoril, o padrão de manchamento que ocorrerá será diferente daquele que normalmente ocorre abaixo do peitoril (Fig. 3.3) (El-Shimi et al., 1980).

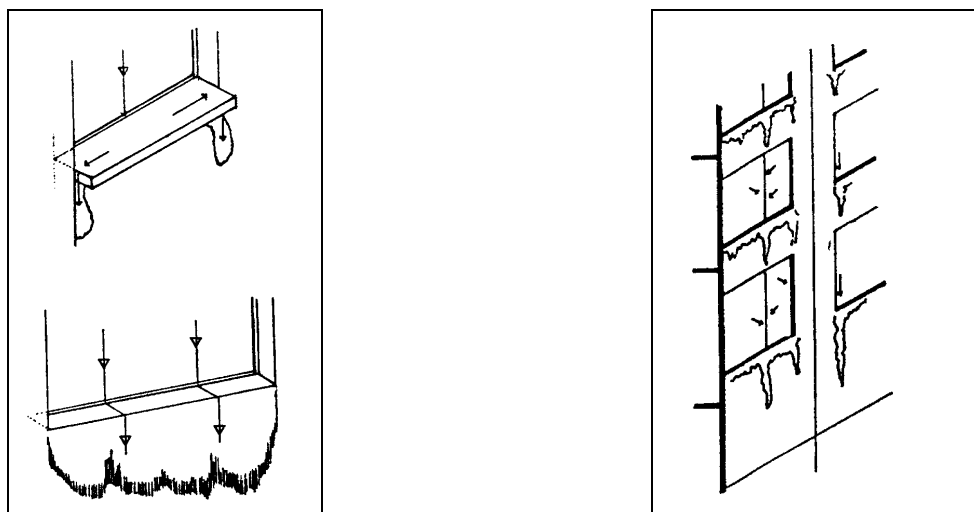


Figura 3.3 Relação entre o desenho da janela e as manchas do escoamento da água da chuva (El-Shimi et al., 1980)

Quanto à influência da *rugosidade ou textura* dos materiais, é importante observar que um material de textura rugosa, característica, por exemplo, das alvenarias de pedra e tijolos, apesar de ser mais sensível ao depósito e adesão de partículas de sujeira, pode distribuir a água pelas superfícies da fachada, evitando escoamentos concentrados e irregulares, característicos das superfícies lisas (encontradas em concretos e argamassas) (Fig. 3.4) (Robinson e Baker, 1975).

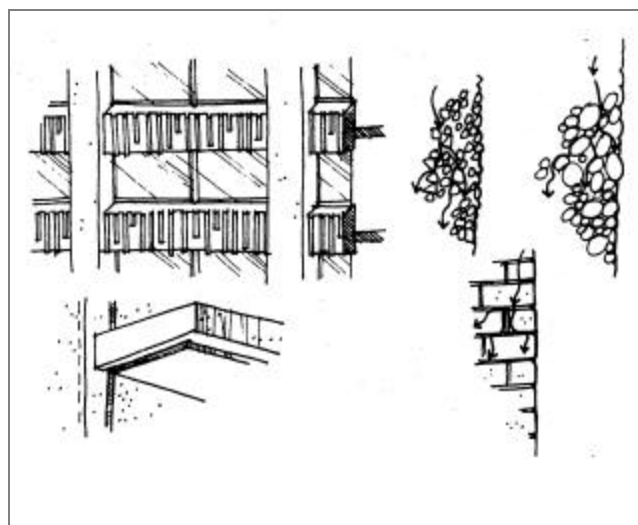


Figura 3.4 Rugosidade e textura e a distribuição da água pelas superfícies da fachada (Robinson e Baker, 1975)

Vallejo (1990a) considera três tipos de textura (rugosa, lisa e polida) de materiais caracterizadas tanto pelo tamanho das asperezas como por sua resposta à deposição e adesão das partículas de contaminação e à distribuição de água de chuva escorrida. Refere-se a texturas de materiais pétreos naturais, pétreos artificiais e pétreos cerâmicos. Segundo o autor, a *textura rugosa*, com asperezas de tamanho superior a 1 mm (de profundidade), mais suscetível ao desenvolvimento das sujidades, proporciona um lavado mais regular (característica das alvenarias de tijolos e pedras, dos concretos de agregados aparentes, entre outros); a *textura lisa*, cujo tamanho (separação e profundidade) das asperezas está compreendido entre 10 e 1000 μm , característica das cerâmicas, concretos e revestimentos em argamassas desempenadas, é muito dependente do tipo de exposição da fachada e suja mais lentamente (o tamanho de suas asperezas proporciona plataformas microscópicas somente utilizadas pela classe de tamanho de partículas que irão aderir às superfícies por gravidade e forças moleculares; as maiores, com volumes superiores à separação entre as rugosidades, portanto com mínima superfície de contato, não poderão se utilizar desses mecanismos de adesão). A *textura polida*, muito favorável a qualquer situação, é característica, por exemplo, dos tipos de acabamento de pedras naturais ou artificiais com tratamento de polimento; possui baixo grau de permeabilidade e elevada uniformidade superficial (características dos materiais tradicionalmente impermeáveis, tais como os vidros, plásticos e metais), constituindo paramentos autolaváveis graças à sua pouca ou nula absorção de água, ou seja, nos quais a água de chuva aportada é empregada na sua quase totalidade na constituição dos escorrimentos, favoráveis ao arraste da sujeira depositada e raras vezes encapsulada (Vallejo, 1990a).

Quanto à influência da **geometria da fachada** no escorrimento da água da chuva sobre os seus paramentos e, conseqüentemente, em seus efeitos, trata-se do principal meio de controle da alteração da aparência das fachadas por manchamento devido às sujidades atmosféricas.

Ainda é importante observar, de acordo com Robinson e Baker (1975), que o controle dos fluxos de água que se acumulam nas superfícies, juntamente com a dissipação dos fluxos de maiores concentrações e a proteção das partes vulneráveis do edifício (onde o ingresso da água é provável e causaria desfiguramento, tais como aberturas e juntas), são os segredos para se evitar a deterioração das superfícies do edifício expostas à chuva e diminuir os riscos de infiltração de água. A água, entre os agentes agressivos externos naturais que atuam sobre a

envolvente da edificação, tem importante papel na deterioração dos materiais nos edifícios: está envolvida em mecanismos destrutivos como variações dimensionais, corrosão, deterioração biológica, eflorescência, lixiviação, entre outros (Gratwick, 1979; Alucci et al., 1988; Perez, 1988; Richardson, 1991; Mehta e Monteiro, 1994; Shirakawa et al., 1997).

Fica difícil classificar todas as variações de detalhes que afetam a migração da água sobre as superfícies das fachadas, mas, mesmo assim, Robinson e Baker (1975) sugerem algumas categorias gerais dentro das quais as combinações dos elementos dos edifícios poderiam estar classificadas de acordo com sua influência no escoamento da água sobre suas superfícies. São elas:

- *Canais contínuos*: projeções ou reentrâncias verticais (juntas, colunas) que bloqueiam e coletam o fluxo de água que se move diagonalmente sobre uma superfície plana adjacente. A Fig. 3.5 mostra a condição generalizada e fornece exemplos de detalhes e elementos dos edifícios que pertencem a esta categoria.

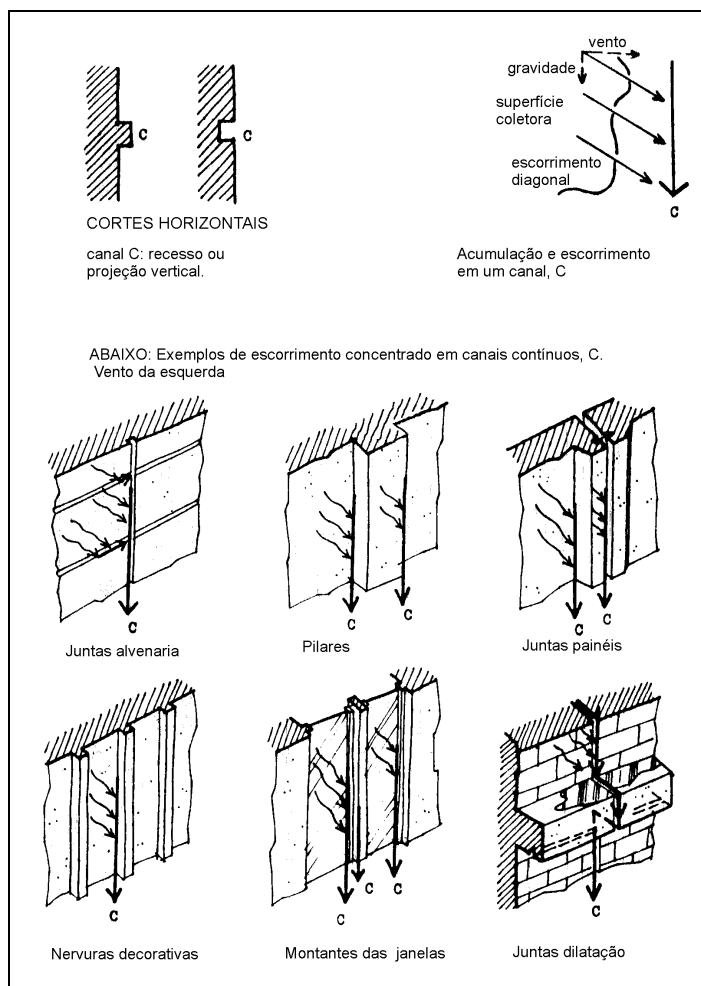


Figura 3.5 Canais contínuos (Robinson e Baker, 1975)

- *Planos contínuos*: combinação de superfícies horizontais, verticais e inclinadas (molduras horizontais, verticais e inclinadas, peitoris) que podem permitir o fluxo de água sobre os elementos sem desprendimento (gotejamento) nos cantos horizontais externos. A Fig. 3.6 traz exemplos generalizados desta categoria e fachadas de edifícios nas quais tais detalhes estão evidentes.

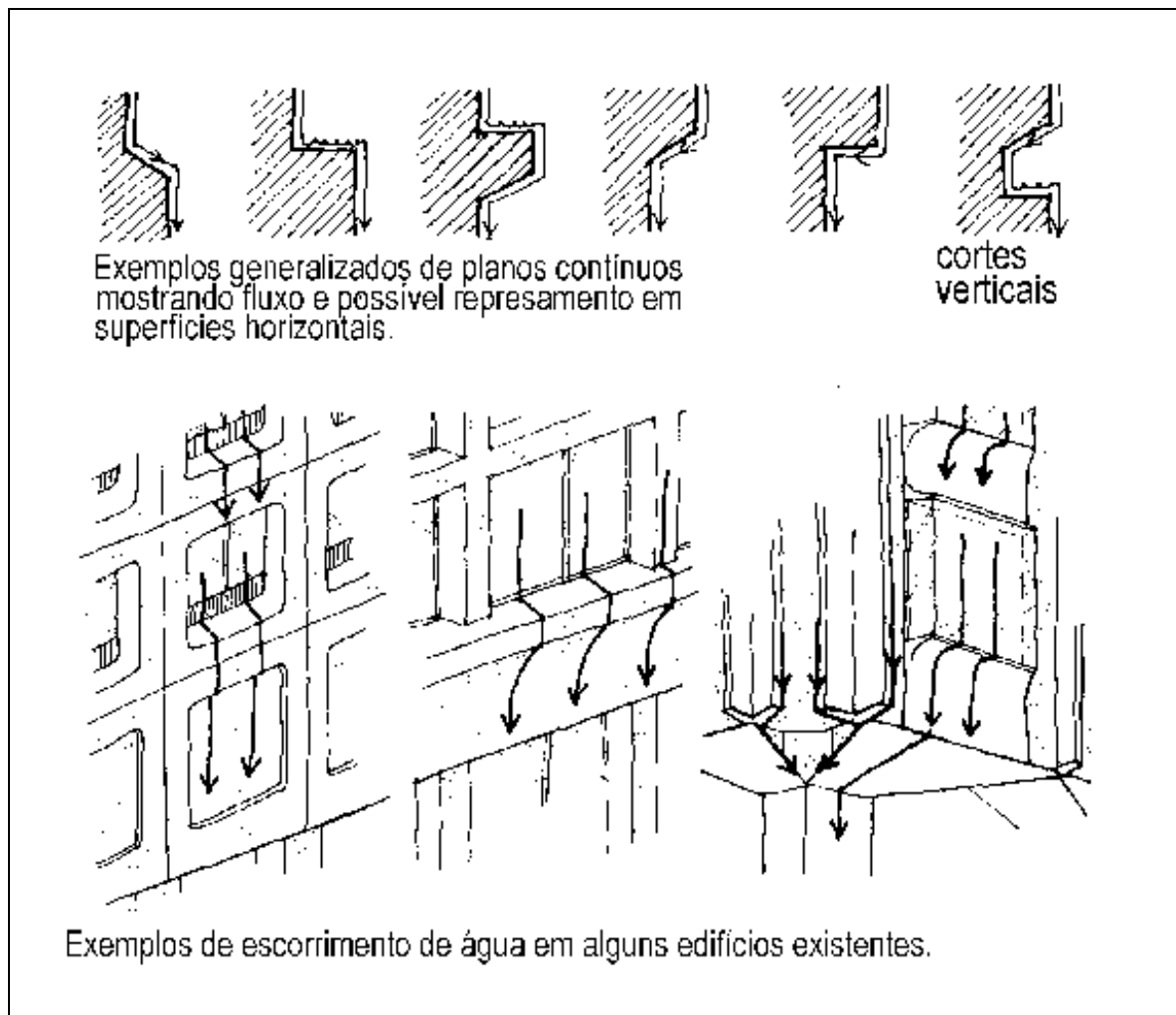


Figura 3.6 Planos contínuos (Robinson e Baker, 1975)

- *Descontinuidades de planos e canais* (combinação das situações acima descritas) determinam alterações na natureza do fluxo de água fazendo com que a água goteje ou aumentando ou diminuindo sua concentração, afetando suas qualidades de penetração ou erosivas. Uma generalizada condição é mostrada na Fig. 3.7.

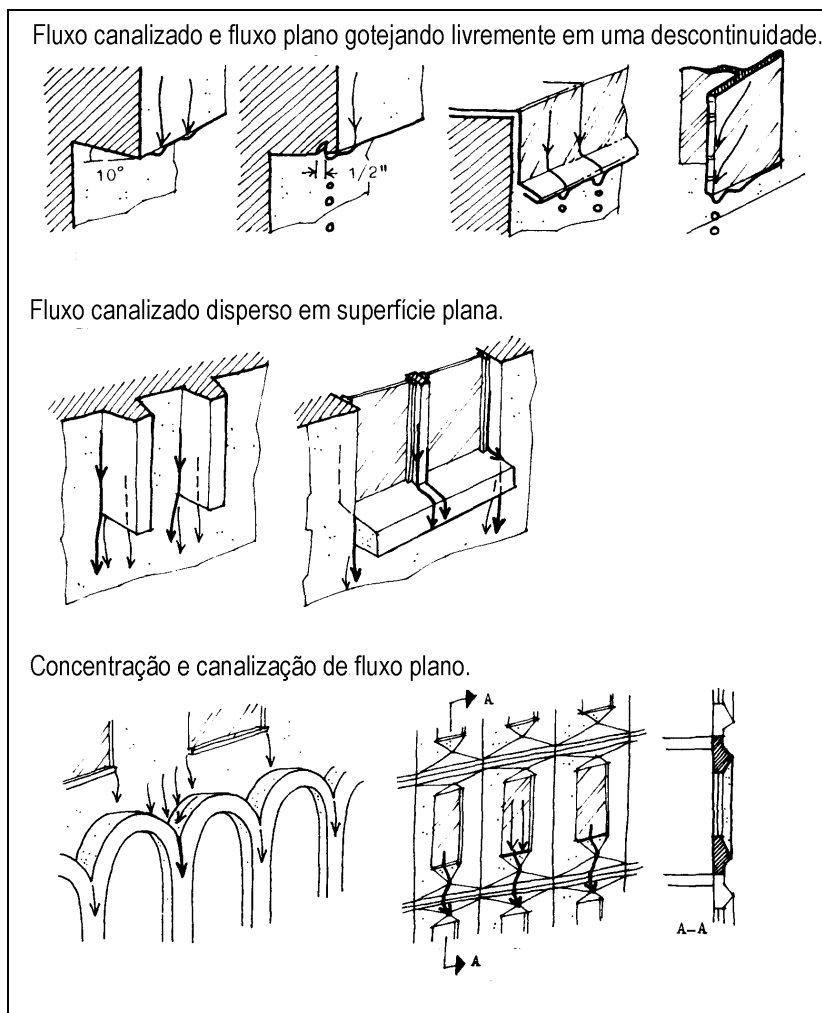


Figura 3.7 Descontinuidades de planos e canais (Robinson e Baker, 1975)

Carrié et al. (1975), ao observarem o fenômeno do manchamento de fachadas em concreto aparente em Paris/França, em especial o escoamento da água sobre suas superfícies, constataram a existência de algumas formas de elementos, inclinados com relação à vertical (canais verticais), que condicionam a direção do escoamento. Também Vallejo (1990a) e Colegio (1996) observam que os efeitos induzidos pela presença de tais elementos se relacionam com a orientação e a variada exposição ao vento e à chuva produzida. Surgem também os diedros verticais capazes de modificar o volume e forma das trajetórias do escoamento, segundo se trata de diedros côncavos (rincões) ou diedros convexos (esquinas), onde o escoamento da água se encontrará favorecido ou dificultado, respectivamente (Fig. 3.8).

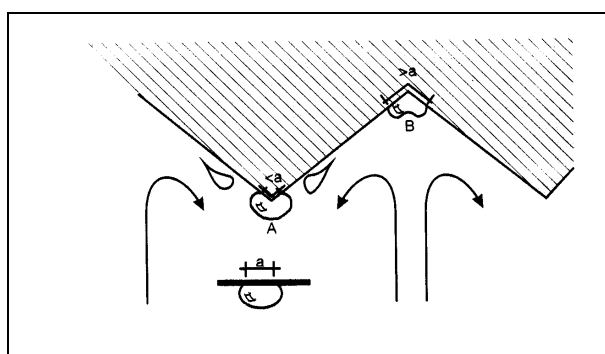
Portanto, segundo Vallejo (1990a), assim como sucede com os planos inclinados com relação à horizontal, a existência de um diedro côncavo ou convexo, com comportamentos característicos, conduzirá ao estudo diferenciado de cada um dos planos componentes. O autor esclarece sobre as características de cada tipo:

- *Diedro côncavo/ efeito de rincão:*

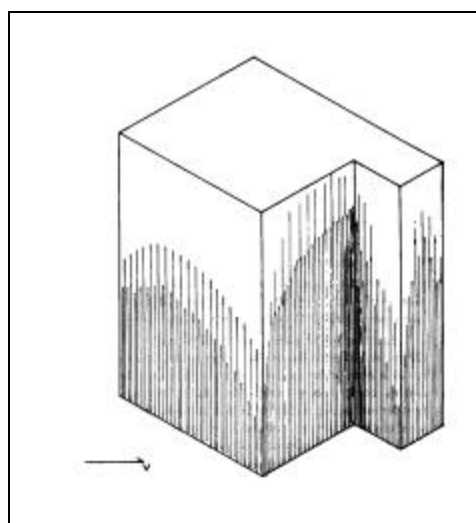
Proporciona uma zona reentrante e protegida, difícil de penetrar pelo vento e a chuva de trajetória horizontal e rasante, o que o faz mais propício à deposição de tipo inercial que prefere condições de remanso, já que se dificulta o lavado direto, sempre que o diedro constitua uma reentrância a barlavento com respeito ao paramento geral da fachada. Como consequência do menor aporte de chuva incidente sobre o interior do diedro, a lâmina de escoamento será fraca e estará afetada pelo fenômeno denominado *efeito de rincão*, que consiste em uma diminuição da velocidade de frente de dita lâmina ao aproximar-se do rincão, já que nessa linha as gotas de água sofrem uma desaceleração causada pelo aumento da tensão de aderência superficial por aumento da superfície de contato; essa desaceleração se transmite por atrito às gotas contíguas que a acompanham em sua trajetória descendente (Vallejo, 1990a, p.145);

- *Diedro convexo/ efeito de aresta ou esquina:*

As duas principais características desta forma são, por um lado a aparição do *efeito de aresta ou esquina*, oposto ao efeito de rincão, que supõe uma evolução avançada da frente da lâmina de água escoada, na esquina, como consequência de uma diminuição da tensão de aderência por diminuição da área de contato das gotas de água no fio do diedro, e sua transmissão em cadeia às gotas adjacentes. Por conseguinte, o lavado será mais abundante e desenvolvido quanto mais próximo à aresta consideremos um ponto do paramento, originando uma marca característica se as condições de sujidade e exposição o permitem. Por outro lado, e excetuando-se o caso particular de vento formando idêntico ângulo com ambos planos do diedro, sucederá que um deles, o mais exposto, experimentará uma maior limpeza já que protegerá o contíguo e tanto mais quanto menor seja o ângulo diedro, pelo que dito plano manterá uma pátina homogênea em contraste com o plano exposto, possivelmente submetido a lavados diferenciados com certa intensidade de chuva, acusando-se então o efeito de aresta (Vallejo, 1990a, p.146).



(a) efeitos de aresta e de rincão – detalhe
(Colegio, 1996)



(b) efeitos de aresta e de rincão
(Vallejo, 1990a)

Figura 3.8 Diedros côncavo e convexo

O papel da geometria da fachada na formação dos manchamentos também foi examinado por El-Shimi et al. (1980) através de observações de fachadas, em Montreal, Quebec, com ênfase dada àquelas com painéis de concreto pré-moldado. Classificou-os (os painéis) em três grupos principais, segundo a sua composição formal, e estabeleceu uma série de recomendações pragmáticas através das quais os projetistas poderiam evitar ou pelo menos minimizar seus efeitos. A qualificação dos efeitos da manifestação patológica diz respeito, particularmente, aos tipos de painéis, em termos de desenho formal, encontrados na área objeto de estudo.

Vallejo (1990a) reúne uma série de situações já observadas e traduz para elementos concretos no projeto das fachadas, com ênfase nas revestidas com materiais porosos, essas possíveis combinações, trabalhando com a escala desses elementos ao tratar os conceitos de canais contínuos, planos contínuos, descontinuidades de planos e canais e efeitos de aresta e rincão, entre outros, em projeções de partes significativas das fachadas ou em juntas, estriados e relevos de suas superfícies.

Na análise de algumas alternativas de solução para as *fachadas com planos não coplanares*, observa (Vallejo, 1990a):

- a ocorrência de uns planos avançados que geram efeitos de abrigo, lavado e os derivados da aparição de diedros verticais e os conseqüentes efeitos de aresta e de rincão (Fig. 3.9);

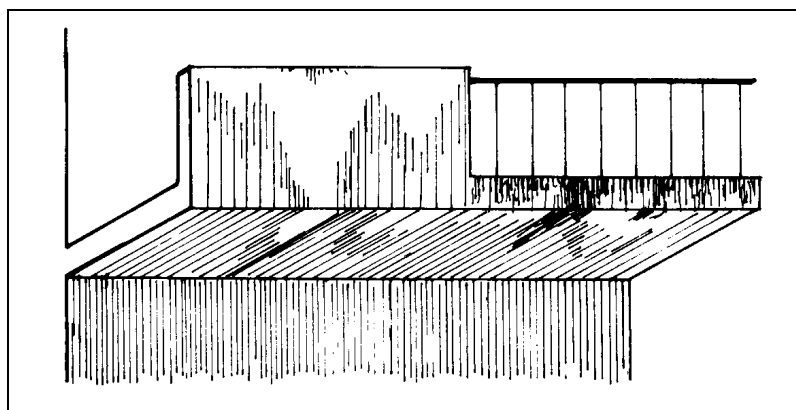


Figura 3.9 Planos avançados (Vallejo, 1990a)

- a ocorrência de planos corridos horizontalmente e a importância de estar atento para a situação relativa de altura, para os abrigos gerados e para os efeitos potencialmente nefastos dos escorrimentos das plataformas adjacentes (Fig. 3.10);

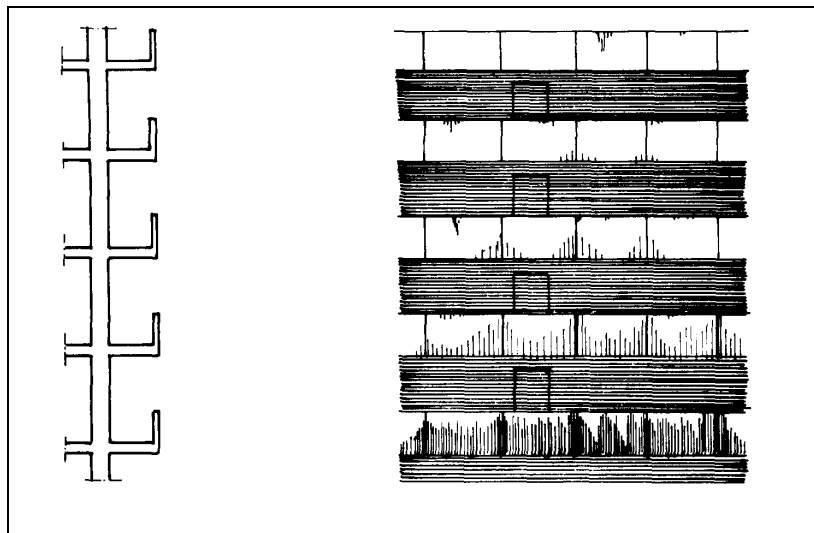


Figura 3.10 Planos corridos horizontalmente (Vallejo, 1990a)

- a ocorrência de panos corridos verticalmente, reentrantes ou salientes, contendo ou não as aberturas, e o fato de estarem parcialmente protegidos de fluxos inclinados e rasantes, além de poderem sofrer interrupções em cada planta pela alternância de vãos de abertura e parapeitos maciços, dificultando a formação da lâmina de escoamento (Fig. 3.11).

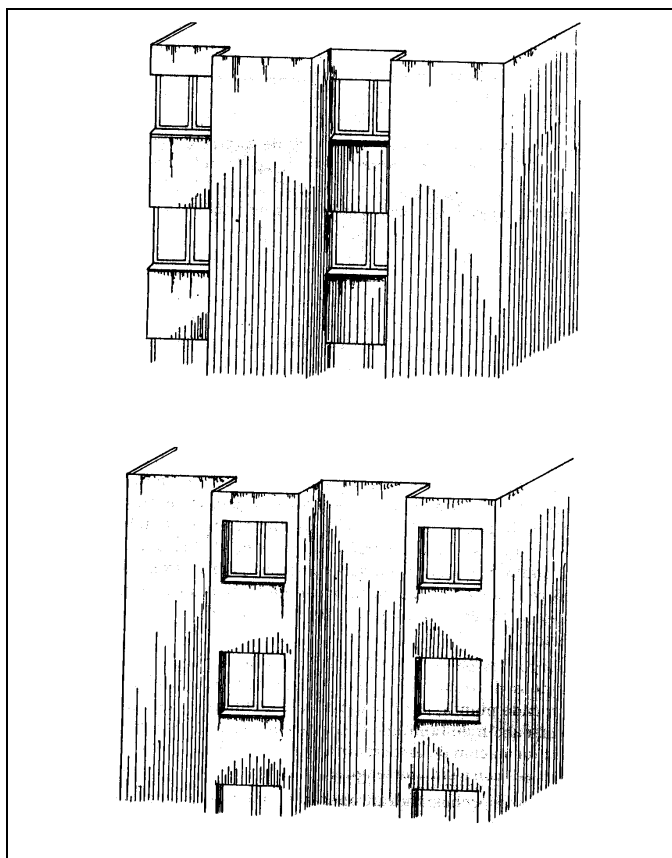


Figura 3.11 Panos corridos verticalmente (Vallejo, 1990a)

As fachadas dos edifícios podem se caracterizar, também, por um conjunto de elementos que cumprem funções decorativas e de proteção, molduras, relevos, juntas de vários tipos, e outros elementos singulares (detalhes de superfície) que vão integrar o que Vallejo (1990a) chama de uma “textura de segunda ordem da fachada”, que irá afetar diretamente a deposição de partículas de sujeidade, os efeitos de camuflagem da sujeidade e a trajetória e volume da água escorrida (Fig. 3.12).

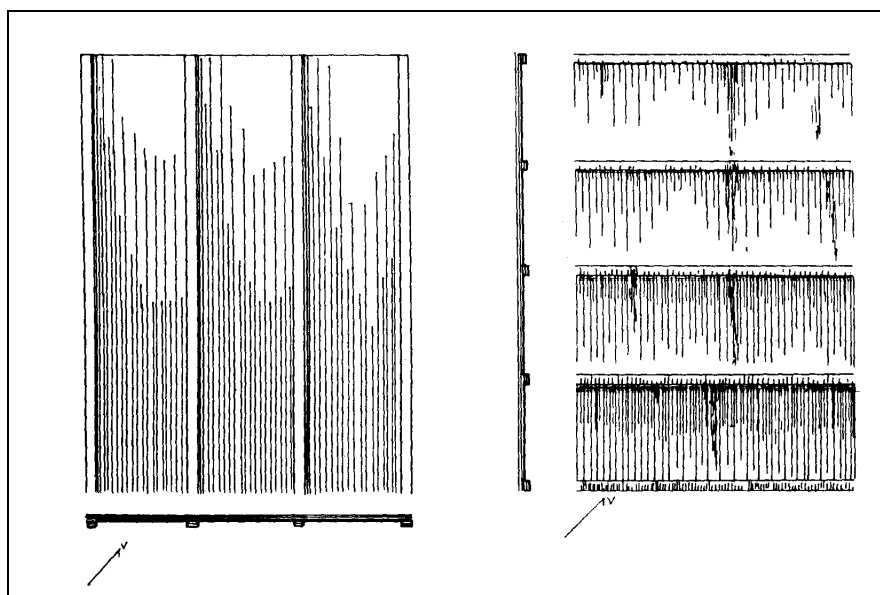


Figura 3.12 Molduras e relevos (Vallejo, 1990a)

3.4 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DA FACHADA NA PERCEPÇÃO DA SUJIDADE (CAMUFLAGEM DA SUJIDADE)

O grau de manifestação/percepção da sujeidade (camuflagem da sujeidade) está intimamente relacionado com as características dos materiais de superfície, tais como *cor e textura*.

Apesar da cor dos materiais de fachada não ser uma propriedade que influa diretamente no processo de formação das pátinas de sujeidade, a intensidade com que se percebem as manchas é diretamente proporcional ao contraste de cor e tonalidade entre os materiais de revestimento e a pátina de sujeidade. Portanto, a sujeidade enraizada sobre uma fachada se fará tanto mais evidente quanto mais descontínua e heterogênea apareça, não só com respeito a sua localização, mas também a seu tom e intensidade (Vallejo, 1990a).

Alguns materiais, devido a sua própria textura, cor e propriedades de absorção de água, possuem, pode-se dizer, métodos de controle incorporados: os materiais de cores escuras, como as cerâmicas vitrificadas ou as madeiras tratadas, têm a propriedade de camuflar a sujeira, não tornando visível sua acumulação, por sua cor ser parecida à do material. As alvenarias de tijolos cerâmicos têm propriedades de cor únicas por variar ligeiramente de um a outro, podendo dissimular as diferenças de acumulação de sujeira que seriam apreciáveis em uma parede de cor uniforme. Materiais com uma textura rugosa, como o concreto com agregado à vista, tendem a não sofrer mudanças de aspecto já que espriem a água por toda a fachada. Em geral, quanto mais irregular é a textura, maior é sua resistência à intempérie desde o ponto de vista visual. As manchas de sujeira são mais percebidas nos materiais de cores claras e de superfícies lisas e porosas, como o concreto ou a pedra calcária. Também é possível escurecer o concreto, modelá-lo ou lhe dar a textura adequada para dissimular sua superfície (Elder e Vandenberg, 1977).

Também as associações de tipos diferentes de materiais têm especial relevância, já que permitem a utilização seletiva dos materiais mais eficazes frente ao manchamento naqueles lugares onde se prevêem circunstâncias desfavoráveis, principalmente os lavados diferenciados (Verhoef, 1988; Vallejo, 1990a).

Outros meios colaterais de mascaramento, relacionados com o contraste entre o fundo e a sujeira, são o desenho e algumas formas artificiais de texturação ou supratexturação superficial (Elder e Vandenberg, 1977; Vallejo, 1990a).

A consciência dos efeitos do envelhecimento fornece, segundo Mostafavi e Leatherbarrow (1993), uma abertura através da qual as condições concretas da arquitetura são entendidas e reinventadas. Os autores referem-se ao trabalho do arq. Carlo Scarpa, ao menos em seus detalhes, como uma demonstração da criativa transformação de elementos tradicionais da Arquitetura; no seu projeto para o Banco Popular de Verona na base de cada uma das janelas circulares existe uma linha vertical que conduz o fluxo normal da água da chuva, demonstrando e retardando seus possíveis efeitos sobre as superfícies do edifício; essas pingadeiras *virtuais*, conforme os autores, revelam o conhecimento, por parte do arquiteto, das marcas muito comuns nas fachadas, com janelas circulares, dos prédios venezianos.

4 ESTUDO DE CASO

Nesta parte do trabalho analisam-se os manchamentos sobre fachadas de dois edifícios na cidade de Porto Alegre, afetados de alguma forma pelos processos lesivos expostos na parte teórica. Objetiva-se verificar se os padrões de manchamento apresentados pelas fachadas dos edifícios observados correspondem aos previstos, tendo em vista a interação que se estabelece entre as condições ambientais do entorno edificado e a forma construída. A complexidade do fenômeno, pela presença de um número grande de variáveis, induziu à fixação de algumas variáveis comuns aos dois edifícios, presentes no processo como causas prováveis da manifestação patológica, permitindo uma melhor observação de outras variáveis que influenciam na manifestação dos processos de manchamento. Sendo assim, os critérios para a seleção dos exemplares foram:

- localização em região da cidade com elevada contaminação do ar, onde se supunha encontrar o fenômeno acentuado;
- exemplos de fachadas afetadas pela manifestação patológica de modo que os manchamentos fossem perceptíveis por um observador situado ao nível da rua para a qual se voltassem as fachadas. Portanto, que a imagem dos manchamentos percebidos pudesse ser captada fotograficamente para facilitar a posterior análise dos dados e comunicação das informações;
- edificações com, aproximadamente, mesmo tempo de vida e similar situação com relação a trabalhos de manutenção;
- edificações em altura por apresentarem problemas mais frequentemente, na medida em que estão sujeitas à variação da ação dos agentes atmosféricos participantes do processo e a maiores dificuldades para a realização dos trabalhos de manutenção (usuários sem acesso à fachada para ação de limpeza de suas superfícies, dependendo de serviços especializados);
- edifícios cujas fachadas tenham sido revestidas com materiais porosos, mais suscetíveis à manifestação de manchamento por sujidades atmosféricas.

Desta forma, as demais variáveis relativas ao desenho arquitetônico e construtivo das fachadas - composição e detalhes de superfície -, as características de textura e cor dos materiais de revestimento, e as condições micro-climáticas (vento, chuva incidente,

temperatura e umidade) foram observadas em suas interferências no modo de produção e manifestação das patologias.

O *primeiro* passo foi conhecer o estado de contaminação atmosférica da cidade quanto ao nível de partículas em suspensão no ar, possibilitando a identificação de uma região que possuísse um nível elevado deste fenômeno ambiental onde estivessem inseridos os exemplares arquitetônicos a serem analisados; o *segundo*, conhecer as condições ambientais climáticas da cidade de Porto Alegre no que diz respeito aos fatores climáticos envolvidos na manifestação patológica de manchamento das fachadas.

Identificadas estas condições ambientais e os edifícios que se enquadravam nos pressupostos de análise, elaborou-se uma aproximação às condições ambientais micro-climáticas (Lacy, 1977) do local onde estes se encontram. Esta aproximação tratou, basicamente, da verificação da exposição das fachadas à radiação solar direta, ao escoamento do vento e, conseqüentemente, à chuva dirigida.

Supôs-se para este estudo, como fez El-Shimi (1980) em suas observações de campo em Montreal/Canadá, que, apesar do fenômeno ser muito complexo e freqüentemente imprevisível, os padrões de manchamento são os fantasmas ou rastros do movimento da água sobre as superfícies das fachadas e integram, ao longo do tempo, o total dos efeitos da intempérie.

4.1 FATORES EXTRÍNSECOS: CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE FÍSICO DA CIDADE DE PORTO ALEGRE

Os dados levantados e expostos a seguir dizem respeito aos fatores externos gerais que influem no processo de manchamento das fachadas e são derivados da localização geotopográfica e da configuração urbanística da cidade de Porto Alegre; dizem respeito ao estado de contaminação atmosférica e ao clima (vento, chuva, temperatura e umidade relativa do ar) relacionados com a estrutura urbana local. O Atlas Ambiental de Porto Alegre (Menegat et al., 1998), publicação resultante de ação conjunta da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, através da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Ministério da Ciência e Tecnologia, ao descrever e explicar as dinâmicas dos sistemas natural e construído deste município, foi de extrema valia para a obtenção dessas informações.

4.1.1 Estado da contaminação atmosférica por material particulado

A principal fonte de emissão de poluentes do ar em Porto Alegre, como em muitos centros urbanos, é o setor de transportes que se baseia na queima de gasolina, óleo diesel e álcool. Também é expressiva a emissão de poluentes por processos de combustão derivados da queima de madeira, óleo diesel e carvão, em atividades do setor de prestação de serviços e na produção industrial (Lima et al., 1998).

O interesse em conhecer, fundamentalmente, a contaminação devida às emissões de fumaças pretas (fuligens), maiores responsáveis pelo escurecimento dos paramentos de fachada, frustrou-se por não existir para Porto Alegre, até o momento, segundo informações da Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SMAM, monitoramento específico para as concentrações de fumaça no ar.

Portanto, para efeito do presente trabalho, foram selecionados dados referentes aos níveis de Material Particulado (MP), identificado como partículas em suspensão no ar lançadas “pela fumaça preta (fuligem) dos veículos, pela fumaça expelida pelas chaminés industriais e pelas poeiras que, depositadas nas ruas, são levantadas pelo vento e tráfego de veículos”, enfim, “poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido ou líquido que, devido a seu pequeno tamanho, mantém-se suspenso na atmosfera” (Lima et al., 1998, p.163).

4.1.1.1 A qualidade do ar / monitoramento

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM, em julho e agosto de 1992, realizou uma campanha preliminar de monitoramento da qualidade do ar de Porto Alegre objetivando identificar as emissões na zona urbana causadas pelo tráfego. Para registrar essas emissões contou com 7 estações de monitoramento, em imediações de ruas, representando áreas com especial densidade de tráfego. O padrão primário – “concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população” (Lima et al., 1998, p. 165) - brasileiro da qualidade do ar para material particulado ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foi ultrapassado em quatro estações: Benjamin Constant, Rodoviária, Salgado Filho, representativa do centro da cidade, e Ernesto Dornelles (FEPAM, 1992).

Também a partir de estações de medição, localizadas conforme mostra a Fig. 4.1, os dados obtidos em 1999 através do Programa de Monitoramento de Qualidade do Ar em Porto Alegre, desenvolvido pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMAM, informam que, principalmente nos meses de março, junho e julho (importante ressaltar que as medições

disponíveis tinham início em novembro de 1999 e encerravam em agosto de 2000), as médias mensais de partículas totais em suspensão na estação representativa do centro da cidade foram altas, ultrapassando o padrão secundário - referente a “concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à flora, à fauna, aos materiais a ao meio ambiente em geral” (Lima et al., 1998, p. 165) - de qualidade do ar, e ficando no mês de junho muito próxima do padrão primário (SMAM, 2000).

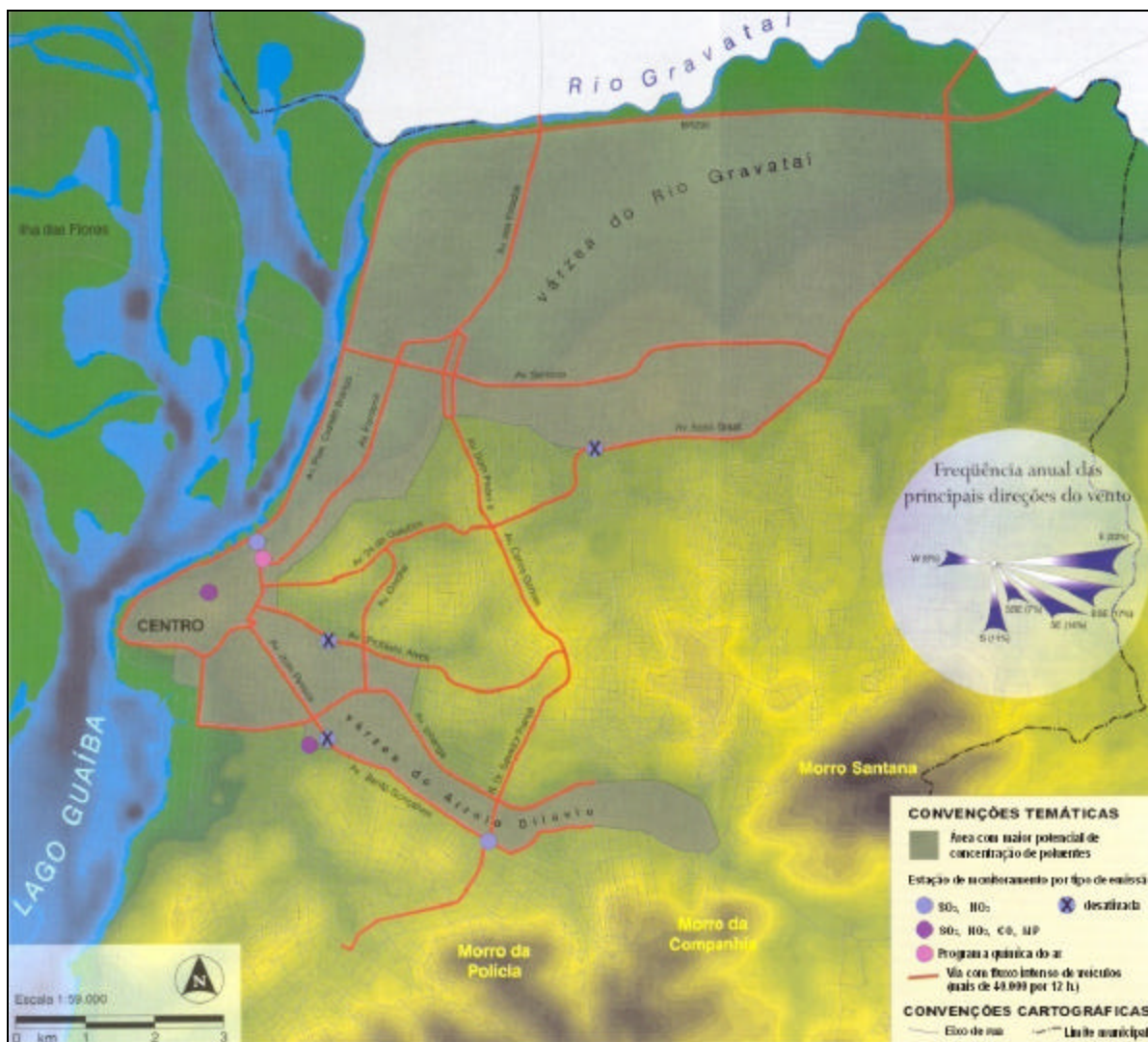


Figura 4.1 Mapa das áreas de maior potencial de poluição atmosférica por emissões veiculares (Livi et al., 1998)

4.1.1.2 Configuração urbanística da cidade e sua relação com a qualidade do ar

Tendo em vista que a dispersão e diluição dos poluentes serão determinadas pela dinâmica da circulação do ar, na realização do “Mapa de potencial de poluição atmosférica por emissões veiculares”, que identifica áreas da cidade de Porto Alegre com maior potencial de acumulação de poluentes ao longo do ano, a avaliação das condições de dispersão de poluentes na atmosfera considerou (Fig. 4.1) (Livi et al., 1998):

- a identificação de vias de tráfego intenso (que possuem um fluxo de, no mínimo, 40000 veículos em 12 horas e estão localizadas nas zonas mais densamente urbanizadas da cidade);

- a existência de obstáculos naturais (áreas de depressão geográfica) ou construídos (espaços urbanos de grande densidade de edificação, que possuem alta rugosidade) que podem impedir ou prejudicar a dispersão constante e eficiente desses poluentes.

Três zonas da cidade foram identificadas como de maior potencial de acumulação de poluentes atmosféricos ao longo do ano:

- O Centro Histórico: por “estar situado ao longo da trajetória dos ventos predominantes e condutores da poluição emitida em avenidas e ruas que convergem em direção ao centro da cidade”, e por possuir superfície muito edificada “que dificulta a livre passagem dos ventos regionais fracos e moderados, não propiciando as melhores condições de dispersão. Os poluentes conduzidos ao centro da cidade acumulam-se em áreas fechadas, graças ao efeito da fraca circulação ou ventilação normal sobre as edificações”, circunstância essa só modificada pelas ações de ventos fortes e chuvas prolongadas com poder de saneamento da atmosfera (Livi et al., 1998, p.168).

- Outras duas regiões da cidade foram identificadas por possuírem emissão veicular particularmente elevada (inclusive no período noturno) e apresentarem fenômenos de inversão térmica de radiação ou de superfície: a região norte, localizada na várzea do Rio Gravataí (depressão que permite a acumulação do ar frio noturno), e a Várzea do Arroio Dilúvio (com freqüentes ocorrências de inversões térmicas de radiação).

4.1.2 Dados climáticos

Estabelecida às margens do lago Guaíba, a cidade de Porto Alegre situa-se a 100 km do Oceano Atlântico, nos limites das regiões continental e costeira e das zonas temperada e tropical. Possui clima subtropical úmido (segundo classificação de W. Köppen) e está localizada a 30° latitude S e 51° longitude W em zona de transição climática (entre os climas tropical e temperado) com característica marcante de grande variabilidade dos elementos do tempo meteorológico ao longo do ano. Massas de ar tropical marítimo (mais freqüentes durante o verão) alternam-se com massas de ar polar marítimo (mais freqüentes durante o inverno e responsáveis pelas frentes frias) gerando quedas bruscas de temperatura. O clima de Porto Alegre possui uma variação sazonal bem caracterizada, com alto índice de umidade relativa do ar, além dos contrastes de temperatura durante todo o ano (Livi, 1998).

Com relação às variações de temperatura características do clima da cidade, dados apresentados por Dal Molin (1988) mostram, para um período de análise de 10 anos, variações de temperatura de até 29° C, em um único dia, e de mais de 40°C entre inverno e verão.

Observam-se os fenômenos atmosféricos relacionados com as etapas de deposição, adesão e limpeza da contaminação, tanto na atmosfera como sobre a fachada da edificação. Entre eles são prioritários os da chuva e do vento, considerados de maneira isolada e conjunta, segundo as possíveis formas de atuação sobre os edifícios. Também são analisados os dados de umidade relativa e temperaturas ambientais, indispensáveis por sua intervenção no processo.

4.1.2.1 O vento na cidade de Porto Alegre

Apesar das dificuldades em prever-se o modo de atuação deste agente climático, os dados meteorológicos são imprescindíveis para a averiguação da magnitude da influência das orientações das fachadas em sua exposição ao impulso do vento e, em particular, da chuva incidente ou dirigida.

Dos dados de observações horárias coletadas ao longo de uma série de 20 anos (1951 – 1970) na Estação Meteorológica do Aeroporto Salgado Filho, em Porto Alegre, Uber (1992) selecionou os parâmetros pertinentes à área do ambiente construído, dentre os quais os relacionados ao vento de superfície (importante observar que os valores de velocidade do vento referem-se a estados limites de utilização, enquanto que os valores processados

estatisticamente na NBR-6123 (capítulo 2) são indicados para estados limites últimos, ou seja, para uso no projeto estrutural), e, após estabelecidas as devidas correlações, concluiu:

(...) observa-se que as médias de direções do vento (nas imediações do Aeroporto Salgado Filho) indicam a absoluta predominância da direção Sudeste chegando a 100% de ocorrência nos meses de setembro a novembro. Em seguida aparecem a direção Leste (de dezembro a abril durante a noite e madrugada) e Oeste (de maio a julho, da manhã ao meio da tarde). Registros de vento Sul aparecem apenas na primeira metade das tardes de abril e entre as 6 e 16h de agosto. Ventos calmos ocorrem preferentemente nas madrugadas de maio a julho e manhãs de abril (Uber, 1992, p.73-74).

(...) Quanto à distribuição da frequência do vento entre as faixas de velocidade, observa-se a redução de ocorrência das velocidades mais altas no inverno, aumentando os registros de vento calmo. As velocidades mais frequentes são as compreendidas entre 2,5 e 3 m/s e as abaixo de 1m/s (Uber, 1992, p.74-75).

Complementando as informações, a figura 4.2, constante do Atlas Ambiental de Porto Alegre (Livi, 1998), mostra as velocidades médias do vento e frequências médias das principais direções do vento na cidade de Porto Alegre.

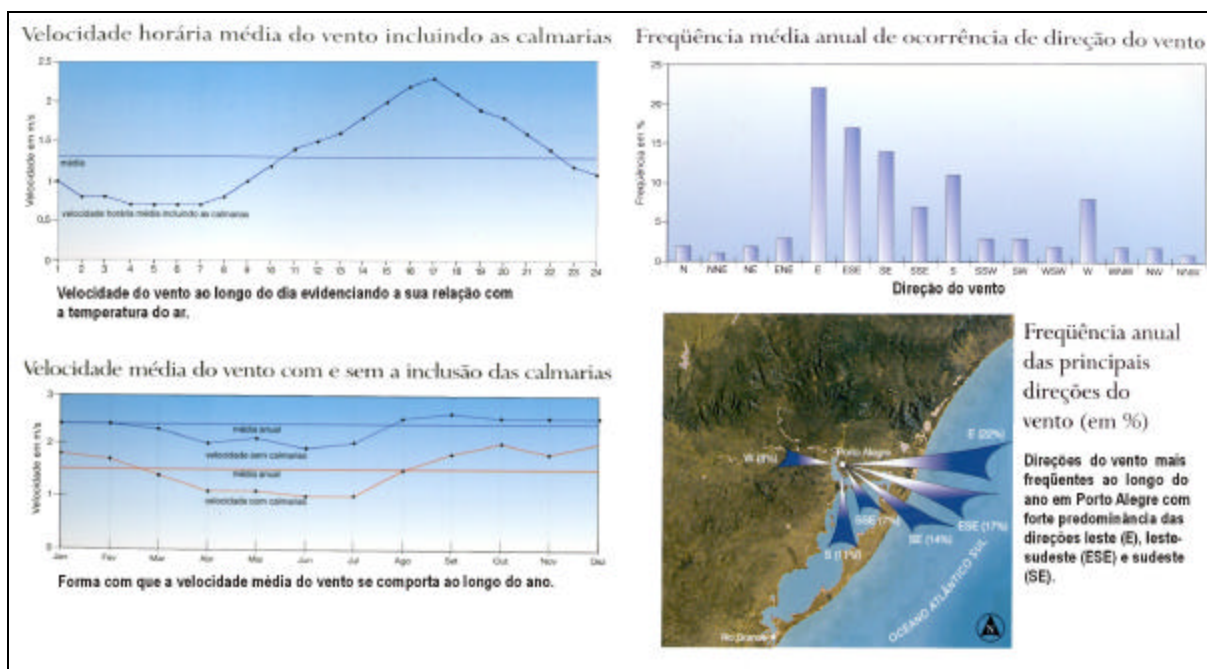


Figura 4.2 O vento na cidade de Porto Alegre (Livi, 1998)

4.1.2.2 Chuva

Segundo Livi (1998), em Porto Alegre a precipitação pluviométrica ao longo do ano é maior no período mais frio do ano, nos meses de junho a setembro (Fig. 4.3); mas, de acordo com observações de Machado comentadas por Aroztegui (1977), as chuvas mais violentas

ocorrem no verão: 70% das chuvas com forte carga d'água se dão nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.



Figura 4.3 Precipitação pluviométrica na cidade de Porto Alegre (Livi, 1998)

De acordo com os dados obtidos por Silva e Giralt (1995), oriundos de informações coletadas pela estação meteorológica de Porto Alegre (abrangendo um período de cinco anos) e informatizadas na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - CIENTEC, em trabalho cujo objetivo é estabelecer um índice de chuva dirigida e índices de intensidade de precipitação para Porto Alegre, e segundo classificação informada por Bauer (1987), com referência à intensidade das chuvas na cidade constata-se que a maioria é de baixa intensidade ou fraca (1,1 a 5 mm/h), incidindo com baixa força sobre os paramentos e favorecendo, portanto, a formação dos manchamentos por sujidades.

Silva e Giralt (1995), com base em metodologias propostas por Lacy (1977) e Carrié et al. (1975), estabelecem, respectivamente, um índice anual de chuva dirigida não direcional para Porto Alegre (DR_{Ia}) de 3,92 m²/s, correspondendo a uma exposição do tipo Moderada, e verificam as diferentes exposições das fachadas à chuva incidente em função de suas orientações.

As Fig. 4.4 e 4.5 ilustram as informações prestadas pelos autores. Com relação à frequência das chuvas é possível constatar-se que há um importante desequilíbrio em favor dos setores de Leste (E) a Les-Sudeste (ESSE) e Sul (S) ou que a grande maioria dos ventos portadores de chuva vêm destes setores. Verifica-se, também, uma razoável homogeneidade na distribuição da intensidade média horizontal das chuvas e um desequilíbrio na distribuição da intensidade média vertical em favor da direção Su-Sudoeste (SSO), refletindo a alta velocidade do vento nesta direção, e Nor-Nordeste (NNE), onde se observa a maior intensidade horizontal.

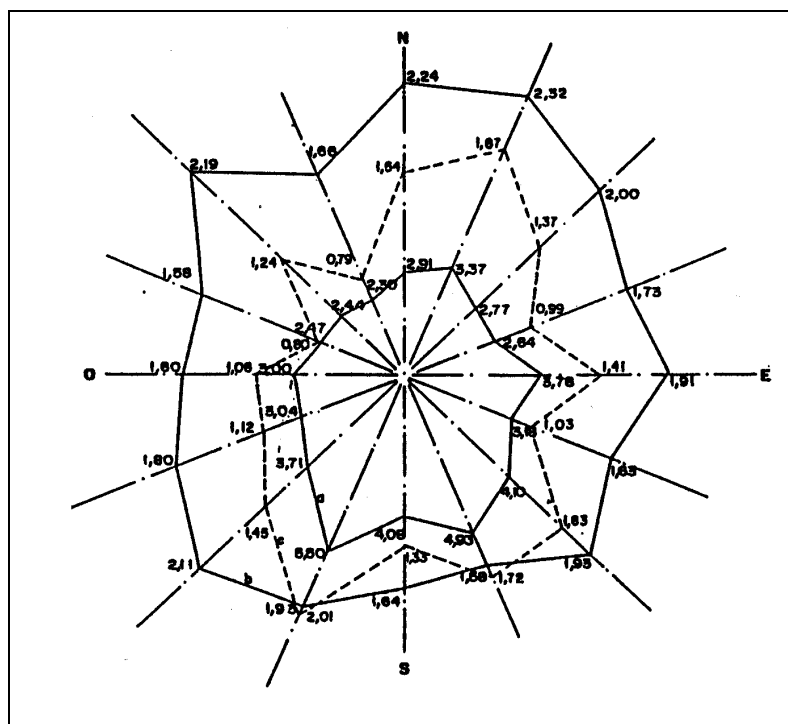


Figura 4.4 Curva (a): velocidade média do vento durante a chuva (m/s); curva (b): intensidade média horizontal das chuvas (mm/h); curva (c): intensidade média vertical das chuvas (mm/h) (Silva e Giralt, 1995)

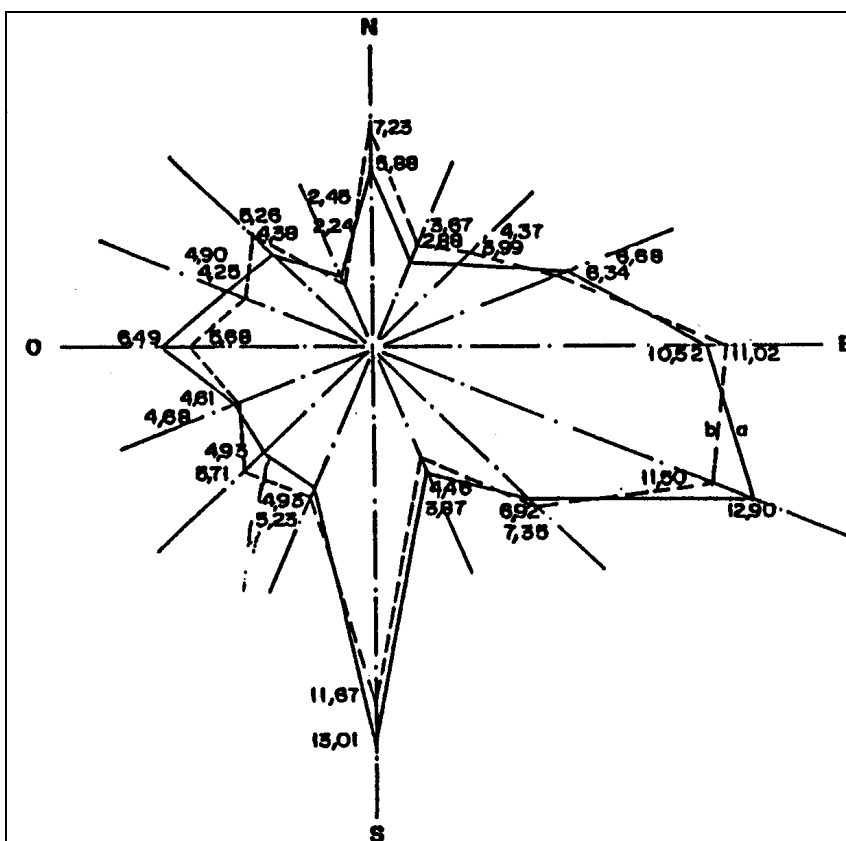


Figura 4.5 Curva (a): freqüência das chuvas (% de horas do total); curva (b): precipitação (% do total) (Silva e Giralt, 1995)

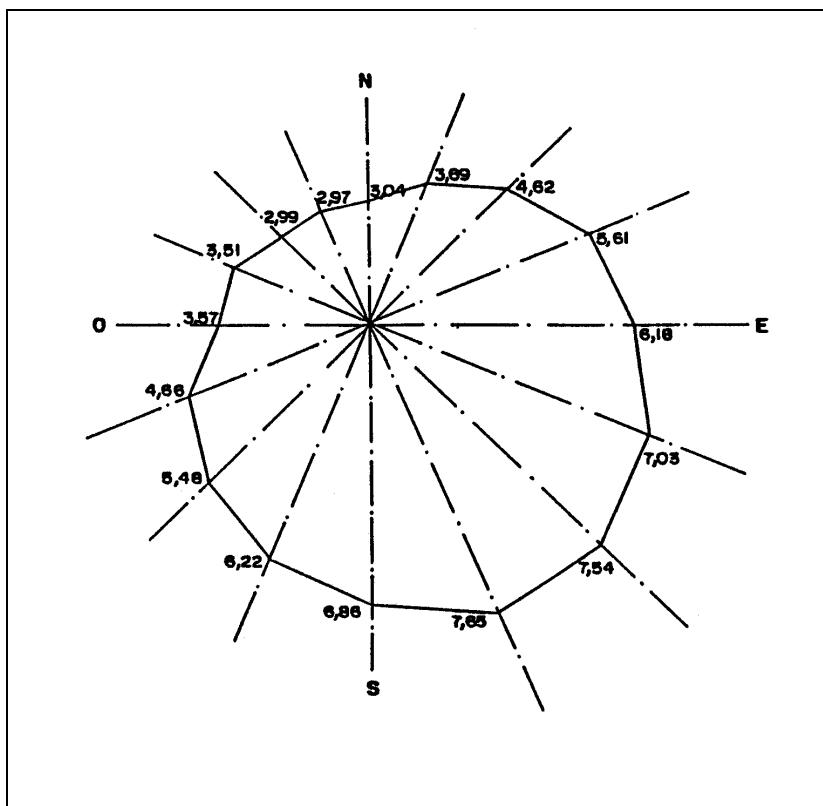


Figura 4.6 Grau de exposição das fachadas à chuva dirigida, na região de Porto Alegre, em função de suas orientações (Silva e Giralt, 1995)

Pode-se, com base em estudos feitos na França (Carrié et al., 1975) e na Espanha (Vallejo, 1990a), dividir a rosa dos ventos em vários setores atribuindo a cada um deles um determinado nível de exposição ao lavado direto pelo impacto da chuva, tal como segue e mostra a Fig. 4.6:

- Nível A: fator de exposição $K > 9$ - fachada muito exposta;
- Nível B: fator de exposição $9 > K > 6$ - fachada exposta;
- Nível C: fator de exposição $6 > K > 3$ - fachada medianamente exposta;
- Nível D: fator de exposição $K < 3$ - fachada pouco exposta.

Para Porto Alegre, também a zona A pode ser reservada para os setores muito bem lavados pela chuva, ou seja, em situações evidentes de alta exposição. Importante lembrar que, conforme apontam Silva e Giralt (1995), os resultados obtidos para Porto Alegre relativos à exposição das fachadas à chuva dirigida em função de suas orientações (atingindo seu valor máximo na direção Su-Sudeste (SSE)) servem apenas para comparação do grau de exposição entre as orientações de fachadas.

4.1.2.3 Temperatura do ar e radiação solar

A respeito da curva diária de temperatura na cidade de Porto Alegre, Uber (1992, p. 69) informa:

A curva diária da temperatura repete o mesmo padrão durante todo o ano, onde os valores mínimos ocorrem por volta das 6:00h e os máximos cerca de 15:00h. Esta senóide é perfeitamente acompanhada, obviamente com valores inversamente proporcionais, pela curva da umidade relativa, tanto no período diário quanto no anual. Porém, observa-se uma amplitude anual diversa entre estes parâmetros, sendo que os picos médios de umidade máxima (6:00h) conservam valores nunca inferiores a 85% (15% de amplitude), ao passo que as temperaturas mínimas correspondentes podem ter, na média, uma variação de mais de 10° C entre o verão e o inverno.

Através da análise dos dados apresentados no Atlas Ambiental de Porto Alegre, em Livi (1998), verifica-se (figuras 4.7 e 4.8) a proporção inversa entre a temperatura média compensada e a umidade relativa do ar ao longo do ano.

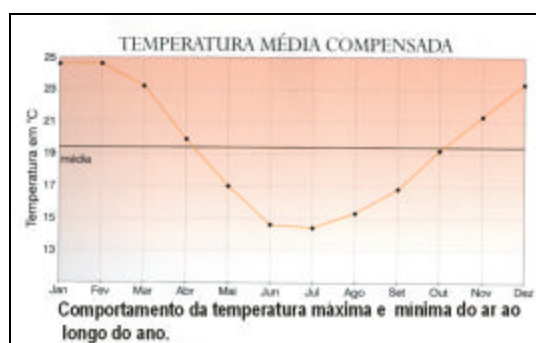


Figura 4.7 Temperatura média compensada em Porto Alegre (Livi, 1998)



Figura 4.8 Umidade relativa do ar em Porto Alegre (Livi, 1998)



Figura 4.9 Insolação em Porto Alegre (Livi, 1998)



Figura 4.10 Evaporação em Porto Alegre (Livi, 1998)

Com relação aos níveis de insolação (Fig.4.9), o ciclo anual de horas de insolação nos revela que o brilho solar é menor nos meses mais frios e chuvosos do ano. Observa-se, ao relacionar estes valores com os níveis de evaporação (Fig. 4.10) (que possuem uma distribuição do tipo daquela da temperatura), que durante os meses invernais a taxa de

evaporação é menor pelo inferior aquecimento do ar produzido pela insolação. A ação solar resulta mais eficaz nos meses mais quentes, eliminando mais volume de água do ambiente e dos materiais, constituinte de sua umidade natural ou da acumulada pelos eventos de chuva (Livi, 1998).

Da leitura no gráfico de Projeção Estereométrica das Trajetórias Aparentes do Sol em Porto Alegre (Fig. 4.11) (Aroztegui, 1977; Montenegro, 1983) das trajetórias nos dias 22 de dezembro (Solstício de Verão), 21 de março/23 de setembro (Equinócios) e 21 de junho (Solstício de Inverno), representativas, respectivamente, das situações de verão, meias estações e inverno, é possível genericamente concluir que a céu aberto, ou seja, para planos completamente desobstruídos à incidência do sol em Porto Alegre:

- fachadas orientadas para Sul serão mais frias e úmidas do que, por exemplo, as orientadas para Norte, que recebem insolação durante todo o dia e ao longo de todo o ano e que, conseqüentemente, terão maior poder de evaporação da água que tenham recebido do meio ambiente;
- fachadas orientadas para Leste receberão incidência de radiação solar desde o nascer do sol até às 12:00h durante todo o ano e as fachadas orientadas para Oeste do meio-dia (12:00h) até o poente, quando as temperaturas do ar estarão mais elevadas.

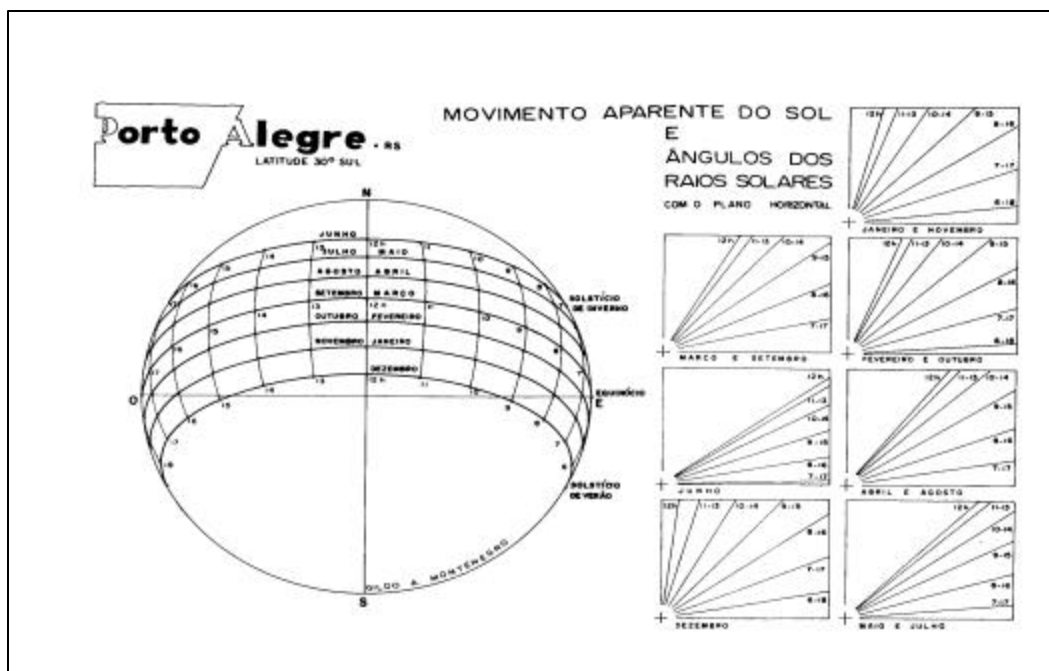


Figura 4.11 Projeção estereométrica das trajetórias do sol em Porto Alegre. Indicação dos períodos de incidência de sol nos planos desobstruídos a esta ação, orientados para Norte, Sul, Leste e Oeste (Montenegro, 1983)

Assim como o entorno edificado (e, até mesmo, detalhes das superfícies das fachadas) pode mudar sensivelmente a direção do vento e da chuva, também pode fazer *sombra* aos raios de sol que incidiriam na fachada, modificando a situação teórica de exposição (Fig. 4.12).

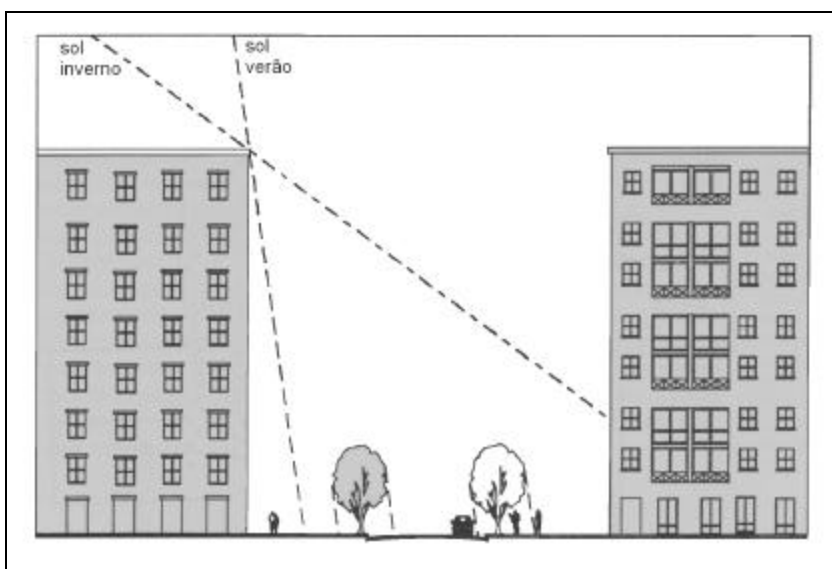


Figura 4.12 Sombreamento na Av. Borges de Medeiros devido ao entorno edificado (Mascaró, 1996b)

4.1.2.4 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar em Porto Alegre mantém-se elevada ao longo de todo o ano, concentrando seus valores mais altos no período mais frio (Fig. 4.8). As máximas médias se dão nos meses de maio, junho e julho e são da ordem de 81%; as mínimas médias se produzem nos meses de dezembro e janeiro e são da ordem de 70%; a média anual é de 76% (Livi, 1998). Na média, portanto, mantém-se permanentemente com índices superiores ao de 65%, considerado como favorável aos processos de deposição de partículas por vias seca e úmida. Ainda, segundo Aroztegui (1977), a média das máximas ultrapassa 90% em 8 meses e a média das mínimas somente em um mês é inferior a 55%, permanecendo na maioria dos meses acima dos 60%.

A elevada umidade relativa do ar em Porto Alegre favorecerá, portanto, os fenômenos de condensação da água sobre os paramentos das fachadas e, conseqüentemente, a adesão das partículas.

Supõe-se, portanto, que o inverno é a estação mais favorável à ocorrência da manifestação da patologia de manchamento por partículas de contaminação atmosférica nas fachadas das edificações na cidade de Porto Alegre, pela presença de ventos fracos (dificuldades na dispersão dos poluentes), temperaturas baixas e alta umidade relativa do ar

(favoráveis à condensação), e chuvas mais fracas (do que no verão) apesar de a precipitação pluviométrica ao longo do ano ser maior nos meses de junho a setembro.

4.1.3 Os exemplares analisados: edifícios Vera Cruz e Sulacap localizados no centro histórico

O centro da cidade de Porto Alegre, mais precisamente a área designada por Centro Histórico, foi escolhido para a seleção dos exemplares analisados porque possui um alto potencial de acumulação de poluentes (dificuldade de sua dispersão na atmosfera) e por apresentar, nos monitoramentos da qualidade do ar realizados na cidade, níveis elevados de material particulado no ar.

Quanto à ocupação do espaço urbano, predominantemente vertical, possui alta densidade de edificações (incluindo patrimônio arquitetônico com várias áreas de interesse), destinadas, em sua maior parte, aos setores de serviços e comercial (Hickel et al., 1998). Também nesta região surgiram os primeiros arranha-céus da cidade, construídos, na sua maior parte, com revestimentos porosos (pedras e argamassas) em suas superfícies externas (Fig. 4.13).



Figura 4.13 Centro histórico de Porto Alegre (Hasenack et al, 1998)

Depois de definido o centro da cidade como área para seleção dos exemplares arquitetônicos a serem analisados passou-se à etapa dessa seleção, possibilitando a aproximação dos agentes ambientais envolvidos na manifestação patológica em estudo ao entorno ambiental das edificações.

De acordo com os critérios previamente estabelecidos, a seleção dos edifícios para análise deu-se pelas seguintes razões:

- se encontram em parcela importante do centro da cidade, no cruzamento das duas primeiras avenidas monumentais que abrigam valioso patrimônio arquitetônico, apresentando-se com impacto visual no cenário urbano. Os edifícios selecionados situam-se no cruzamento das Avenidas Borges de Medeiros (para a qual voltam-se as principais fachadas e onde se localizam os acessos) e Senador Salgado Filho. As duas avenidas foram abertas pela Prefeitura local na década de 1930 (Souza, 1998). A avenida Borges de Medeiros configura-se como uma rampa suave, cercada por edifícios construídos no alinhamento, principalmente ao longo das décadas de 40 e 50. Estes edifícios têm entre dez e vinte pavimentos de altura e ocupam totalmente os lotes de divisa a divisa, na forma de um alinhamento contínuo. Bloqueada, do seu início até a esquina com a Av. Senador Salgado Filho e Rua Gal. Andrade Neves, ao trânsito de veículos desde a década de 70 sua utilização atual, no trecho onde se encontram os edifícios, é basicamente para circulação de pedestres (Mascaró, 1996b) (Fig. 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17).



Figura 4.14



Figura 4.15

Figura 4.14 Edifício Sulacap à esquerda de quem sobe a Av. Borges de Medeiros

Figura 4.15 Edifício Vera Cruz à direita de quem sobe a Av. Borges de Medeiros



Figura 4.16



Figura 4.17

Fig. 4.16 Vista do cruzamento entre as avenidas Senador Salgado Filho e Borges de Medeiros

Fig. 4.17 Vista do cruzamento entre as avenidas Senador Salgado Filho e Borges de Medeiros

- os edifícios integram-se no conjunto que define a continuidade do cenário da rua; correspondem a tecido urbano denso e consolidado, dentro do qual os efeitos de abrigo pelos edifícios próximos são de vital importância na determinação das respostas ao manchamento e à eliminação das partículas depositadas.

Desta forma, foram selecionados os seguintes edifícios para o presente estudo:

- o **edifício Vera Cruz**, primeiro exemplar selecionado, apresenta alteração na aparência de suas fachadas que conduz à rejeição de sua imagem por apresentarem-se as manchas fortemente contrastantes com as linhas compositivas de suas fachadas e com características as mais repudiadas em termos do que pode esse tipo de alteração de aparência ter de patológico; foi o exemplar escolhido em primeiro lugar, justamente por apresentar forte pátina de sujidade em suas superfícies. Segundo a administração do condomínio do edifício, suas fachadas sofreram ação de manutenção no ano de 1992, quando foram submetidas à lavagem com jato de água pura e tiveram alguns trechos do revestimento refeitos. Limpeza esta considerada insatisfatória por não ter eliminado as manchas causadas pelos escorrimentos

de água dos peitoris das janelas. Suas condições de integridade física, no entanto, são bastante boas em contraste com a degradação visual de suas superfícies (Fig. 4.18 e 4.19).



Figura 4.18 Fachada Sul – ed. Vera Cruz



Figura 4.19 Fachada Leste - ed. Vera Cruz

- por outro lado, o **edifício Sulacap** (Fig. 4.20), localizado em frente ao ed. Vera Cruz, foi selecionado justamente por apresentar bom aspecto nas suas fachadas. Mesmo sem ter experimentado qualquer serviço de manutenção ou limpeza em suas superfícies até o presente momento (informações prestadas pela administração do condomínio) chama à atenção por seu excelente estado de conservação, apesar de apresentar algum tipo de manifestação da patologia, principalmente em sua fachada orientada para Sul.



Figura 4.20 Ed. Sulacap

- o contraste entre os dois edifícios é evidenciado pelo fato de terem sido construídos em uma mesma época (seus projetos inclusive são do mesmo ano) e estarem situados frente a frente. A proximidade facilitou a análise da influência do micro-clima na manifestação das manchas por eles apresentadas (Fig. 4.21).



Figura 4.21 Vista dos edifícios Vera Cruz e Sulacap, da Rua Gal. Andrade Neves

- os dois exemplares, apesar de terem sido projetados no mesmo ano, apresentam composições em fachadas bastante diversas, enriquecendo a análise da influência das características da composição formal das fachadas na manifestação da patologia: o Sulacap com ostensiva ornamentação em seus planos de fachada e o Vera Cruz projetado com linhas mais puras, com ênfase na volumetria. São edifícios representativos da produção moderna da arquitetura da cidade de Porto Alegre; referências de qualidade construtiva e projetual do período de sua construção (Xavier e Mizoguchi, 1987).

4.1.3.1 Os edifícios e o clima do entorno urbano

A situação ambiental dos edifícios e de suas fachadas foi observada definindo suas características imediatas em relação ao meio físico e urbano em que se encontram imersas.

Com relação aos fatores externos climáticos, trata-se de variáveis básicas indicadoras da capacidade de uma fachada de receber os impactos dos agentes meteorológicos vento e chuva (responsáveis por sua limpeza e lavado), e também de radiação solar direta em suas superfícies, responsáveis pela geração de uma imagem determinada de pátina de sujeidade.

O mapa do clima urbano de Porto Alegre mostra que o centro da cidade possui clima de superfície edificada com alta densidade de edificações e vegetação escassa, que originam ilhas de calor (devido à baixa permeabilidade da superfície com materiais que refletem o calor – concreto, vidro, asfalto): a energia armazenada durante o dia é liberada à noite, acarretando temperaturas mais elevadas em áreas mais densamente construídas do que em áreas menos urbanizadas da periferia (Hasenack et al., 1998) (Fig. 4.22).

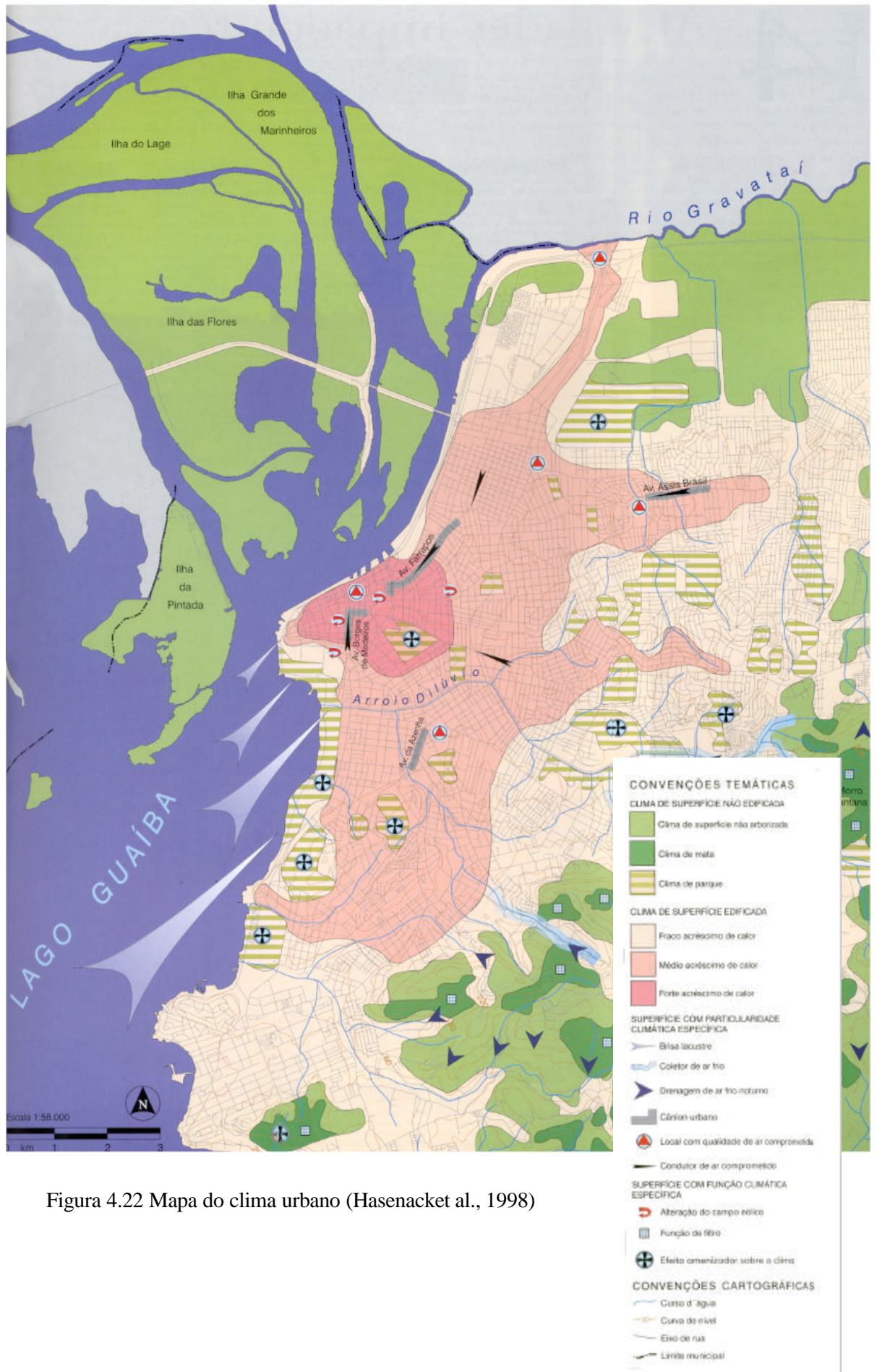


Figura 4.22 Mapa do clima urbano (Hasenacket al., 1998)

Mascaró (1996b), em trabalho de análise da influência da morfologia do recinto urbano na sua ambiência, realiza medições de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, e iluminância em seis ruas “tipo” da cidade de Porto Alegre, dentre as quais um trecho (início) da Av. Borges de Medeiros (onde se localizam os edifícios analisados), caracterizada como Rua Larga e Seca de orientação N-S. As medições realizadas permitiram observar que com um fator de céu visível discreto (relação largura/altura variando de 0,5 a 1,6 e perfil heterogêneo), constitui-se em um recinto urbano razoavelmente protegido do vento, mas não tão estreito que impeça o acesso do sol. Insolação que no verão ajuda a desestabilizar o ar da rua, produzindo brisas locais.

Com base em observações locais e nos dados referentes ao movimento aparente do sol em Porto Alegre (Latitude 30° Sul), nas trajetórias equivalentes ao Solstício de verão (dezembro), Equinócios (Março e Setembro) e Solstício de inverno (Junho); aos ângulos formados pelos raios solares com o plano horizontal (Montenegro, 1983), nos horários 11:00h e 13:00h, por exemplo, em cada uma das trajetórias citadas; às alturas (estimadas em função do número de pavimentos) e afastamentos (entre as fachadas) das edificações em estudo, pode-se construir a figura 4.23.

Tratando-se da ação da radiação solar direta sobre os planos das fachadas, a figura 4.23 expõe o sombreamento mútuo provocado pelo conjunto de edifícios, com ênfase na situação ocorrida sobre as fachadas dos edifícios Vera Cruz e Sulacap voltadas para a Av. Borges de Medeiros; as fachadas dos edifícios voltadas para a Av. Senador Salgado Filho e Rua Gal. Andrade Neves provavelmente não recebem incidência direta de sol sobre suas superfícies, permanecendo frias e úmidas durante todo o ano. Observa-se que a fachada Oeste do ed. Sulacap, sombreada parcialmente pelos edifícios situados em frente (principalmente no trecho defronte ao ed. Vera Cruz), ocorrendo situação similar, mas inversa, no caso do ed. Vera Cruz, possui setores bastante expostos à ação do sol, tais como os mais próximos da esquina com a Rua dos Andradas e grande parte do bloco C (Fig.4.34).

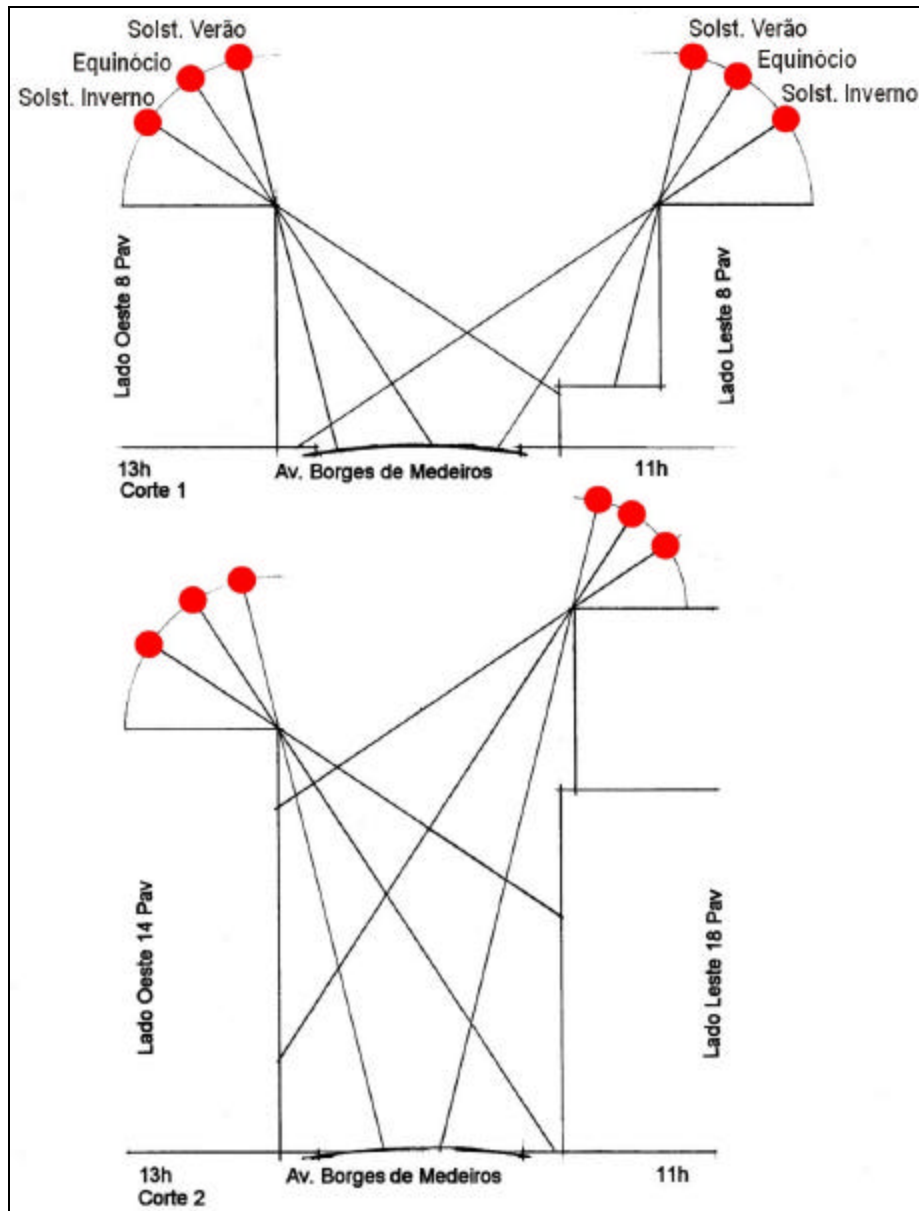


Figura 4.23 Estudo da radiação solar

Aproximando-se do local onde se encontram os exemplares analisados, é possível também observar que os ventos de direção sul, originados na superfície do Lago Guaíba, são comprimidos ao alcançarem o cânion urbano da Avenida Borges de Medeiros (Fig. 4.24), aumentando a sua velocidade (Hasenack e Ferraro, 1998). Com relação à Rua dos Andradas, orientada perpendicularmente à direção do vento, as barreiras de edifícios a protegem do vento que, ao passar principalmente por sobre os edifícios, atinge-a apenas por um fluxo secundário, diminuindo a circulação do ar local e dificultando a dispersão de eventuais contaminantes atmosféricos.



Figura 4.24 Cânion da Av. Borges de Medeiros

Com relação ao escoamento do vento (e conseqüentemente da ação da chuva incidente sobre as fachadas dos edifícios) no local onde se encontram os exemplares, baseando-se nos estudos dos efeitos aerodinâmicos do vento e suas possíveis combinações sobre os edifícios, apresentados no embasamento teórico sobre a manifestação patológica em estudo (capítulos 2 e 3), e nos dados sobre o regime dos ventos na cidade de Porto Alegre (direções preferenciais), pode-se supor a ocorrência no local das seguintes situações importantes de escoamento do vento:

- *Situação A* - quando o vento é canalizado na Av. Senador Salgado Filho, escoando no sentido Leste – Oeste, após ser conduzido para o canal por um efeito Venturi: - ao abrir seu campo na esquina com a Av. Borges de Medeiros, incide sobre a fachada do ed. Vera

Cruz que se volta para esta avenida e que se interpõe em seu caminho, provocando sobrepressão nesta fachada e sucção a partir da esquina sobre a fachada do ed. Sulacap que se volta para esta mesma avenida; também a partir da esquina do ed. Vera Cruz, na fachada voltada para a Rua Gal. Andrade Neves há um efeito provocado de sucção. Ao canalizar, com esta mesma direção e sentido, na Rua dos Andradas provocará efeito de sucção na fachada do ed. Sulacap voltada para esta rua (Fig. 4.25).

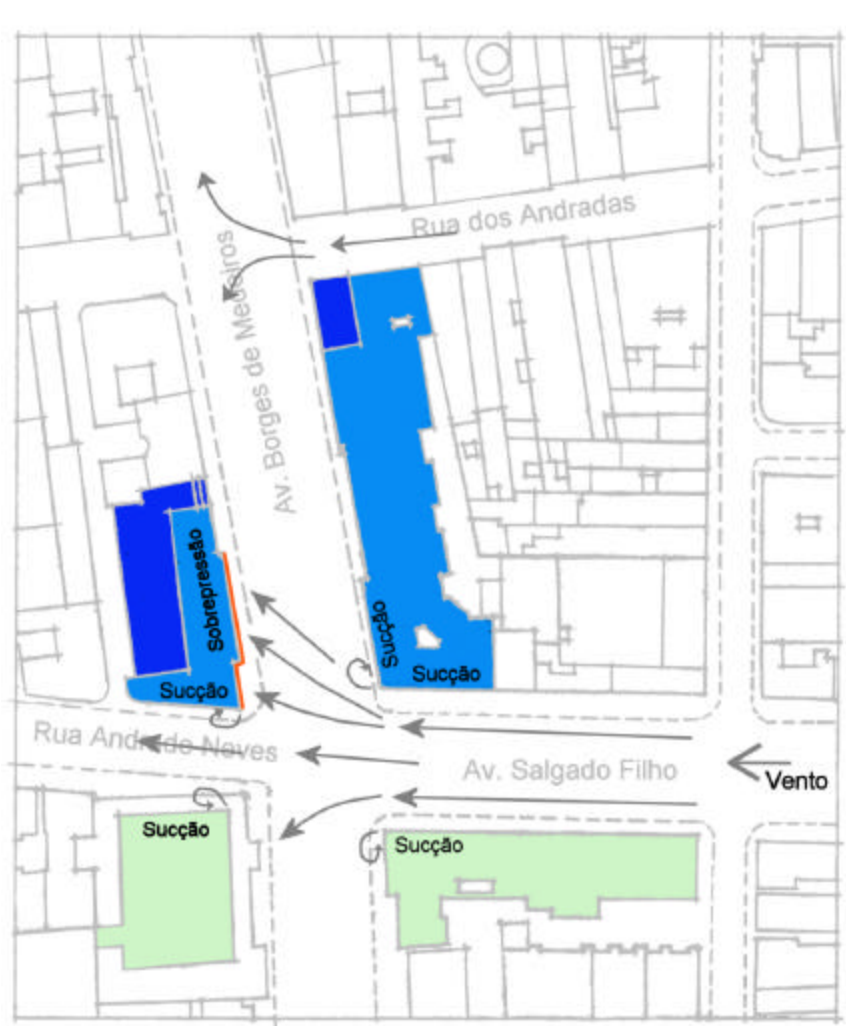


Figura 4.25 Situação (A) do vento

- *Situação B* - quando o vento é canalizado no cânion da Av. Borges de Medeiros escoando em direção Sul – Norte: ao abrir seu campo, no encontro com a Av. Senador Salgado Filho e a Rua Gal. Andrade Neves, o vento tende a criar uma zona de sobrepressão sobre a fachada do ed. Vera Cruz (que se acusa sobre o escoamento) voltada para a Rua Gal. Andrade Neves e sucção nas fachadas dos edifícios Vera Cruz e Sulacap voltadas para a Av. Borges de Medeiros. Também é possível considerar a existência de um efeito de sobrepressão

na fachada do ed. Sulacap voltada para a Av. Senador Salgado Filho em zona muito próxima da aresta que forma a esquina com a Av. Borges de Medeiros (Figura 4.26).

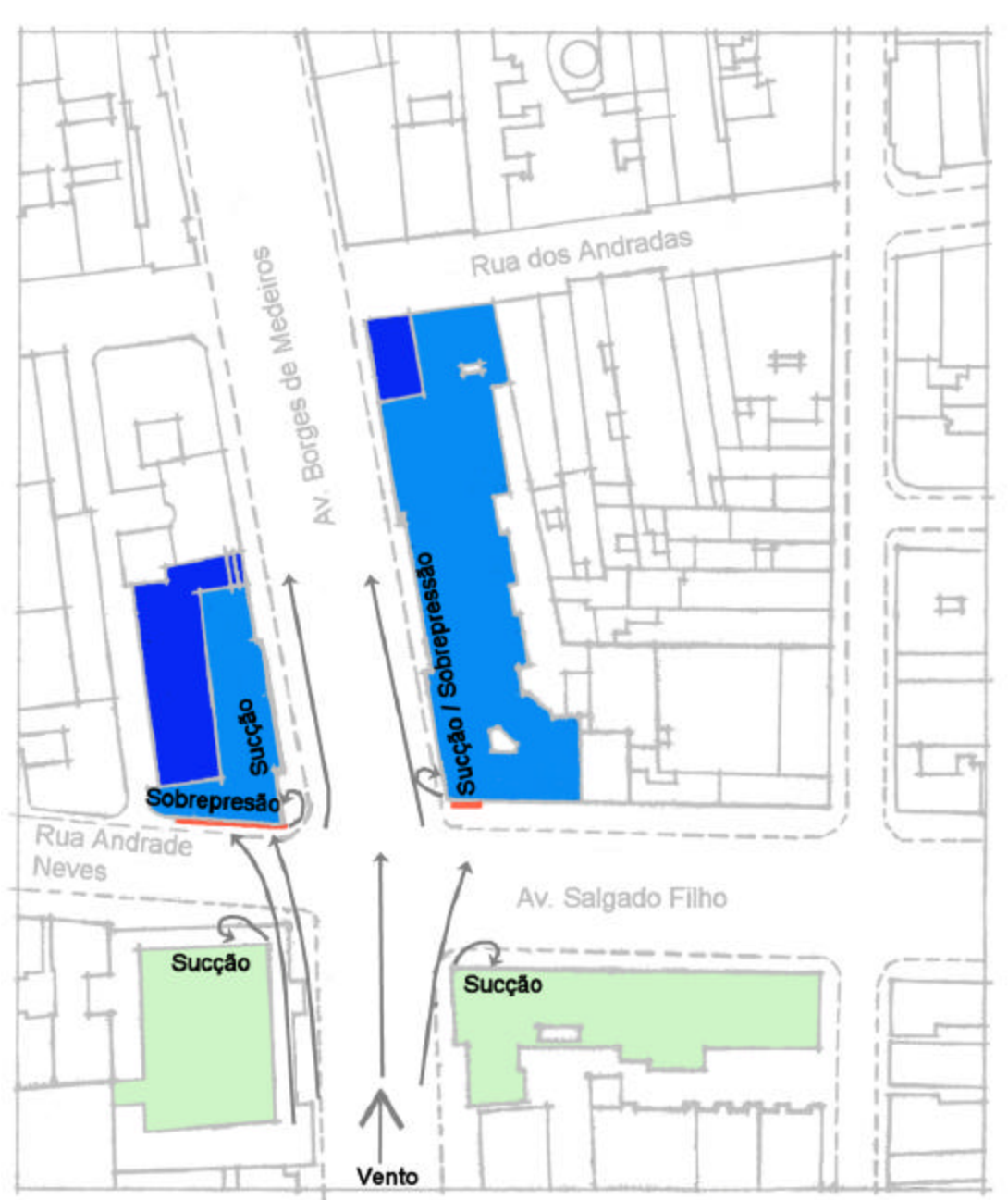


Figura 4.26 Situação (B) do vento

- *Situação C* - quando estes efeitos aerodinâmicos operam combinados, isto é, com escoamento do vento canalizado nos cânions das avenidas Borges de Medeiros (Sul – Norte) e Senador Salgado Filho (Leste – Oeste): pode-se estimar a ocorrência de um efeito de canto (com um aumento de turbulência ao nível do pedestre) sobre a aresta do ed. Vera Cruz, encontro das duas fachadas externas nas quais se observará o efeito de sobrepressão em partes

do plano da fachada. Efeitos de sucção, expostos nas situações descritas anteriormente, estão indicados na fig. 4.27.

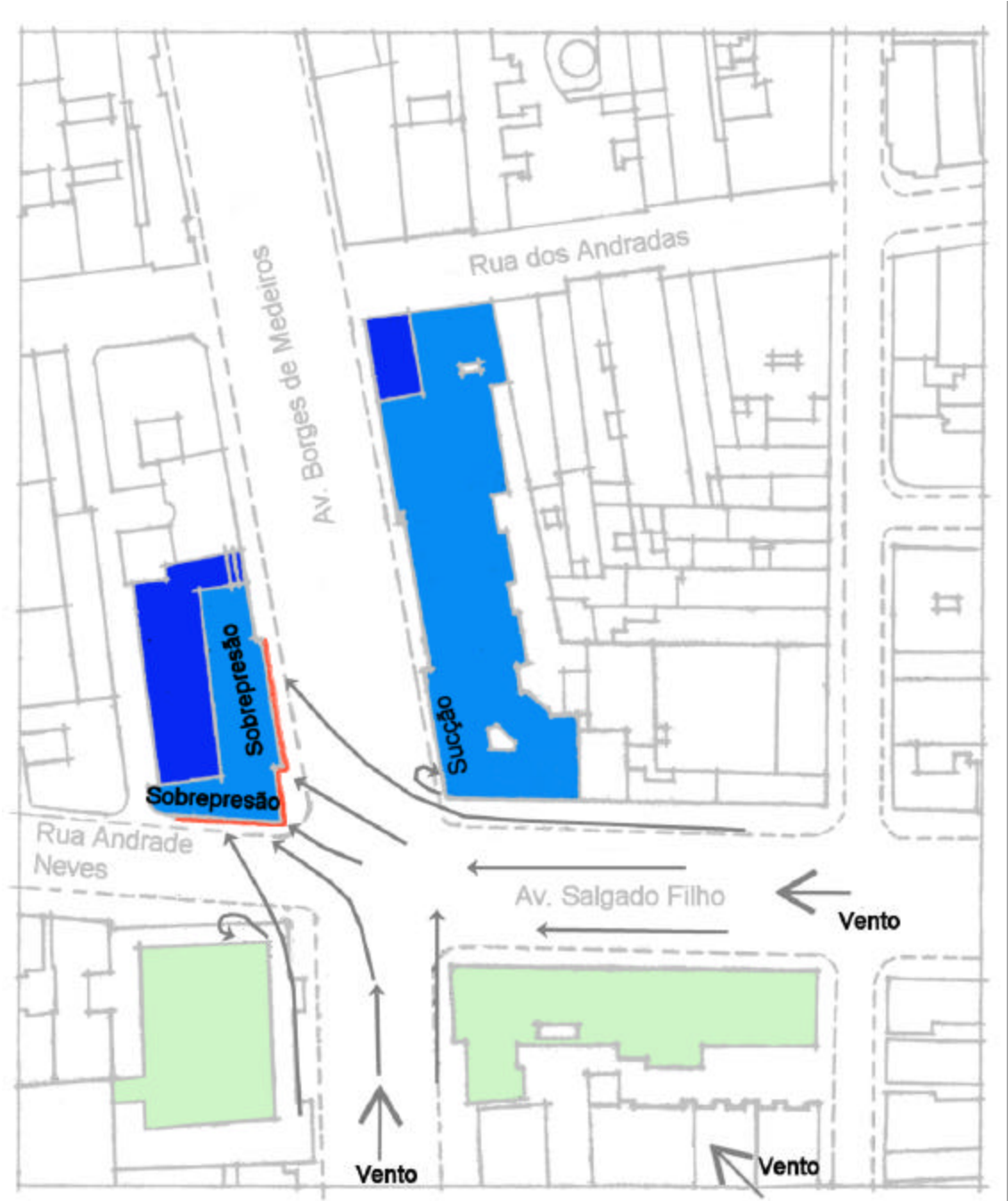


Figura 4.27 Situação (C) do vento

- *Situação D* – quando o vento estiver canalizado, escoando na direção Norte – Sul, as fachadas dos edifícios analisados estarão em sucção.

É importante observar que estas análises consideram as fachadas como se formadas por um único plano, desconsiderando os efeitos de turbulências provocadas pelos encontros de

escoamentos de diferentes direções sobre irregularidades destas superfícies, presentes em ambos os edifícios.

Com relação à chuva incidente, portanto, as fachadas do Ed. Vera Cruz (Sul e Leste) estão mais solicitadas à incidência direta.

4.2 FATORES INTRÍNSECOS: OS EDIFÍCIOS VERA CRUZ E SULACAP

Descrevem-se brevemente cada um dos edifícios quanto às características arquitetônicas de geometria e materiais de revestimento das fachadas e analisa-se a ocorrência da manifestação patológica de manchamento em suas superfícies, relacionando-as com suas prováveis causas.

No relato da análise das manifestações patológicas observadas, fundamentalmente visuais, para facilitar a identificação das interações ocorridas entre as condições ambientais e a forma edificada, e com base no estudo que precedeu esta investigação, estas se encontram identificadas com cada grupo das principais ações envolvidas no fenômeno, quais sejam: a deposição e adesão das sujidades, a ação do vento e da água de chuva direta e a ação da água de chuva escorrida. Também se comenta a influência das características compositivas das fachadas na percepção das sujidades.

4.2.1 Edifício Vera Cruz

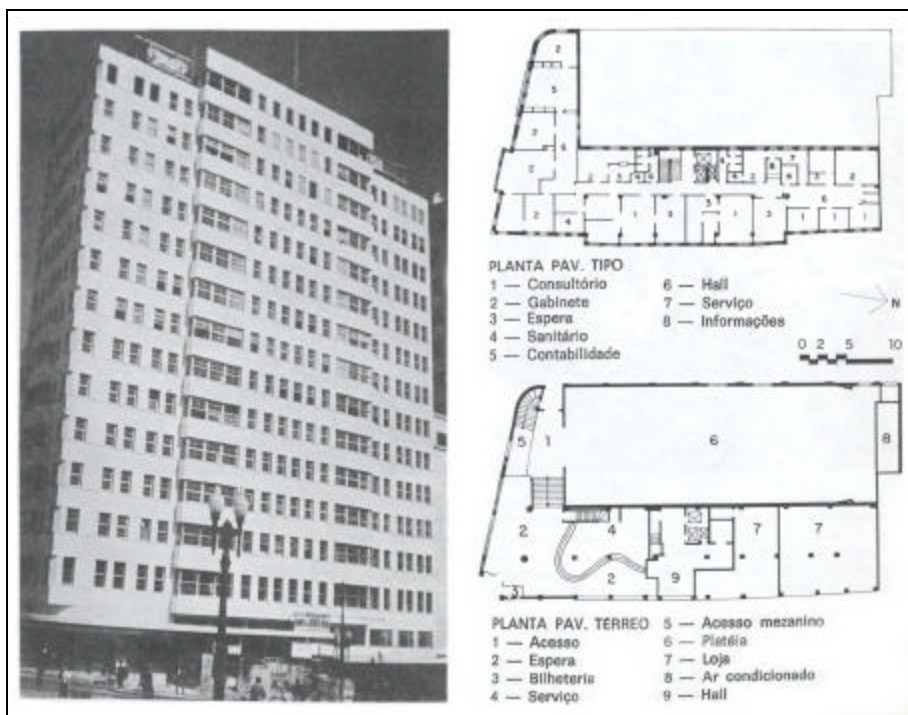


Figura 4.28 Ed. Vera Cruz. (Xavier e Mizoguchi, 1987)

Prédio para uso misto, de propriedade da “Edifícios Reunidos S/A”, o edifício Vera Cruz, situado na Av. Borges de Medeiros nº 453 na esquina com a Rua Gal. Andrade Neves, no Centro da cidade de Porto Alegre, previa cinema e lojas no pavimento térreo e salas comerciais e apartamentos nos andares superiores, hoje praticamente ocupados por escritórios. Seu projeto, de 1938, com planta-baixa em formato “L” (Fig. 4.28), é de autoria de Antônio João Monteiro Neto (responsável também pelo projeto da Associação Riograndense de Imprensa, em Porto Alegre) e sua execução de responsabilidade da firma Azevedo Moura & Gertum (Xavier e Mizoguchi, 1987; Weimer, 1998).

Segundo Xavier e Mizoguchi (1987, p. 51),

Sua arquitetura guarda maior parentesco com o Guaspari que com o Sulacap, os três edifícios concebidos numa mesma época e na mesma avenida, ou seja, uma procura de sobriedade no tratamento do volume edificado, com jogo de planos nas duas fachadas, apresentando, nos trechos centrais, janelas de canto, de modo a evidenciar, mesmo em escala discreta, as novas possibilidades propiciadas pelo concreto armado.

Analisa-se, a seguir, as fachadas (denominadas segundo sua orientação solar) que se voltam para a Avenida Borges de Medeiros e Rua Gal. Andrade Neves quanto à sua composição geral/descontinuidade geométrica, detalhes de superfície e materiais de revestimento (quanto à tipologia utilizada, textura e cor).

4.2.1.1 Fachadas Leste e Sul – geometria e materiais

Estas fachadas se encontram com a base, originalmente revestida em argamassa de pó de pedra, pintada com tinta na cor bege (segundo a administração do condomínio do prédio, como medida paliativa para melhorar sua aparência, tendo em vista sua maior proximidade com o pedestre) (Fig. 4.17 e 4.19). Também a platibanda do volume central (mais alto) da fachada Leste teve seu revestimento refeito em argamassa de cimento e areia (deixado sem pintura e com acabamento rugoso), quando da execução de reparos no revestimento das fachadas.

A fachada principal, orientada para Leste, foi concebida com uma simetria especular que enfatiza a grande porta de acesso ao edifício. Trata-se de fachada solucionada com planos não co-planares: possui um grande plano avançado no centro da composição e em toda a altura da fachada formando volume mais alto, que gera efeitos induzidos de abrigo, lavados diferenciados e efeitos derivados da aparição de diedros verticais com consequentes efeitos de aresta e de rincão. Também a fachada Sul possui em seu trecho mais alto um plano avançado,

não em toda a altura do volume, mas abrangendo os cinco primeiros pavimentos após a base pintada na cor bege, que gera efeitos similares aos observados na fachada Leste. O coroamento das fachadas se dá com término em platibanda ao mesmo nível do paramento geral do volume que forma. Contornando todo o perímetro das fachadas, ao longo de cada pavimento e logo abaixo das linhas de janelas, proporcionando uma marcação horizontal dos peitoris que se contrapõe à verticalidade do edifício, observam-se pequenas plataformas em continuidade aos planos inclinados dos peitoris das janelas.

Não se obteve memorial descritivo dos materiais utilizados na execução dos revestimentos das superfícies externas do edifício, mas por observação local, concluiu-se se tratar de argamassa de pó de pedra (também denominada argamassa de granito, reboco nobre, cirex, cimento penteado (no caso, de cor cinza)). As argamassas de pó de pedra são de composição bastante variada, mas incluem, geralmente, como agregado pó de granito (eventualmente o pó de mármore ou o de calcário duro). O aglomerante usual é o cimento branco, para a obtenção de massas coloridas, ou o cimento escuro em argamassas de cor cinza como a utilizada no revestimento do ed. Vera Cruz. Seu uso se restringe a rebocos e existem, basicamente, três tipos de acabamento: liso, áspero e com relevos. No tipo liso, acabamento do revestimento das superfícies externas do Ed. Vera Cruz, usa-se a mica fragmentada, agregado bastante utilizado para a obtenção de brilho característico. A argamassa é aplicada sobre um emboço grosso comum e, após, batida e alisada com desempenadeira. As argamassas de pó de pedra apresentam grande resistência à abrasão, ao choque e ao risco, mas possuem elevado coeficiente de dilatação, fissurando ao serem afetadas pelas variações de temperatura. Têm baixa permeabilidade e não precisam pintura; a cor já faz parte de sua constituição (Verçosa, s.d).

4.2.1.2 Análise da ocorrência da manifestação patológica e de suas prováveis causas

a) *Deposição e Adesão da sujeira* – O edifício encontra-se em zona de elevada contaminação. A deposição seca continuada de partículas de contaminação atmosférica, pó e, principalmente, fumaça preta transportada pelo vento (como pode ser visualizado nas fig. 4.25, 4.26, 4.27) e turbulências atmosféricas, é apoiada pelo alto conteúdo de umidade relativa do ar, característica do clima da cidade. Os principais mecanismos de adesão, provavelmente, são: tensão superficial ligada ao fenômeno de adsorção e gravitacional sobre os elementos que formam pequenas plataformas (planos inclinados e salientes dos peitoris das janelas que contornam as duas fachadas, a cada pavimento, e planos superiores do parapeito da sacada na fachada Sul e das platibandas de coroamento). Observa-se maior manchamento dos

pavimentos inferiores (Fig. 4.29), provavelmente devido à concentração mais importante dos poluentes nas camadas baixas da atmosfera e à restituição em suspensão, durante o dia, das partículas depositadas à noite sobre as calçadas. Também se observa maior concentração de partículas nas zonas de remanso do vento, ou seja, zonas reentrantes e protegidas, mais propícias à deposição de tipo inercial, de difícil penetração pelo vento e pela chuva de trajetória horizontal e rasante (Fig.4.30).



Figura 4.29 Fachada Leste – ed. Vera Cruz



Figura 4.30 Detalhe esquina - ed. Vera Cruz

A *fachada Sul*, onde se observa mais acentuado manchamento, está em situação de maior proximidade com os setores das duas avenidas (Borges de Medeiros e Senador Salgado

Filho) que ainda se configuram como vias de tráfego intenso. Nesta fachada percebe-se um incremento do manchamento, provavelmente devido a um acréscimo na deposição/adesão das partículas de contaminação, explicado por sua orientação (que não permite a incidência de radiação solar sobre suas superfícies) e abrigo por edifícios vizinhos, favorecendo uma baixa evaporação da umidade dos paramentos e condensação do vapor de água em suas superfícies, com conseqüente estímulo à adesão das partículas de sujeidade.

A *fachada Leste*, menos afetada pela manifestação da patologia, encontra-se voltada para a Avenida Borges de Medeiros em trecho fechado para o trânsito de veículos desde a década de 70, mas ainda muito próxima à zona de tráfego.

b) *Ação do vento e da água de chuva direta* – Nas duas fachadas percebe-se, pela ação do vento, do par chuva-vento e do depósito continuado das partículas de sujeidade, a formação da “parábola” de sujeidade/limpeza como resultado da ação do vento isolado e de várias chuvas, díspares quanto à quantidade de água aportada e à velocidade dos ventos acompanhantes. A “parábola” de sujeidade é resultado da maior exposição do topo e esquinas da fachada e do efeito de aresta (diedro vertical), como já visto nas Fig. 4.18 e 4.19.

Ambas as fachadas encontram-se, conforme se supôs (Fig 4.25, 4.26, 4.27), solicitadas à ação do vento e da água da chuva direta, considerando-se que a maior parte dos ventos, isolados ou portando chuva, em Porto Alegre, sopra do quadrante Sul – Leste. O vento, ao tentar escapar da superfície da fachada, tende a limpar o topo e sua esquina livre (tratam-se de fachadas com uma medianeira), desenhando a “parábola” de limpeza e sujeidade sobre suas superfícies. As turbulências dispersam os poluentes e a inclinação mais acentuada da chuva carrega uma quantidade de água suficiente para a lavagem destas partes das fachadas. O término em platibanda ao mesmo nível do paramento geral não exerce qualquer tipo de modificação sobre a água incidente nesse nível do coroamento da fachada. As pequenas plataformas formadas pelos planos inclinados dos peitoris das janelas (elementos salientes da face exposta que se prolongam contornando toda a fachada) também recebem maior quantidade de água de chuva direta. Percebe-se que essas plataformas são bastante profundas com relação ao paramento geral, recebendo expressiva quantidade de água de chuva, mas pouco salientes na zona de descarga da água da chuva sobre as superfícies dos parapeitos. As gotas de chuva, menos sujeitas à ação do vento, à medida que descendem em direção ao solo, têm uma trajetória que se aproxima cada vez mais da vertical, atingindo somente os elementos em saliência e reforçando a gradação do manchamento.

c) *Ação da água de chuva escorrida* – A porosidade do material de revestimento afeta a quantidade da água de escoamento pela absorção da água pelos materiais, intervindo no lavado direto pela água de escoamento e na redistribuição da sujeira. Os vertidos de água procedentes das plataformas horizontais, formadas a partir dos peitoris das janelas, batem os parapeitos sujos assim que as transpõem, lavando-os irregularmente com os característicos escoamentos com limites em “dentes de serra”, provavelmente acentuados pela porosidade e textura do revestimento das fachadas (Fig. 4.31). A textura lisa da superfície do revestimento, apesar de possibilitar menor deposição de sujidades com relação aos revestimentos de textura rugosa, é mais suscetível aos escoamentos preferentes e localizados.



Figura 4.31 Escorrimentos limpos com limites em “dentes de serra”

Esta imagem é bastante antiestética, pelo contraste provocado entre os lavados brancos irregulares de contornos muito sujos e os parapeitos sujos. A situação é, provavelmente, agravada no plano saliente da fachada por influência do vento, com as turbulências causadas

em seu escape lateral, que empurra a água contra o parapeito assim que esta transpõe o peitoril. Quando o vento é canalizado na Av. Borges de Medeiros e na Av. Senador Salgado Filho, conforme já visto na Fig. 4.27, provoca o açoite pela água de chuva direta do diedro que formam as fachadas e o consequente escoamento da água sob o efeito de aresta (Fig. 4.32 e 4.33); a trajetória da água deslizante pelo fio do diedro é interrompida continuamente, provocando o efeito de abrigo por saliente: o detalhe de canto (Fig. 4.30) abriga maior quantidade de sujeira conforme se aproxima dos pavimentos mais baixos.



Figura 4.32 Diedro côncavo



Figura 4.33 Diedro côncavo

d) *Percepção da sujeira* – A cor cinza claro do revestimento poderia levar a pensar que atuaria com um efeito de camuflagem da sujeira. Isso não ocorre devido à quantidade e ao tom muito escuro da contaminação. As fachadas do edifício não contêm nenhum elemento que possa ser identificado como elemento dissimulador da sujeira nas suas superfícies, mostrando-se bastante deteriorada visualmente.

4.2.2 Edifício Sulacap

De propriedade da “Sul América Capitalização”, o edifício Sulacap possui utilização mista com lojas no pavimento térreo e escritórios e apartamentos (estes ocupando o trecho de esquina com a Avenida Senador Salgado Filho, marcado por sacadas) nos pavimentos superiores. Situa-se à Avenida Borges de Medeiros, nº 446, e ocupa parte do quarteirão

formado por esta avenida e pela Rua dos Andradas e Avenida Senador Salgado Filho, parcela importante e destacada do centro de Porto Alegre.

Foi projetado, em 1938, pelo Arq. Arnaldo Gladosch (responsável também, no mesmo ano, por estudo para o Plano Diretor da cidade e autor dos projetos para os edifícios Mesbla, na rua Voluntários da Pátria, União e Sul América, fronteiros ao Sulacap) e construído pela mesma empresa construtora do edifício Vera Cruz (Azevedo Moura & Gertum) no período de 1943 a 1949 (Xavier e Mizoguchi, 1987; Weimer, 1998).

Segundo Weimer (1998, p.141),

Embora este prédio esteja significativamente ligado a preceitos formais classicizantes, sua monumentalidade e a imponência de suas massas estão diretamente vinculadas à linguagem que os modernistas do Rio de Janeiro estavam desenvolvendo sob o rótulo de “arquitetura moderna” e cujo produto mais festejado foi o Ministério da Educação e Saúde que, à época, estava sendo construído.

4.2.2.1 Fachadas Oeste, Norte e Sul – geometria e materiais

Ocupando terreno com testada de um lado inteiro de quadra, a edificação constitui-se por um grande bloco de dez pavimentos formado pelos setores B - com fachadas à Rua dos Andradas e Avenida Borges de Medeiros -, C - escritórios com frente à Avenida Borges de Medeiros – e D - residencial com fachadas à Avenida Borges de Medeiros e Senador Salgado Filho (Fig. 4.34).

Delimitado por um remate no coroamento superior (cimalha) e por duas molduras horizontais nas sobrelojas sobre a galeria no pavimento térreo, possui dois corpos escalonados em adição vertical (torre com cobertura piramidal no setor B e coroamento do setor residencial) e um corpo em adição horizontal (setor A com frente à Rua dos Andradas). O setor C (central) forma um plano recuado cujas aberturas, quadradas e distribuídas de forma regular, definem uma grande trama. O setor B, plano avançado que forma com a torre escalonada uma continuidade vertical, está da mesma forma caracterizado por uma trama em série de aberturas, parcelada a cada três pavimentos por um frisamento horizontal. O setor D (residencial), com planos avançados e fachadas idênticas, é marcado por uma grade saliente que compõe as sacadas dos apartamentos. O setor A, entendido como um prisma de base muito próxima a um quadrado recuado em relação à Av. Borges de Medeiros para formação de um terraço, é formado por planos de cinco pavimentos (fachadas à Rua dos Andradas e Avenida Borges de Medeiros), aberturas emolduradas regularmente distribuídas, remate

superior (cimalha) e pequena adição superior de um pavimento delimitada por frisamento duplo. A base do edifício é totalmente revestida em granito e a galeria sobre o passeio da Avenida Borges de Medeiros liga a Rua dos Andradas à Avenida Senador Salgado Filho.

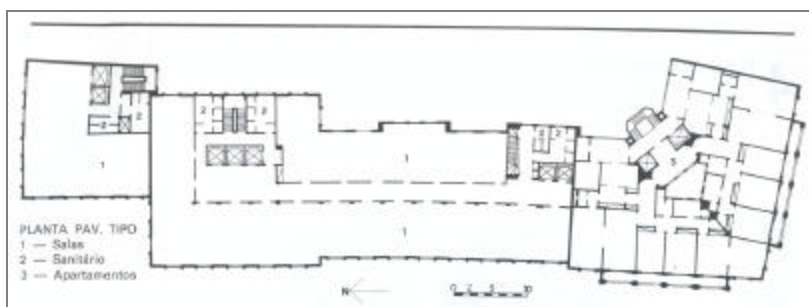
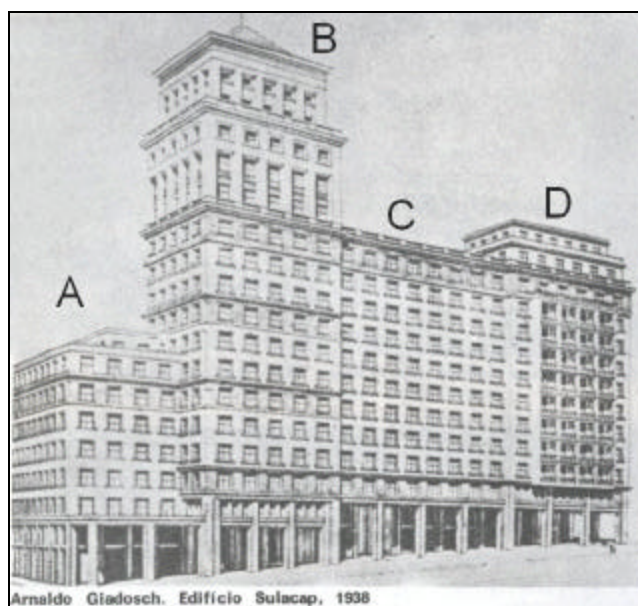


Figura 4.34 Ed. Sulacap (Xavier e Mizoguchi, 1987)

Concebido para integrar-se ao entorno construído, contempla volume de menor altura compatível com a Rua dos Andradas (mais antiga) e utiliza o gabarito de altura e alinhamento projetado para a Avenida Senador Salgado Filho, que havia sido recentemente aberta.

Recebido, na época de sua construção, com grande reserva pelos arquitetos da cidade, que condenavam a presença do ornato e de elementos de composição de “gosto duvidoso” (Xavier e Mizoguchi, 1987), o prédio apresenta muito boa conservação, para o que contribui a solidez de seu acabamento e em especial seu esmerado detalhamento. Em suas fachadas, faz uso de ornamento clássico: cimalhas ao longo das fachadas e molduras nas janelas (Fig. 4.35).



Figura 4.35 Parte da fachada Sul do ed. Sulacap (mais acentuado manchamento)

O revestimento externo de suas fachadas é feito com placas de arenito, de textura lisa, nas cores ocre e bege, estando a mais escura associada aos elementos salientes das fachadas, mais expostos à deposição de poluentes e à ação direta da água da chuva. O grés ou arenito, segundo classificação combinada entre a classificação geológica e a tecnológica, é uma rocha silicosa sedimentar constituída por grãos de sílica ou quartzo, ligados por cimento silicoso, argiloso ou calcário. Sua durabilidade depende não só da natureza dos grãos de sílica como principalmente do material cimentante (Petrucci, 1995). Torraca (1986) observa que o grés, juntamente com o calcário, apresenta o mais alto grau de porosidade aberta entre as pedras de construção. Apesar de bom condutor da umidade por sua baixa densidade, apresenta um bom comportamento frente às sujidades (Vallejo, 1990a).

4.2.2.2 Análise da ocorrência da manifestação patológica e de suas prováveis causas

a) *Deposição e Adesão da sujidade* - O edifício encontra-se em zona de elevada contaminação. A deposição seca continuada de partículas de pó atmosférico e, principalmente, de fumaça preta, por difusão turbulenta, é apoiada pelo alto conteúdo de umidade relativa do ar (característica do clima da cidade). O principal mecanismo de adesão provavelmente é o de tensão superficial ligado ao fenômeno de adsorção e o gravitacional sobre os elementos que formam várias espécies de plataformas: - molduras horizontais e planos inclinados sobre peitoris das janelas, frisos horizontais, cimalhas, proteção superior

dos parapeitos das sacadas, entre outros. Observa-se tendência de maior manchamento nos pavimentos inferiores, provavelmente devido à concentração mais importante dos poluentes nas camadas baixas da atmosfera e à restituição em suspensão, durante o dia, das partículas depositadas à noite sobre as calçadas.

A *fachada Sul*, onde se observa mais acentuado manchamento, volta-se para a Av. Senador Salgado Filho, via de tráfego intenso (Fig 4.35). O incremento da deposição das partículas de contaminação nesta fachada pode ser explicado por não receber incidência direta de radiação solar, decorrente de sua orientação e abrigo por edifícios vizinhos, o que favorece uma baixa evaporação da umidade dos paramentos e condensação do vapor de água em suas superfícies, com conseqüente estímulo à adesão das partículas de sujeira. Percebe-se, sobre as superfícies de elementos acumuladores de umidade (mais expostos à ação da água da chuva), a presença de microorganismos (Fig. 4.36).



Figura 4.36 Detalhe da fachada Sul do ed. Sulacap (presença de microorganismos)

A *fachada Oeste*, menos afetada pela manifestação da patologia, principalmente nos trechos mais ensolarados, encontra-se voltada para a Avenida Borges de Medeiros em trecho fechado para o trânsito de veículos desde a década de 70, mas ainda muito próxima à zona de tráfego (Fig. 4.37).



Figura 4.37 Detalhe da fachada oeste do ed. Sulacap

b) *Ação do vento e da água de chuva direta* – Conforme pode ser visualizado nas Fig. 4.25, 4.26, 4.27, a dificuldade de acesso de vento de direção perpendicular aos paramentos das fachadas, devido às suas orientações e ao efeito de abrigo produzido pelas edificações vizinhas enfrentadas, conduz a uma uniformidade da deposição da sujidade e à escassez de lavado por impacto direto da água ou por abrasão em seco. A ação do lavado e o aporte de água por impacto direto na zona do coroamento da fachada são controlados pela presença de elementos horizontais salientes e beiral (no bloco torre) junto às coberturas, amenizando o molhado direto (dependendo da inclinação da trajetória de queda das gotas) em uma parte importante dos paramentos superiores. Esta possibilidade de controle é eficaz por se encontrarem as fachadas abrigadas por edificações interpostas no escoamento normal do ar. Esses elementos horizontais, distribuídos ao longo das fachadas, quanto mais no alto do edifício estão colocados, provavelmente cumprem função utilitária e estética de proteger as paredes da ação direta das águas pluviais e servir-lhes de remate (Fig. 4.38).

c) *Ação da água de chuva escorrida* – Trata-se da maior ação provável de manchamento sobre as fachadas deste edifício. Percebe-se, no entanto, que seu projeto proporciona-lhe capacidade de controle sobre esta ação.

A porosidade do material de revestimento influi na quantidade da água de escoamento pela absorção da água pelos materiais. Nos diversos tipos de plataformas horizontais

(molduras, frisos horizontais, cimalthas, entre outros) percebe-se alguns poucos escorridos sujos, camuflados pela cor mais escura da pedra em relação com o paramento base. O desenho adequado dessas plataformas, provavelmente, possibilita o descolamento da água escorrida dos paramentos das fachadas, diminuindo sua quantidade (Fig. 4.39).

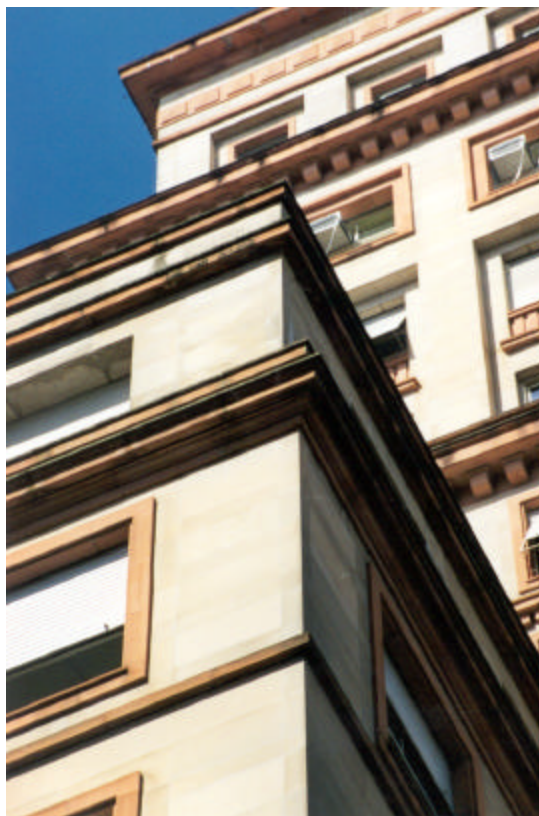


Figura 4.38 Elementos horizontais salientes e beiral - ed. Sulacap



Fig. 4.39 Plataformas horizontais que possibilitam o descolamento da água escorrida - ed. Sulacap

As juntas do revestimento de placas de pedra favorecem o efeito de camuflagem e o lavado uniforme pela água escorrida. Sua influência é determinante pelo pequeno tamanho das peças, comparativamente à escala do paramento, e o tamanho das juntas, que atuam como micro-canalizações da água em duas direções (com um efeito de trama), facilitando o mascaramento. Essas juntas entre as peças servem, portanto, para o controle da trajetória de água escorrida com uma melhor distribuição da água; constituem uma estrutura de relevos muito uniforme e rugosa. Percebe-se, nas zonas menos expostas à ação do vento e da radiação solar, uma maior marcação das juntas, resultado da condução dos contaminantes pela água direta e escorrida e maior absorção pelos paramentos (Fig. 4.40).



Figura 4.40 Maior marcação das juntas do revestimento – ed. Sulacap



Figura 4.41 Aberturas distribuídas de forma regular – ed. Sulacap

Nas *fachadas Oeste e Norte*, nos trechos de uso comercial, as aberturas aproximadamente quadradas distribuem-se regularmente, segundo a ordem gerada pela distribuição da planta-baixa, com uma imagem de alternância de maciços e vãos sensivelmente uniforme. Esse arranjo gera dois tipos de superfícies co-planares: panos verticais contínuos e planos verticais que incluem as janelas, caracterizados pela alternância em vertical de vão e maciço, ou conjunto contínuo de peitoril, parapeito, moldura superior da janela inferior e plano da abertura. A deposição será homogênea sobre todo o plano-base da fachada, mas variará sobre os elementos salientes, que implicam uma inclinação com relação a dito plano e, por conseguinte, diferentes condições de exposição.

A formação de lâmina de água deslizante estará potencializada ao longo dos panos verticais contínuos, enquanto que os panos com janelas terão mais dificuldade para sua geração, já que o escoamento será interrompido periodicamente pelos elementos salientes que formam as molduras horizontais das janelas (Fig. 4.41 e 4.42).



Figura 4.42 Distribuição regular das janelas emolduradas – ed. Sulacap

Na *fachada Sul* percebe-se o efeito de abrigo proporcionado pelos elementos em saliência na fachada aos planos inferiores, com muito destaque para os peitoris de janelas aos paramentos situados logo abaixo (parapeito). Existe forte contraste entre estas regiões protegidas e as superfícies próximas da esquina do prédio, que são mais expostas às ações da água da chuva direta e da escorrída (efeito de aresta). É possível, também, a visualização dos “caminhos preferenciais” da água de escoamento pelos diedros verticais, arestas marcadas pela concentração de umidade e posterior fixação da sujeira. Nos quadros das sacadas (nichos) os elementos verticais revelam a trajetória da água escorrída (procurando as arestas dos elementos), fixando maior sujeira nas bordas dos escoamentos (Fig. 4.43).

d) *Percepção da sujeira* – O uso do revestimento em granito na base do prédio (onde se encontram os níveis mais elevados de contaminação), menos sensível (maior densidade) ao manchamento, também proporciona uma menor percepção da sujeira acumulada por sua cor e textura propícias. Percebe-se controle da aparência não somente pelo revestimento (já comentado com relação ao arenito, em duas cores e em placas formando trama), mas também pelos componentes ornamentais e de proteção. Os frisos, com suficiente balanço e altura (com soluções que levam em conta os vertidos e previnem escoamentos), em cadência, principalmente em alguns trechos das fachadas, marcam linhas corridas nas fachadas. Estas geram faixas adjacentes de sombra, com um efeito global que tende a ser percebido de modo a destacar essas linhas e faixas e, pelo contrário, “diluir” a importância dos planos e com ela a

da pátina de sujidade. A estrutura em grade do volume das sacadas (efeito similar ocorre com relação à existência das “almofadas” dos parapeitos das sacadas), no trecho residencial do edifício, cria uma grande textura, com jogo de luz e sombra, que mascara, em parte, a percepção dos lavados irregulares e o maior manchamento dessas superfícies (Fig. 4.44).



Figura 4.43 Proteção dos parapeitos
– efeito de abrigo – ed. Sulacap



Figura 4.44 Estrutura em grade do volume das
sacadas – ed. Sulacap

5 CONCLUSÕES

A análise da interação que se estabelece entre as características ambientais do entorno imediato aos edifícios analisados e as características morfológicas de suas fachadas (geometria, textura e cor dos materiais de revestimento), na geração das manchas por acumulação de partículas contaminantes sobre suas superfícies, permitiu a constatação de que estas (as manchas) manifestam-se conforme sua previsão embasada em revisão teórica e sistematização do conhecimento sobre o fenômeno. Esta constatação baseou-se em algumas considerações julgadas importantes:

- A inserção dos exemplares em área de elevada contaminação por fumaça preta no ar permitiu uma inequívoca identificação da tipologia da manifestação patológica de manchamento de fachadas por partículas de contaminação atmosférica, principalmente nas superfícies externas do ed. Vera Cruz. As “marcas” deixadas pelas sujidades depositadas em suas superfícies e redistribuídas pela ação dos agentes climáticos dão visibilidade aos manchamentos–padrão do fenômeno, tais como “parábolas” de sujidade/limpeza, escorrimentos limpos com bordas em “dentes de serra” sobre parapeitos muito sujos, maior manchamento nos níveis mais baixos das fachadas, efeito de aresta colaborando com a maior limpeza das esquinas, entre outros. As fachadas se mostram como “mata-borrões” ou com “mapas” desenhados em suas superfícies revelando a ação do par vento-chuva sobre a pátina acumulada de sujidade. A antiguidade dos edifícios e o fato de não terem sofrido ações sistemáticas de manutenção/limpeza em suas superfícies externas reforça os argumentos expostos. Também a presença de materiais porosos como revestimentos das fachadas dos dois edifícios, mais suscetíveis à manifestação da patologia, colaborou no possível agravamento das manifestações e, conseqüentemente, na sua identificação e análise.

- A importância da análise das condições locais na avaliação da influência dos agentes climáticos na manifestação da patologia. Apesar dos edifícios estarem situados muito próximos, frente a frente em um cruzamento de rua e avenidas, constatou-se que suas situações particulares conduziram a diferentes exposições de suas fachadas aos agentes climáticos envolvidos no processo da manifestação da patologia, de vital importância na determinação de suas respostas ao manchamento e à eliminação das partículas depositadas. O tecido urbano denso e consolidado, dentro do qual se encontram os exemplares, gera efeitos de abrigo pelos edifícios próximos, caracterizando situação na qual a ação dos agentes climáticos observados e envolvidos (vento, em seco e conduzindo chuva, e radiação solar

direta sobre as superfícies das fachadas) no processo de manchamento das fachadas se encontra bastante particularizada.

- *As suposições estabelecidas para a ação do vento sobre as fachadas, atuando como condutor da contaminação e agente de limpeza (isoladamente ou em associação com a chuva), confirmaram-se.* Os padrões de manchamento apresentados pelas fachadas do edifício Vera Cruz, com fachadas em sobrepressão quando da canalização do escoamento do vento nas duas avenidas, revelam os seus efeitos. O edifício Sulacap, cujas fachadas encontram-se em sucção na maior parte das solicitações do vento, revela a ação, principalmente, da chuva de escorrimento, bastante controlada pelos elementos participantes de sua forma.

- Com relação a este aspecto, ou seja, *quanto à morfologia das fachadas frente à existente diferenciação de exposições aos agentes climáticos*, constata-se que o edifício Vera Cruz apresenta-se com soluções formais bastante similares nas duas fachadas analisadas, revelando o fato através de suas próprias faces deterioradas visualmente e em níveis diferentes (tanto nas diferentes fachadas quanto dentro de cada uma); também é possível constatar-se que o desenho das estreitas plataformas horizontais que circundam suas fachadas é inadequado, merecendo uma maior investigação. Quanto ao edifício Sulacap, este possui diferentes soluções formais no arranjo das partes das fachadas, possibilitando uma maior adequação da morfologia às diferentes solicitações. Alguns exemplos: macro-textura proporcionada pelos volumes das sacadas, camuflando a percepção da sujidade nas situações de maior agravamento da manifestação patológica (fachada Sul e parte da fachada Oeste, mais úmidas porque menos ensolaradas); profusão de frisos horizontais que descolam a água da chuva dos planos das fachadas, principalmente nas zonas de maior solicitação à chuva incidente – caso dos níveis mais elevados -, diminuindo o volume de água escorrida sobre suas superfícies; estas, por sua vez, encontram-se bastante protegidas desta ação por elementos similares – a presença de frisos nos pavimentos mais distantes do coroamento e molduras das janelas.

- *Com relação aos materiais de revestimento que compõem as fachadas e atendo-se à observação visual restrita de suas características de cor e textura, constata-se uma correspondência de seus comportamentos com os esperados.* O melhor comportamento do revestimento das fachadas do edifício Sulacap frente ao fenômeno patológico em estudo, conforme já analisado, acredita-se se dever à adequação da diferença de cor do revestimento às diferentes solicitações dos elementos das fachadas aos depósitos das sujidades (ação da força da gravidade, em algumas situações, associada à difusão turbulenta) e à ação da água da

chuva em suas diferentes formas de ação (chuva direta e chuva escorrida). A textura da superfície, obtida através da associação de placas de pedra, no revestimento externo do edifício Sulacap, atuou distribuindo (ou conduzindo) a água da chuva e com ela a sujeira sobre os planos mais extensos e mais homoganeamente afetados. Em contrapartida, a superfície lisa do revestimento em argamassa das fachadas do edifício Vera Cruz colaborou para o surgimento dos caminhos preferentes da água de escoamento e para a formação dos escorridos “limpos” com bordas denteadas marcadas pela sujeira (bastante perceptível pelo contraste de cor entre a contaminação e o suporte). Com relação à característica comum de porosidade, resta observar que, apesar de não ser possível sua comparação sem uma aferição dos valores para cada material empregado, a baixa permeabilidade das argamassas de pó de pedra, comparativamente ao comportamento das argamassas de cimento de um modo geral, não significa um melhor desempenho deste material frente às sujidades se o compararmos com o arenito utilizado no edifício Sulacap. Este último, apesar de apresentar, junto com o calcário, o mais alto grau de porosidade aberta entre as pedras de construção, tem seu comportamento observado como bastante adequado frente à agressão dos agentes atmosféricos envolvidos na manifestação patológica de manchamento por contaminação. Estas correlações merecem um estudo mais aprofundado, mas não interferem ou invalidam as observações feitas até o momento sobre o comportamento das superfícies das fachadas dos dois edifícios.

- Outro aspecto importante a considerar diz respeito à *ausência dos serviços de manutenção nas fachadas dos edifícios observados por, no mínimo, cinquenta anos ao longo de suas vidas*. O edifício Vera Cruz teve suas fachadas lavadas pela primeira vez após cerca de 50 anos de vida, resultando não satisfatória a operação por não ter eliminado as manchas já bastante impregnadas no revestimento externo, e o edifício Sulacap não sofreu nenhum tipo de descontaminação ou limpeza de suas superfícies externas até o presente momento. O fato contribuiu para “exagerar” ou acentuar os fenômenos observados na análise da manifestação patológica, servindo para um melhor entendimento dos mecanismos e fatores envolvidos e à comparação entre os desempenhos dos exemplares analisados, mas se contrapõe ao reconhecimento da necessidade e importância da manutenção periódica das superfícies externas dos edifícios na conservação de sua aparência, tendo em vista, principalmente, a inserção de exemplares em sítios com elevados índices de poluição.

Pôde-se concluir, portanto, levando em consideração as limitações do trabalho e baseando-se nos resultados obtidos no estudo de caso, que este trabalho cumpre os seus

objetivos. Verifica-se a interação existente entre os agentes ambientais envolvidos no processo de manchamento das fachadas dos edifícios por partículas de contaminação atmosférica e as características formais (geometria e materiais) dos edifícios em questão, possíveis de serem observadas visualmente.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Objetivando a obtenção de informações mais conclusivas sobre este tipo de manifestação patológica, possibilitando recomendações para projeto, sugere-se a realização de trabalhos sistemáticos de observação e análise de modelos reais com acompanhamento de subsequente aferição das variáveis observadas. Esta aferição deverá incluir medições: - das *características dos materiais de porosidade e textura, entre outras presentes no processo*; - dos *elementos componentes da geometria das fachadas* para melhor correlacioná-los (como, por exemplo, dimensionamento de plataformas e respectivos sistemas de descolamento das águas de suas superfícies; de planos e defasagens de planos, entre outros); - da *ação dos agentes ambientais* na manifestação da patologia, com a sugestão da realização de ensaios em modelos reduzidos de edificações colocados em túnel de vento de camada limite, simulando, também em escala, as características da chuva incidente; e - da *verificação do conteúdo da contaminação (com amostras colhidas sobre as próprias superfícies) e da umidade* presentes nas superfícies dos materiais de revestimento das fachadas, entre outras ações.

Faz-se, também, sugestão para a elaboração de estudos de sistematização das recomendações já feitas para projeto, resultantes de trabalhos de observação do patrimônio edificado degradado. Esses estudos deverão considerar as condições ambientais e climáticas e características da arquitetura da cidade de Porto Alegre, e visar o projeto de edifícios que possam envelhecer graciosamente sem manutenção dispendiosa, ou seja, cujas fachadas acumulem a menor quantidade possível de sujeira da melhor forma distribuída para que mantenham suas aparências uniformes e próximas a que possuíam quando recém construídas, durante um período razoável de tempo.

Julga-se importante o desenvolvimento de estudos relativos aos tratamentos necessários de manutenção e limpeza nesse tipo de manifestação patológica observado e abordando os diferentes tipos de materiais de revestimento utilizados nas fachadas dos edifícios.

Considerando-se que a manifestação patológica estudada está muito relacionada com o controle da migração da água da chuva sobre as superfícies das fachadas e que sua imagem

revela-se como os rastros dos caminhos das águas ou do comportamento de seu escoamento sobre as superfícies da fachada, seu conhecimento, quanto mais aprofundado, conduzirá a uma maior possibilidade de controle sobre esse (água da chuva) agente, presente em praticamente todos os processos patológicos ocorridos nas fachadas das edificações.

As críticas ou argumentos, levantados por alguns autores pesquisados, referentes à supressão de detalhes de proteção das superfícies das fachadas modernas, com relação a sua existência na arquitetura clássica, e a relação com o seu envelhecimento mais acelerado também merecem pesquisa ou investigação mais aprofundada para fundamentá-los.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALUCCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. Bolor em edifícios: causas e recomendações. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: PINI/IPT, 1988. p. 565-570.

AROZTEGUI, J. M. **Parâmetros do conforto térmico de Porto Alegre**. Porto Alegre: NORIE/UFRGS, 1977.

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

ATKINSON, G. A. External vertical surfaces of buildings: aspects of design and appearance. In: SYMPOSIUM ON EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1977, Otaniemi, Espoo, Finland. **Proceedings ...** Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1977. 3v. v.1, p. 19-25.

BAKER, M. C. Rain deposit, water migration and dirt marking of buildings. In: SYMPOSIUM ON EVALUATION OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1977, Otaniemi, Espoo, Finland. **Proceedings ...** Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1977. 3v. v.1, p. 57-66.

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

BAUER, R. J. F. Patologias em revestimentos de argamassa inorgânica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais ...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 321-333.

BEIJER, O. Concrete walls and weathering. In: SYMPOSIUM ON EVALUATION OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1977, Otaniemi, Espoo, Finland. **Proceedings ...** Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1977. 3v. v.1, p. 67-76.

BLESSMANN, J. **O vento na engenharia estrutural**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995.

BLESSMANN, J. **Ação do vento em edifícios**. 2. ed. rev. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1989.

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

CARRIÉ, C.; MOREL, D.; BRIGNOL, R. Performances des parements et revêtements de facade vis-à-vis de l'encrassement. In: SYMPOSIUM ON EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1977, Otaniemi, Espoo, Finland. **Proceedings ...** Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1977. 3v. v.1, p. 97-109.

CARRIÓ, J. M. Arquitetura, arte funcional. **Informes de la Construcción**, Madrid, Instituto Eduardo Torroja, v. 37, n.374, p. 5-16, 1985.

CARRIÓ, J. M. Errores sistemáticos en el diseño constructivo de fachadas. **Informes de la Construcción**, Madrid, Instituto Eduardo Torroja, v. 42, n.407, p.53-72, 1990.

CARRIÓ, J. M. Chequeo constructivo de fachadas de Madrid/España. II. **Informes de la Construcción**, Madrid, Instituto Eduardo Torroja, v. 43, n.418, p.35-52, 1992.

COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. **Guía de Diseño. Durabilidad de Estructuras de Hormigón**; Recomendaciones y Manuales Técnicos Estructuras y Edificación. 2. ed. Madrid: Ed. GEHO – CEB, Grupo Español del Hormigón, 1996. (Boletín, 12).

COOK, N. J. **The designer's guide to wind loading of building structures**; Part 1. Londres: Butterworths, 1985.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. Portugal: LNEC, 1988. v. 1 e 2.

CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: PINI/IPT, 1988. p. 549-554.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado**; análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988. 168 p. Dissertação de Mestrado (Construção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DEVITOFRANCESCO, G.; CONTE, C.; PETRONIO, B. M. Deterioration of structure surfaces caused by particulate matter. **Durability of Building Materials**, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., v.4, n.4, p.301-308, 1987.

DORFMAN, G.; PETRUCCI, H. M. C. Recomendações para o projeto de fachadas com vistas à sua maior durabilidade e facilidade de manutenção. In: SIMPÓSIO SOBRE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES. PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO, 1989, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: UFRGS, 1989.

ELDER, A. J.; VANDENBERG, M. **Construcción**; Manuales AJ. Madrid: H. Blume Ediciones, 1977.

EL-SHIMI, M.; WHITE, R.; FAZIO, P. Influence of façade geometry on weathering. **Can. J. Civ. Eng.**, Canada, v.7, p.597-613, 1980.

ESTOUP, J. M. Salissures et nettoyage des façades d'immeubles. **CSTB magazine**, n.109, p.39-41, 1997.

FASSINA, V. Environmental pollution in relation to stone decay. **Durability of Building Materials**, Amsterdam, Elsevier, v.5, n.3-4, p.317-358, 1988.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL/RS - FEPAM. **Monitoramento preliminar da qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre, 1992. (não publicado).

GANDEMER, J. Wind environment around buildings; aerodynamic concepts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 4, 1975, Heathrow. **Proceedings ...** Heathrow: Keith J. Eaton, 1975.

GRATWICK, R. T. **L'humidité dans le bâtiment**; causes et remèdes. Paris: Eyrolles, 1979.

HASENACK, H.; FERRARO, L.W. Clima urbano: ilhas de calor e ventos fortes na selva de pedra. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L.A.D.; PORTO, M.L.; CARRARO, C.C. (Coord.). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 147-148.

HASENACK, H.; ROCHA, G. L. da; FERRARO, L.W. Mapa do clima urbano. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L.A.D.; PORTO, M.L.; CARRARO, C.C. (Coord.). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 149–150.

HEINECK, L. F.; PETRUCCI, H. M. C. Influência do projeto arquitetônico na manutenção e durabilidade dos edifícios. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2, 1989, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 1989. p. 78–103.

HELENE, P. Durabilidade, palavra fora de repertório. **Sistemas Construtivos**, São Paulo, PINI, edição extra, p. 34-36, 1989.

HICKEL, H. T.; ALBANO, M. T. F.; PAVLICK, I. M. B.; BETTIOL, D. A organização urbana. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L.A.D.; PORTO, M.L.; CARRARO, C.C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 107–118.

ILLSTON, J. M. **Construction materials – their nature and behaviour**. London: E. & F. N. Spon, 1994.

JACKSON, N.; DHIR, R.K. **Civil engineering materials**. London: Mac Millan Press, 1988.

LACY, R. E. **Climate and building in Britan**. Garston, Building Research Establishment, 1977. (Report ...).

LIMA, C. B. DA S.; LEVI, F. P.; MURILLO, R. M. R. et al. Emissões atmosféricas; impacto na qualidade do ar. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L. A. D.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 163.

LIVI, F. P. Elementos do clima; o contraste de tempos frios e quentes. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L.A.D.; PORTO, M.L.; CARRARO, C.C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 73–78.

LIVI, F. P.; LIMA, C. B. da S.; MURILLO, R. M. R. Mapa de potencial de poluição atmosférica por emissões veiculares. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L. A. D.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 168.

LOREDO-SOUZA, A. M.; CAMANO SCHETTINI, E. B. **Estudo em túnel de vento das condições de conforto e segurança de pedestres para o Brascan Century Plaza**. Porto Alegre: Laboratório de Aerodinâmica das Construções. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. Relatório Técnico.

MAC DONALD, A. J. **Wind loading on buildings**. London: Applied Sciences Publishers, 1975.

MARSH, P. **Air and rain penetration of buildings**. London: The Construction Press, 1977.

MASCARÓ, Lucia Elvira A. R. de (Coord.). **Estudo da influência do adensamento da cidade de Porto Alegre na ventilação urbana**. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Arquitetura, Propar, 1996a. 78p. (Relatório final).

MASCARÓ, L. E. A. R. de. **Ambiência urbana**; urban environment. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1996b.

MEERT, E.; ACKERE, G. V. Vent et pluie en façade; essais et execution des chassis. **CSTC Revue**, Bruxelles, n. 4, p. 27-50, 1976.

MENEGAT, R.; FERNANDES, L. A. D.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. 236p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994.

MONTENEGRO, G. A. **A perspectiva dos profissionais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1983.

MORENO, A. O.; SESEÑA, R. R.; VELASCO, S. R.; SANCHEZ, F. R.; MARTINEZ, A. **Mantenimiento de los edificios**. Madrid: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Tecnicos de Madrid, s.d. 95p.

MORENO-NAVARRO, J. L. G. **El legado oculto de Vitruvio**. Madrid: Alianza Editorial, 1993.

MOSTAFAVI, M.; LEATHERBARROW, D. **On weathering**; the life of buidings in time. Massachusetts: MIT Press, 1993.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

NEWMAN, A.J. Microclimate and its effects on durability. **Chemistry & Industry**, London, Society of Chemical Industry, n. 17, p.583-593, 1987.

ORDAZ, J.; ESBERT, R. M. Glosario de términos relacionados com el deterioro de las piedras de construcción. **Materiales de Construcción**, Madrid: Instituto Eduardo Torroja, v.38, n.209, p.39-44, 1988.

PARICIO, I. **Vocabulário de arquitetura y construcción**. Barcelona: Bisagra, 1999.

PENWARDEN, A D.; WISE, A. F. E. **Wind environment around buildings**. Building Research Establishment – BRE, 1975.

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. **Tecnologia de edificações**. S. Paulo: PINI/IPT, 1988. p. 571-578.

PERRICHET, A. Développement de microorganismes à la surface des bétons et enduits. **Matériaux et Constructions**, v.17, n.98, p.173-177, 1984.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 10.ed. São Paulo: Editora Globo, 1995.

PETRUCCI, H. M. C.; DAL MOLIN, D. C. C. et al. Procedimento para levantamento de manifestações patológicas em revestimentos externos em argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais ...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p. 334-343.

PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE - PCI. **Fachadas prefabricadas de hormigón**. Madrid: Hermann Blume Ediciones, 1973.

PRIOR, M. J. Improved (direcional) driving rain indices for the United Kingdom; Computation, Mapping and Applications. In: SYMPOSIUM ON BUILDING CLIMATOLOGY, 1982, Moscow. **Proceedings ...** Moscow: CIB, 1982.

QUEWET, Ch. Conception des seuils de fenêtre. **C.S.T.C.-Revue**, Bruxelles, n.4, p.37-38, 1980.

RICHARDSON, B. A. **Defects and deterioration in buildings**. London: E. & F. N. Spon, 1991.

ROBINSON, G.; BAKER, M. C. **Wind-driven rain and buildings**. Ottawa: National Research Council Canada, Division of Building Research, 1975. (Technical Paper, 445).

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – SMAM. **Boletim interno: contaminação atmosférica.** Porto Alegre, 2000. (não publicado).

SEELEY, I. H. **Building Maintenance.** 2.ed. London: The Mac Millan Press, 1994.

SELMO, S. M. de S. Prevenção de patologia em revestimentos externos de argamassa dos edifícios; a importância dos serviços de manutenção. In: SIMPÓSIO SOBRE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES. PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO, 1989, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: UFRGS, 1989. p.195-212.

SHIRAKAWA, M. A.; CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P.; GAMBALE, W. Atividade da água e biodeterioração de argamassas por fungos filamentosos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais ...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 373-384.

SILVA, A. C. S. B.; GIRALT, R. P. Estabelecimento de um índice de chuva dirigida para Porto Alegre. In: ENTAC 95 QUALIDADE E TECNOLOGIA NA HABITAÇÃO, 1995, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: ANTAC/UFRJ, 1995. 2v. v.2, p. 605-610.

SOUZA, C. F. de. Evolução urbana: dos arraiais à metrópole. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L. A. D.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre.** Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 99–106.

SOUZA, G. Eflorescências nas argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais ...** Salvador: ANTAC, 1997. p. 344-356

SURRY, D.; INCULET, D. R.; SKERLJ, P. F.; LIN J-X.; DAVENPORT, A. G. Wind, rain and the building envelope: a status report of ongoing research at the University of Western Ontario. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Elsevier, v.53, p. 19-36, 1994.

SYMPOSIUM ON EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1977, Otaniemi, Espoo, Finland. **Proceedings ...** Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1977. 3v.

TEDESCHI, Enrico. **Teoria de la arquitectura.** Buenos Aires: Nueva Vision, 1976. 284p.

TEMPLO poluído: todo o mármore de Atenas pode virar gesso. **Revista Veja**, São Paulo, Editora Abril, p. 64, set. 1981.

THEISING, E. M. Survey of 62-SCF committee. **Matériaux et Constructions**, v.17, n.98, p.167-172, 1984.

TORRACA, G. **Materiaux de construction poreux**; science des matériaux pour la conservation architecturale. Rome: ICCROM, 1986.

TORRACA, G. Air pollution and the conservation of building materials. **Durability of Building Materials**, Amsterdam: Elsevier, v.5, n.3-4, p.383-392, 1988.

UBER, L. L. **A climatologia aplicada ao ambiente construído**: uma contribuição à caracterização climática de Porto Alegre/RS. Porto Alegre, 1992. 131p. Dissertação de Mestrado (Construção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescências. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: PINI/IPT, 1988. p. 561-564.

VALLEJO, F. J. L. **Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica**; análisis y prevención. Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990a.

VALLEJO, F. J. L. Ensuciamiento de fachadas pétreas por la contaminación atmosférica. El caso de la ciudad de Valladolid, España. **Informes de la Construcción**, Madrid, Instituto Eduardo Torroja, v.41, n.405, p. 45-72, 1990b.

VERÇOZA, E. **Argamassas**. Porto Alegre, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de Porto Alegre, s.d. [Apostila Disciplina: Materiais e Técnicas de Construção IV].

VERHOEF, L. G. W. **Soiling and cleaning of building façades**; report of the Technical Committee 62 SCF-RILEM. London: Ed. L. G. W. Verhoef, Chapman & Hall, 1988.

WEIMER, G. **Arquitetura modernista em Porto Alegre entre 1930 e 1945**. Porto Alegre: Unidade Editorial/Porto Alegre, 1998.

XAVIER, A.; MIZOGUCHI, I. **Arquitetura moderna em Porto Alegre**. São Paulo: PINI, 1987.