

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA,
MECÂNICA DAS ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**INFLUÊNCIA DA CHUVA DIRIGIDA E DOS
DETALHES ARQUITETÔNICOS NA
DURABILIDADE DE REVESTIMENTOS DE
FACHADA**

CARLOS MARIANO MELO JÚNIOR

GOIÂNIA
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CARLOS MARIANO MELO JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DA CHUVA DIRIGIDA E DOS
DETALHES ARQUITETÔNICOS NA
DURABILIDADE DE REVESTIMENTOS DE
FACHADA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Helena Carasek

GOIÂNIA
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

Melo Júnior, Carlos Mariano
M528i Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos
na durabilidade de revestimentos de fachada / Carlos
Mariano Melo Júnior. - 2010.
204 f. : il.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Helena Carasek.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás,
Escola de Engenharia Civil, 2010.

Bibliografia

Inclui listas de figuras, tabelas, abreviaturas e siglas.

1. Durabilidade 2. Fachada 3. Chuva dirigida 4. Infiltração
5. Manchamento.

CDU: 72.02

Autorizamos a reprodução total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa.

Goiânia, _____/_____/_____

Assinatura:

CARLOS MARIANO MELO JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DA CHUVA DIRIGIDA E DOS DETALHES
ARQUITETÔNICOS NA DURABILIDADE DE REVESTIMENTOS DE
FACHADA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre.

Prof.^a. Dr.^a. Helena Carasek
Universidade Federal de Goiás

(Orientadora)

Prof.^a. Dr.^a. Maria Carolina Brandstetter
Universidade Federal de Goiás

(Membro interno)

Prof. Dr. Elton Bauer
Universidade de Brasília

(Membro externo)

Aprovado em ____/____/____.

*Ao nosso Deus.
À minha mãe, meu pai e meu irmão.
A toda minha família e amigos.*

AGRADECIMENTOS

À professora Helena Carasek, que proporcionou a oportunidade de ampliar meus conhecimentos, apoiando e incentivando com carinho e paciência no desenvolvimento desta dissertação.

Ao Pró-Engenharias - CONSITRA e a CAPES, entidades financiadoras, pela oportunidade de aprimoramento acadêmico concedida.

Aos professores do GECON e da Escola de Engenharia da UFG, pelo conhecimento transmitido e experiências compartilhadas.

Aos funcionários da UFG pela disposição e atenção na prestação dos seus serviços.

Aos meus colegas de curso pelo companheirismo. Em especial a Leiliane, Moema, Marco Antônio, Thiago e Juliana, amigos acima de tudo.

À amiga Regina Sartori e a professora Juliana Nery, pela disposição na elaboração das cartas de recomendação e pelo incentivo à renovação do saber.

Aos pesquisadores Michele Giongo e Fabiano Morelli, pelas orientações para compreensão de aspectos referentes ao tema.

À Elizabete Alves, chefe do 10º DISME do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pelo apoio e promoção na obtenção de dados estatísticos fundamentais para a formulação do trabalho.

À pesquisadora Márcia Shirakawa e ao estagiário Henrique Tanaka da Universidade Estadual de São Paulo – USP, que enriqueceram este trabalho por meio de conhecimentos e informações técnicas.

A todas as empresas construtoras que disponibilizaram importantes informações imprescindíveis à elaboração da pesquisa.

A todas aquelas pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com a realização desta dissertação.

*O conhecimento é o processo de acumular
dados; a sabedoria reside na sua simplificação.*

Martin H. Fischer

RESUMO

A durabilidade das fachadas está relacionada ao desempenho frente à ação deletéria dos elementos climáticos, dentre eles a chuva dirigida, bem como dos efeitos proporcionados pelos elementos presentes nas fachadas dos edifícios. A compreensão destes aspectos é importante para a prevenção de manifestações patológicas, aumentando a capacidade da edificação em desempenhar suas funções por um maior período. A presença de detalhes arquitetônicos e construtivos pode funcionar como barreiras de proteção ou elemento condutor de umidade da chuva, assim como plataforma para deposição de poluentes e microorganismos, causando manchamento das fachadas. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo apontar as influências da chuva dirigida e dos elementos das fachadas sobre a durabilidade das fachadas de edifícios localizados na cidade de Goiânia, relacionando-as com os pontos cardeais Norte, Sul, Leste e Oeste. Metodologicamente, o trabalho propôs-se à: criação dos primeiros mapas de chuva dirigida para a cidade de Goiânia, com dados obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia, no período de 2002 a 2008; realização de medições de umidade superficial nas quatro fachadas de edifício local com revestimento em argamassa mista; levantamento de dados de casos de infiltração junto às assistências técnicas de construtoras, relacionando-os com suas respectivas orientações; identificação de microorganismos coletados sobre elementos de fachadas e inspeção visual com registro fotográfico do manchamento de fachadas de edifícios em decorrência da ineficiência dos detalhes arquitetônicos e construtivos. Como principais resultados, constatou-se que as infiltrações e manchamentos ocorrem de maneira diferenciada para cada fachada em função, principalmente, das especificidades do clima da cidade de Goiânia. A partir da análise dos resultados dos índices de chuva dirigida, verificou-se que as fachadas voltadas à direção Norte estão mais suscetíveis à penetração de umidade por fissuras e aberturas, fato também confirmado pelo levantamento de casos de infiltração. Pela identificação de microorganismos, observou-se que fachadas voltadas a Sul tendem a favorecer o crescimento de fungos, enquanto que as demais apresentaram o crescimento de fototróficos, justificado pela maior incidência solar nessas fachadas e as manchas descritas genericamente como sujidades devida à poluição possuem a presença também de microorganismos. Do ponto de vista do manchamento, observou-se uma maior formação de manchas próximas às regiões de peitoris e sobre pingadeiras nas fachadas voltadas à direção Sul e maior presença de manchas nas platibandas das fachadas voltadas à direção Norte. Os *fantômes* ocorreram com maior frequência nas vedações das fachadas Sul.

Palavras – chave: Durabilidade; Fachada; Chuva dirigida; Infiltração; Manchamento.

ABSTRACT

The durability of the facades is related to performance against the deleterious effects of climatic elements, among them the wind driven rain, and the effects provided by the elements presents in building facades. Understanding these aspects is important for the prevention of pathological manifestations, increasing the capacity of the building to perform his functions for a long period. The presence of architectural and construction details can act as protective barriers or conductive elements of moisture from rain, well as a platform for deposition of pollutants and microorganisms, causing staining of the facades. Thus, this paper aims to point out the influences of wind driven rain and elements of facades of the durability of the facades of buildings located in Goiania-GO, related them to the cardinal points North, South, East and West. Methodologically, the paper seeks to: creation of the first maps of wind-driven rain to the city of Goiania, with data obtained from the National Institute of Meteorology in the period of 2002 to 2008; carrying out measurements of surfaces moisture on the four facades of the local building with mixed mortar rendering; data collection of cases of infiltration along the technical assistance for builders, relating them to their respective guidelines; identification of microorganisms collected on the façade elements and visual inspection with photographic record of the facades staining due to the inefficiency of the architectural and construction details. As main results, it was found that the infiltration and staining occur differently for each façade, due mainly, the specific climate of the city of Goiania. From the analysis of the results of the indices of wind driven rain, it was found that the facades oriented toward the North are more susceptible to moisture penetration by cracks and openings, fact also confirmed by the survey of cases of infiltration. For the identification of microorganisms, it was observed that facades face South tend to favor the growth of fungi, while the others showed the growth of phototrophs, justified by the increased incidence of the sunlight on these facades and the staining described generically as dirt due the pollutions are also the presence of microorganisms. From the standpoint of staining, observed an increased formation of spots near the region of window sill and dripping on the facades facing the South direction and greater presence of staining on the parapets of the facades facing the North directions. The fantômes occurred more frequently in walls of the South facades.

Keywords: Durability; Facades; Wind driver rain; Infiltration; Staining.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 - Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1, 2008)	22
Figura 1.2 - Manchas de sujidade próximas ao peitoril de janelas de edifícios na cidade de Goiânia	26
Figura 1.3 - Proliferação de microorganismos na platibanda de edifício na cidade de Goiânia	27

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Componentes do ciclo hidrológico (Disponível em: http://geo-geografias.blogspot.com).....	32
Figura 2.2 - Precipitação anual (a) e número de dias de chuva anual (b) (INMET, 2004)	34
Figura 2.3 - Mancha interna devido à penetração de água através da esquadria presente na fachada.....	40
Figura 2.4 - Mapa de isopletas da velocidade básica (V_0 em m/s) para o Brasil (ABNT NBR 6123, 1988).....	42
Figura 2.5 - Variação da velocidade do vento em diferentes tipos de terrenos (PENWARDEN; WISE, 1975 <i>apud</i> VIEIRA, 2005)	43
Figura 2.6 - Efeito da rugosidade superficial nas características do vento (MAC DONALD, 1975 <i>apud</i> VIEIRA, 2005)	43
Figura 2.7 - Efeito abrigo (GANDEMER, 1975)	44
Figura 2.8 - Efeito barreira (GANDEMER, 1975).....	45
Figura 2.9 - Efeito Venturi (GANDEMER, 1975)	45
Figura 2.10 - Efeito corredor ou canal (GANDEMER, 1978)	46
Figura 2.11 - Efeito abertura (GANDEMER, 1978)	46
Figura 2.12 - Simulação em túnel de vento do escoamento do vento ao redor de um edifício alto com edificação baixa a barlavento. Vista superior (a), perspectiva (b), vista lateral (c) e forma simplificada do típico escoamento do vento (PENWARDEN; WISE, 1975 <i>apud</i> VIEIRA, 2005)	47
Figura 2.13 - Atuação do vento e chuva sobre edificações com diferentes níveis de proteção. Representação em elevação (a) e em planta (b) (VALLEJO, 1990)	49
Figura 2.14 - Parábola da chuva incidente (COUPER, 1972 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000).....	50

Figura 2.15 - Vetor de intensidade de chuva R e suas componentes. Intensidade da chuva dirigida Rcd e intensidade de precipitação no plano horizontal Rh (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).....	51
Figura 2.16 - Sistemas de forças atuantes sobre uma gota de chuva (BAUER, 1987).....	51
Figura 2.17 - Influência do vento na direção da chuva e na exposição das fachadas: (a) situação sem vento; (b) situação com vento (THOMAZ, 1990)	52
Figura 2.18 - Modelos de coletores de medição da água aderida da chuva dirigida (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).....	53
Figura 2.19 - Índice direcional de chuva dirigida direcional (m ² /s) – Florianópolis, 1961-1970 (GIONGO, 2007).....	55
Figura 2.20 - Montante de chuva dirigida em parede vertical – Florianópolis 1991/1993 – 1996 (GIONGO, 2007).....	58
Figura 2.21 - Mapa de chuva dirigida do Reino Unido. Esquerda: Mapa de chuva dirigida com graus de exposição: branco = protegido; cinza claro = moderado; cinza escuro = severo. Direita: Mapa de chuva dirigida direcional, onde o comprimento das retas representa a magnitude do índice de chuva dirigida das diferentes direções (LACY, 1971 <i>apud</i> BLOCKEN; CARMELIET, 2004).....	59
Figura 2.22 - Mapa brasileiro de chuva dirigida com base nos dados do ano de 2004 (LIMA; MORELLI, 2005).....	61
CAPÍTULO 3	
Figura 3.1 - Fases de interação de água nas fachadas (ARGILÉS, 1999 <i>apud</i> SILVA, 2007)	65
Figura 3.2 - Fluxo de água interceptado no peitoril da janela escorre lateralmente ao mesmo, provocando a fissuração da argamassa de revestimento (THOMAZ, 1989).....	67
Figura 3.3 - Fatores que influenciam a penetração de umidade pelas chuvas (GARDEN, 1963)	72
Figura 3.4 - Tipos de infiltração em paredes – Infiltração de água por gravidade associada à capilaridade e pressão do vento. (a) Infiltração de água através de meio poroso associada à capilaridade e à ação da pressão do vento (b). Água da chuva sob ação do vento em junta defeituosa (c) (ARGILÉS, 1999 <i>apud</i> SILVA, 2007).....	73
Figura 3.5 - Movimento descendente em relação ao tamanho das partículas (CARRIÉ; MOREL, 1975).....	77
Figura 3.6 - Influência da rugosidade do revestimento na aderência da partícula de sujidade (CARRIÉ; MOREL, 1975).....	79

Figura 3.7 - Exemplos dos efeitos da trajetória da água nas fachadas. LL: Lavado limpo; LS: Lavado sujo; AS: Acúmulo de sujeira (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> VIEIRA, 2005)...	82
Figura 3.8 - <i>Cladosporium herbarum</i> (JOHANSSON <i>et al.</i> , 2005).....	84
Figura 3.9 - Cianobactérias (Disponível em: http://www.enq.ufsc.br)	86
Figura 3.10 - Revestimento de fachada com pelo menos cinco espécies diferentes de líquenes (JOHANSSON <i>et al.</i> , 2005)	87
Figura 3.11 - Manchas nos elementos de vedação	90
Figura 3.12 - Manchas de <i>fantôme</i> na região da alvenaria de vedação	91
Figura 3.13 - Diagrama dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias (PEREZ, 1988; THOMAZ, 1990)	93
Figura 3.14 - Formas que proporcionam a proteção contra a água da chuva (<i>Recomendaciones y manuales técnicos</i> , 1993).....	93
Figura 3.15 - Duas classes de elementos protetores: ambas impedem a lavagem da poeira depositada nas partes inferiores (<i>Recomendaciones y manuales técnicos</i> (1993).....	94
Figura 3.16 - Fluxos concentrados pelos canais contínuos (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000)	95
Figura 3.17 - Planos contínuos – exemplos generalizados mostrando fluxo e possíveis represamentos em superfícies horizontais (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000).....	96
Figura 3.18 - Exemplos de fluxo de água sobre fachada de edifícios (escorrimento) (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000)	96
Figura 3.19 - Fluxo plano e fluxo canalizado sendo disperso em forma de gotejo devido a efeitos de descontinuidade (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000).....	96
Figura 3.20 - Fluxo canalizado disperso em superfície plana (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000)	97
Figura 3.21 - Concentração e canalização de fluxo plano (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000)	97
Figura 3.22 - Intersecção de elementos horizontais e verticais no mesmo plano (CARRIÉ; MOREL, 1975).....	98
Figura 3.23 - Plano vertical adiantado (CARRIÉ; MOREL, 1975)	98
Figura 3.24 - Plano vertical recuado (CARRIÉ; MOREL, 1975)	99
Figura 3.25 - Trajetória de fluxo de água pelo canto da janela (THOMAZ, 1990)	100
Figura 3.26: Trajetória de fluxo de água pelo peitoril (THOMAZ, 1990)	101

Figura 3.27 - Influência da geometria nas direções de escoamento de água sobre os peitoris. Sem escoamento lateral (a) e com escoamento lateral (b) de fluxo de água (SILVA; TORRES, 2003).....	101
Figura 3.28 - Efeito do formato e da pingadeira sobre o fluxo de água sob peitoris (SILVA; TORRES, 2003)	102
Figura 3.29 - Esquema de cimalha em platibanda (SABBATINI <i>et al.</i> , 1988 apud MACIEL, 1997).....	103
Figura 3.30 - Geometria e dimensões de peitoris (SILVA; TORRES, 2003)	103

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Localização da estação automática meteorológica do 10º DISME, setor Jaó, Goiânia-GO	106
Figura 4.2 - Estação automática do 10º DISME (Décimo Distrito Meteorológico) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.....	106
Figura 4.3 - Udógrafo (a) e cata-vento e anemômetro (b) da estação automática do 10º DISME (Décimo Distrito Meteorológico) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET	107
Figura 4.4 - Transformação das direções de vento medidas em graus para as direções: N, NE, E, SE, S, SO, O e NO	108
Figura 4.5 - Edificação onde foram realizadas as medições de umidade	110
Figura 4.6 - Medição realizada na fachada Norte do 9º andar, embaixo da janela (a) e ao lado da janela (b), próximo à fachada Oeste	111
Figura 4.7 - <i>Moisture Meter</i> M-T-170.....	111
Figura 4.8 - Regiões da fachada (embaixo e ao lado da abertura da janela) onde foram realizadas as medições de umidade	112
Figura 4.9 - Pavimento tipo e local do edifício onde foram realizadas as medições de umidade	112
Figura 4.10 - Local da coleta da amostra 1 (a) e local da coleta da amostra 5.....	115
Figura 4.11 - Local da coleta da amostra 2 (a) e local da coleta da amostra 3.....	115
Figura 4.12 - Fachadas de um mesmo edifício: Orientação N (a), L (b), S (c) e O (d).....	119
Figura 4.13 - Vista geral de fachada com orientação S (a) e vista em detalhe da fachada com orientação S (b).....	120
Figura 4.14 - Representação esquemática das regiões de análise tipo numa fachada, modificado de Gaspar e Brito (2005) (ANTUNES, 2010).....	121

Figura 4.15 - Mapa das regiões e percentuais de manifestações patológicas (Adaptado GASPAR; BRITO, 2005; ANTUNES, 2010)	122
---	-----

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 - Gráfico climatológico de precipitação (mm) e umidade (%) de Goiânia (INMET, 2010).....	123
Figura 5.2 - Gráfico climatológico de insolação (horas) e temperatura média (graus Celsius) de Goiânia (INMET, 2010)	124
Figura 5.3 - Precipitação pluviométrica acumulada por meses do ano, para cada quadrante (Goiânia, 2002 a 2008).....	126
Figura 5.4 - Média de velocidade de vento por meses do ano, para cada quadrante (Goiânia, 2002 a 2008).....	127
Figura 5.5 - Índices de chuva dirigida direcional anual (m ² /s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2005	129
Figura 5.6 - Índices de chuva dirigida direcional anual (m ² /s) para Goiânia nos anos de 2006 a 2008	130
Figura 5.7 - Média dos índices de chuva dirigida direcional anual (m ² /s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2008	131
Figura 5.8 - Índices de chuva dirigida direcional mensal (m ² /s) para Goiânia nos meses de janeiro a abril no período de 2002 a 2008	132
Figura 5.9 - Índices de chuva dirigida direcional mensal (m ² /s) para Goiânia nos meses de setembro a dezembro no período de 2002 a 2008	133
Figura 5.10 - Média dos índices de chuva dirigida direcional anual (m ² /s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2008	134
Figura 5.11 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2002 a 2004	135
Figura 5.12 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2005 a 2007	136
Figura 5.13 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia no ano de 2008.....	137
Figura 5.14 - Média dos montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2002 a 2008	137
Figura 5.15 - Umidade superficial em função da orientação da fachada medida nos diversos pavimentos.....	139
Figura 5.16 - Média das medições de umidade superficial por localização	140

Figura 5.17 - Média das medições de umidade superficial por pavimento	141
Figura 5.18 - Percentuais de orientações com infiltração em fachadas de edificações na cidade de Goiânia.....	141
Figura 5.19 - Edifício 1	145
Figura 5.20 - Edifício 1: detalhes da fachada	146
Figura 5.21 - Situação do Edifício 1	146
Figura 5.22 - Fachada Norte do edifício 1	147
Figura 5.23 - Fachada Sul do edifício 1.....	147
Figura 5.24 - Fachada Leste do edifício 1	148
Figura 5.25 - Fachada Oeste do edifício 1	148
Figura 5.26 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 1	149
Figura 5.27 - Percentual de manchamento do Edifício 1, fachadas N, S, E e O	150
Figura 5.28 - Edifício 1. Vista da fachada voltada à orientação N.....	151
Figura 5.29 - Edifício 2	151
Figura 5.30 - Situação do edifício 2	152
Figura 5.31 - Fachada Norte do edifício 2.....	153
Figura 5.32 - Fachada Sul do edifício 2.....	153
Figura 5.33 - Fachada Leste do edifício 2	154
Figura 5.34 - Fachada Oeste do edifício 2.....	154
Figura 5.35 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 2.....	155
Figura 5.36 - Percentual de manchamento do Edifício 2, fachadas N, S, E e O	156
Figura 5.37 - Região da fachada onde ocorreu formação de manchas nas pingadeiras. Fachada E (a) e fachada O (b).....	157
Figura 5.38 - Edifício 3	158
Figura 5.39 - Edifício 3. Detalhes das fachadas. Leste e Oeste (a); Norte e Sul (b)	159
Figura 5.40 - Situação do Edifício 3.....	160
Figura 5.41 - Fachada Norte do edifício 3.....	161
Figura 5.42 - Fachada Sul do edifício 3.....	161
Figura 5.43 - Fachada Leste do edifício 3	162
Figura 5.44 - Fachada Oeste do edifício 3.....	162
Figura 5.45 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 3.....	163
Figura 5.46 - Percentual de manchamento do Edifício 3, fachadas N, S, E e O	164
Figura 5.47 - Edifício 4	165
Figura 5.48 - Situação do Edifício 4.....	166

Figura 5.49 - Fachada Norte do edifício 4.....	167
Figura 5.50 - Fachada Sul do edifício 4.....	167
Figura 5.51 - Fachada Leste do edifício 4.....	168
Figura 5.52 - Fachada Oeste do edifício 4.....	168
Figura 5.53 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 4.....	169
Figura 5.54 - Percentual de manchamento do Edifício 4, fachadas N, S, E e O.....	170
Figura 5.55 - Edifício 5.....	171
Figura 5.56 - Detalhe da platibanda.....	171
Figura 5.57 - Situação do Edifício 5.....	172
Figura 5.58 - Fachada Norte do edifício 5.....	173
Figura 5.59 - Fachada Sul do edifício 5.....	173
Figura 5.60 - Fachada Leste do edifício 5.....	174
Figura 5.61 - Fachada Oeste do edifício 5.....	174
Figura 5.62 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 5.....	175
Figura 5.63 - Percentual de manchamento do Edifício 5, fachadas N, S, E e O.....	176
Figura 5.64 - Mancha formada por escorrimento de água em platibanda de fachada do Edifício 5.....	177
Figura 5.65 - Manchas formadas sob as caixas de ar condicionado no Edifício 5, 14º pavimento (a) e 2º pavimento (b).....	178
Figura 5.66 - Detalhe da pingadeira e da junta de trabalho.....	179
Figura 5.67 - Junta de trabalho sem pingadeira (a) e pingadeira sem junta de trabalho (b)...	179
Figura 5.68 - Perfil de junta de trabalho no revestimento de argamassa (NUTEA, 2008)	180
Figura 5.69 - Proteção proporcionada por pingadeiras no escorrimento da água sobre a fachada.....	180
Figura 5.70 - Fachadas com orientação S com manchas formadas nas pingadeiras por acúmulo de sujeira.....	181
Figura 5.71 - Manchas nos elementos de ornamentação.....	181
Figura 5.72 - Vão da janela sem peitoril de pedra natural (granito ou mármore).....	182
Figura 5.73 - Manchas nas fachadas ocasionadas por peitoris.....	183
Figura 5.74 - Vista geral da fachada do edifício (a) e as manchas próximas à janela (b). Vista geral da fachada do edifício (c) e as manchas próximas à janela (d).....	184
Figura 5.75 - Manchas escuras, provavelmente oriundas da formação de microorganismos	185
Figura 5.76 - Manchas de microorganismos em guarda-corpos de coberturas.....	185
Figura 5.77 - Manchas em elemento da fachada.....	186

Figura 5.78 - Formação de manchas pelo escoamento preferencial da água	187
Figura 5.79 - Fachada Norte (a) e fachada Sul	188

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 - Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada (BSI 5262, 1976) 24

Tabela 1.2 - Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada de acordo com a norma DIN 18550 *Part 1* (1985 *apud* VIEIRA, 2005) 25

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 - Faixas de exposição à chuva dirigida proposta por Lacy (1977) 60

Tabela 2.2 - Faixas de exposição à chuva dirigida proposta por Chand e Bhargava (2002).... 60

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 - Absortância em função de tonalidades das cores (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997) 66

Tabela 3.2 - Níveis de severidade da fissuração (função da abertura) (GASPAR; FLORES-COLEN; BRITO, 2006) 70

Tabela 3.3 - Poluentes e suas fontes (CAVALCANTI, 2003 *apud* PIRES, 2005) 74

Tabela 3.4 - Dimensões médias das partículas (CARRIÉ; MOREL, 1975)..... 77

Tabela 3.5 - Relação entre a velocidade do vento e a poluição máxima diária (CARRIÉ; MOREL, 1975)..... 80

Tabela 3.6 - Propriedades dos materiais e componentes de revestimento (SATO, 2000) 91

Tabela 3.7 - Características e eventuais defeitos dos peitoris (Adaptado SILVA; TORRES, 2003)..... 100

Tabela 3.8 - Dimensões mínimas para os peitoris (SILVA; TORRES, 2003) 104

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1 - Direção e velocidade de vento durante 5 anos para a cidade de Goiânia (FERNANDES, 2006) 124

Tabela 5.2 - Índice de chuva dirigida anual..... 127

Tabela 5.3 - Medições da estação automática do INMET..... 138

Tabela 5.4 - Medições de umidade superficial realizadas nas fachadas do edifício 139

Tabela 5.5 - Média das medições de umidade superficial por localização..... 140

Tabela 5.6 - Média das medições de umidade superficial por pavimento..... 140

Tabela 5.7 - Escala de Beaufort para velocidade aproximada de vento 144

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas
BSI	<i>British Standards Institution</i>
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
CONSITRA	Consórcio Setorial
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DISME	Distrito de Meteorologia
E	Leste
ICD	Índice de Chuva Dirigida
ICDa	Índice de Chuva Dirigida Anual
ICDd-a	Índice de Chuva Dirigida Direcional Anual
ICDd-m	Índice de Chuva Dirigida Direcional Mensal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
I₀	Montante de Chuva Dirigida em Parede Vertical
N	Norte
NBR	Norma Brasileira Registrada
NE	Nordeste
NO	Noroeste
NUTEA	Núcleo de Tecnologia de Argamassa e Revestimento
O	Oeste
S	Sul
SE	Sudeste
SO	Sudoeste
UFG	Universidade Federal de Goiás
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL	20
1.2 JUSTIFICATIVA	23
1.3 OBJETIVOS	28
1.3.1 Objetivo geral	28
1.3.2 Objetivos específicos	29
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	29
1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	30
2 ASPECTOS DO CLIMA	31
2.1 ELEMENTOS CLIMÁTICOS	31
2.1.1 Precipitação	32
2.1.2 Movimento atmosférico do ar: vento	35
2.1.3 Temperatura	36
2.1.4 Umidade	36
2.1.5 Condensação	37
2.2 AÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS SOBRE A EDIFICAÇÃO	38
2.2.1 A ação da água da chuva sobre a edificação	39
2.2.2 A ação do vento sobre a edificação	41
2.2.3 Comportamento da chuva associada ao vento sobre a edificação	48
2.3 CHUVA DIRIGIDA	50
2.3.1 Abordagem geral	52
2.3.1.1 Cálculo de índice de chuva dirigida	54
2.3.1.2 Cálculo de montante de chuva dirigida em parede vertical	55
2.3.2 Mapas de chuva dirigida	58
3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR UMIDADE	62
3.1 INFILTRAÇÃO DE UMIDADE EM FACHADAS	62
3.1.1 Funções e propriedades dos revestimentos de argamassa	63
3.1.2 Aspectos condicionantes para a infiltração de umidade em fachadas	64
3.2 FORMAÇÃO DE MANCHAS DE SUJIDADE EM FACHADAS	73
3.2.1 Poluentes atmosféricos	74
3.2.2 Deposição de partículas	75
3.2.3 Adesão das partículas contaminantes	78
3.2.4 Material empregado como revestimento	78
3.2.5 Vento	80
3.2.6 Temperatura, condensação e umidade	80
3.2.7 Chuva	81
3.3 CRESCIMENTO DE MICROORGANISMOS EM FACHADAS	83
3.3.1 Fungos	84
3.3.2 Bactérias	85
3.3.3 Algas	85
3.3.4 Líquenes	86
3.3.5 Fatores abióticos	87
3.4 FANTÔMES	89
3.5 A INFLUÊNCIA DOS DETALHES ARQUITETÔNICOS E CONSTRUTIVOS EM FACHADAS	92

4 METODOLOGIA	105
4.1 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA	105
4.1.1 Fonte de dados	105
4.1.2 Preparação dos dados.....	107
4.1.3 Cálculo dos índices de chuva dirigida.....	108
4.1.4 Cálculo do I_0	109
4.2 MEDIÇÃO DE UMIDADE SUPERFICIAL EM FACHADAS	110
4.2.1 Características da obra	110
4.2.2 Método de medição	111
4.3 LEVANTAMENTO DE CASOS DE INFILTRAÇÃO	113
4.3.1 Coleta de dados	113
4.3.2 Casos de infiltração estudados	113
4.4 IDENTIFICAÇÃO DE MICROORGANISMOS	114
4.4.1 Locais de coleta das amostras.....	114
4.4.2 Método de amostragem	116
4.4.3 Análise microbiológica	116
4.5 ESTUDO DE CASOS DE MANCHAMENTO EM FACHADAS	116
4.5.1 Amostragem	117
4.5.2 Variáveis	117
4.5.3 Mapas de percentuais de manchamento.....	120
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	123
5.1 CLIMA DA CIDADE DE GOIÂNIA	123
5.3 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAL – ANUAL	128
5.4 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAL - MENSAL	131
5.5 MONTANTE DE CHUVA DIRIGIDA EM PAREDE VERTICAL	134
5.7 INFILTRAÇÕES EM FACHADAS	141
5.8 IDENTIFICAÇÃO DE MICROORGANISMOS	142
5.9 ESTUDO DE CASOS DE MANCHAMENTO EM FACHADAS	143
5.9.1 Classificação quanto às normas BSI 5262 (1976) e DIN 18550 Part 1 (1985) e condições de exposição dos revestimentos externos de fachada para a cidade de Goiânia	143
5.9.2 Edifício 1	145
5.9.3 Edifício 2.....	151
5.9.4 Edifício 3	157
5.9.5 Edifício 4.....	165
5.9.6 Edifício 5.....	171
5.9.7 Aspectos gerais dos elementos das fachadas	178
5.10 DISCUSSÃO GLOBAL DOS RESULTADOS	187
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	190
6.1 CONCLUSÕES	190
6.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA	193
6.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	194
REFERÊNCIAS	196

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL

Atualmente no Brasil, estudos vêm sendo freqüentemente realizados com a finalidade de delinear os fatores que desencadeiam e aceleram os fenômenos de deterioração das fachadas dos edifícios. Alguns pesquisadores, como Petrucci (2000), Resende, Barros e Medeiros (2001), e Vieira (2005), abordam a importância do estudo dos fenômenos para a obtenção de subsídios que possam direcionar à prevenção de manifestações patológicas em fachadas.

Segundo Lichtenstein (1986), da interação entre as ações externas e a capacidade do edifício em reagir a estes fatores para o cumprimento de suas funções resulta o desempenho. Ainda pelo autor, o entendimento integral deste processo de interação é fundamental na medida em que se deseja resolver um problema patológico de uma edificação.

O tema de desempenho de edificações, segundo Blachere (1974 *apud* BORGES; SABBATINI, 2008), vem sendo estudado a mais de 40 anos e pode ser entendido como o comportamento do edifício em uso, incluindo a interferência dos fatores climáticos sobre suas partes. De acordo com Gibson (1982 *apud* BORGES; SABBATINI, 2008), a abordagem de desempenho é a prática de se pensar em termos de fins e não dos meios, ou melhor, são os requisitos que a construção deve atender independente da forma como será construído.

Borges e Sabbatini (2008) explicam que até a década de 80 as pesquisas sobre desempenho na construção civil no Brasil tinham foco voltado ao aspecto conceitual do tema e somente a partir da década de 90, impulsionado principalmente pelas questões de sustentabilidade, volta-se à aplicação do conceito de desempenho na concepção e construção das construções. A evolução do conceito ganha força pelos trabalhos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) para o Banco Nacional da Habitação (BNH) até o ano de 2000, quando a Caixa Econômica Federal financia, através do FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), o projeto para a criação de um modelo de avaliação de sistemas

construtivos, que resultou na norma brasileira de desempenho de edifícios até 5 pavimentos, NBR 15575¹ (ABNT, 2008).

A partir da medida de avaliação final da edificação quanto aos requisitos mínimos de conforto, habitabilidade e uso estabelecidos pela norma, o Brasil dá um passo importante para o estabelecimento de parâmetros de desempenho. A norma prevê o cumprimento de requisitos para os sistemas: estruturais, de pisos internos, vedações verticais externas e internas, de coberturas e hidrossanitários.

Conforto térmico, acústico e lumínico, estanqueidade, segurança estrutural, saúde, funcionalidade e durabilidade são exemplos de requisitos de desempenho para os sistemas, ou melhor, são condições qualitativas que uma edificação e suas partes devem cumprir, assegurando que as exigências dos usuários sejam alcançadas.

Segundo a ASTM E 632-82 (1996), a durabilidade é a capacidade de um produto, componente, montagem ou construção de se manter em serviço ou utilização, ou ainda, a capacidade deste em desempenhar as funções para o qual foi projetado durante determinado período. A durabilidade pode ser expressa em função do tempo em vida ou em função da capacidade de resistência a agentes que levam o edifício à deterioração.

Consoli (2006) relata que os primeiros estudos sobre durabilidade iniciaram-se há muitos anos nos países desenvolvidos tendo como motivação o desempenho econômico das edificações e o planejamento das manutenções, e que hoje a redução de impactos ambientais – por edificações duráveis – também se soma ao contexto.

A durabilidade dos sistemas que compõem o edifício está ligada à agressividade do meio ambiente, às propriedades dos elementos e dos seus componentes e à interação entre estes ao longo do tempo. Como requisitos de durabilidade, o edifício deve manter a capacidade funcional durante a vida útil prevista em projeto sem os sinais de desgaste, desde que realizadas as intervenções periódicas de manutenção e conservação (ABNT NBR 15575-1, 2008).

¹ A NBR 15575 - Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos - Desempenho foi publicada no dia 12 de maio de 2008 e passará a vigor em 2010. A norma é dividida em 6 partes abordando requisitos gerais, vedação, sistema de pisos, coberturas e sistemas prediais.

A vida útil de projeto orienta a fabricação de elementos e sistemas construtivos e também a previsão do desempenho contemplando as atividades interventivas de manutenção da edificação. A vida útil residual é o período posterior à vida útil de projeto, onde os elementos e sistemas passam a apresentar decréscimo continuado do desempenho em função do uso ou do envelhecimento natural, mas sem colocar em risco a segurança dos usuários. A vida total compreende a vida útil do projeto, a vida residual e a sobrevida, porém esta última passa a comprometer os níveis de segurança. Na Figura 1.1 está apresentada a relação entre desempenho e o tempo em vida de edifícios.

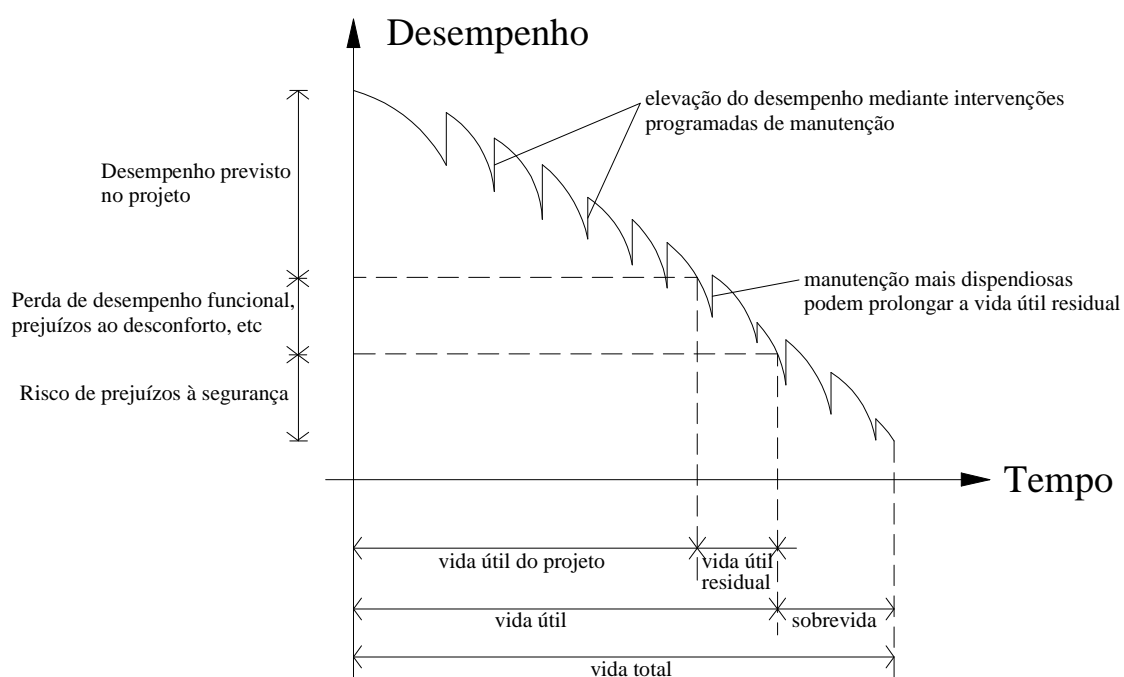


Figura 1.1 - Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1, 2008)

Por fim, a presença dos requisitos mínimos de desempenho para os empreendimentos - somados a indicadores na avaliação da conformidade de produtos e processos com a qualidade especificada na fase de produção e utilização - contribui com a prevenção de manifestações patológicas e, por consequência, com a consolidação de técnicas construtivas adequadas e produtivas visando a uma maior durabilidade das edificações (ANTUNES, 2004).

1.2 JUSTIFICATIVA

Funcionalidade, habitabilidade e integridade são atributos que um edifício deve possuir. A integridade remete-se à permanência do edifício de se manter durante o período previsto de uso sem sinais de degradação de sua função ou estética. Entende-se por integridade física a necessidade de durabilidade frente aos agentes agressivos ao longo da vida útil² (CARRIÓ, 1985 *apud* PETRUCCI, 2000). Assim, tem-se que a durabilidade do edifício contrapõe-se a idéia de tempo e o mesmo está exposto à ação de desgaste oriunda do meio onde se encontra.

A imagem do edifício como elemento conformador das paisagens e espaços urbanos está intimamente relacionada à fachada, por esta razão, muitas pessoas vêem na fachada a própria síntese do edifício (PETRUCCI, 2000). Este sistema delimita simultaneamente o espaço interno do externo e as suas faces protegem o interior das ações dos agentes de deterioração. Petrucci (1989) afirma que as inúmeras ocorrências de manifestações patológicas nas fachadas são devidas às solicitações de sua função, pois estas atuam como anteparo aos ataques de agentes agressivos do meio ambiente.

As fachadas das edificações estão sujeitas a condições de exposição que irão variar de acordo com as características climatológicas da região onde estão localizadas. Os elementos climáticos - como precipitação, vento, radiação solar, umidade relativa e temperatura - contribuem com o processo de deterioração e afetam diretamente as características do edifício e de sua imagem do ponto de vista da durabilidade.

A precipitação é uma das principais fontes de umidade e passa a ser vertente de preocupação uma vez que age sob as leis da natureza que não são possíveis de eliminação, podendo, tão somente, serem controladas. De acordo com Choi (1999), a deterioração causada pela água da chuva nas edificações tem sido há muito tempo reconhecida como o principal problema na manutenção.

Perez (1988) aponta as manifestações pela presença de umidade como uma das mais difíceis de serem combatidas devido à complexidade e carência de estudos do fenômeno. De acordo com Souza (2008), os efeitos pelo aparecimento deste grave, de difícil solução e também dispendioso problema são: a perda da funcionalidade da edificação, danos a equipamentos e bens no interior do edifício, desconforto aos usuários com riscos à saúde e prejuízos

² De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2008), a vida útil dos edifícios e de seus sistemas é entendida como o período de tempo durante o qual podem ser utilizados sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene.

financeiros, seja em decorrência dos percalços citados, como pelos custos com reparação das falhas apresentadas pelo edifício.

A complexidade do fenômeno e as manifestações patológicas - proporcionadas principalmente pela umidade em excesso - aumentam a dificuldade com a reparação e alguns países já demonstram sua preocupação procurando estabelecer mecanismos de mensurar os efeitos da ação da água da chuva por meio de equações empíricas, medições, ensaios e simulações do fenômeno (GIONGO, 2007).

Normas internacionais, como a BSI 5262 (1976) e DIN 18550 (1985 *apud* VIEIRA, 2005), baseiam-se em tabelas de classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachadas, representadas a seguir:

Tabela 1.1 - Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada (BSI 5262, 1976)

Parâmetros analisados		Condições amenas	Condições moderadas	Condições severas
Da região	Chuvas	Baixo índice pluviométrico	Chuvas moderadas	Regiões chuvosas
	Ventos	Fracos	Moderados	Fortes
	Localização geográfica	Qualquer	Qualquer	Qualquer
Do edifício	Altura	Elevada com proteção	Elevada sem proteção	Qualquer sem proteção
	Exposição à chuva e vento forte	Baixa	Moderada	Total
	Proteção de projeto e de prédios vizinhos	Parede protegida	Parede parcialmente protegida	Parede desprotegida

Tabela 1.2 - Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada de acordo com a norma DIN 18550 Part 1 (1985 *apud* VIEIRA, 2005)

Parâmetros analisados		Condições amenas	Condições moderadas	Condições severas
Da região	Chuvas	Precipitação anual < 600 mm	Precipitação entre 600 e 800 mm	Precipitação maior que 800 mm ou região de vento forte
	Ventos	Pouco	Moderado	Intenso
	Localização geográfica	-	-	Qualquer
Do edifício	Altura	Elevada com proteção	Elevada sem proteção	Qualquer sem proteção
	Exposição à chuva e vento forte	Baixa	Média	Total
	Proteção de projeto e de prédios vizinhos	Condições excepcionais de proteção	Boas condições de proteção	Nenhuma condição de proteção

Reygaerts (1978 *apud* MEDEIROS, 1998) conclui em pesquisa, realizada em vários países, que 60% dos problemas em edifícios são devidos à penetração de umidade e cerca da metade destes ocorrem nas paredes.

Gaspar e Brito (2005), em estudos realizados nas cidades de Lisboa, Alcochete e Tavira, em Portugal, identificaram que 25% dos problemas de degradação em fachadas de edifícios revestidas com argamassa de base cimentícia e com acabamento decorativo em pintura eram decorrentes da chuva dirigida e do escoamento superficial de água na fachada.

A chuva dirigida é um fenômeno climático que tem sua origem da associação da chuva e do vento. É considerada por Straube e Burnett (2002) como a maior fonte de umidade que as fachadas de um edifício podem receber do meio externo e afeta diretamente o desempenho da edificação, pois causa incômodo aos usuários, destrói bens materiais, e coloca em risco a saúde pela formação de microorganismos.

No Brasil, ainda não existem muitos estudos detalhados sobre a condicionante de chuva associada ao vento e sua influência sobre as edificações, apesar de já se ter compreensão de que o fenômeno é de elevada relevância para definições de projeto, tanto pela especificação de soluções construtivas, quanto de materiais, na busca de um maior desempenho (GIONGO, 2007).

Rydock (2006) aponta como ferramenta de mensuração de riscos de penetração de umidade - através de paredes de alvenaria - o cálculo de índices de chuva dirigida por meio de equações. Segundo Chand e Bhargava (2001), a média mensal de índice de chuva dirigida é o valor

numérico do produto entre a média mensal de velocidade de vento e o total de precipitação pluviométrica, e este índice é um indicador do total mensal de chuva em superfícies verticais direcionada pelo vento.

Assim, a compreensão de elementos climáticos formadores do clima da região onde o edifício está localizado é uma importante ferramenta para a prevenção de problemas e mudanças na aparência das fachadas. Além da compreensão destes fatores, o entendimento dos efeitos que a geometria e os arranjos das partes envolvidas numa fachada podem proporcionar diante dos aspectos climáticos (chuva, vento, umidade do ar e temperatura) e urbanos (poeira e poluição), contribui positivamente com a durabilidade da edificação.

Chew e Tan (2002) estudaram o surgimento de manchas de sujeidade em edifícios novos localizados na cidade de Cingapura num pólo industrial, influenciado, segundo os autores, pelos elementos presentes na fachada. Os autores ressaltam a importância do assunto, uma vez que os recursos necessários para a solução do problema representam uma parcela bastante significativa de gastos com manutenção.

Em seu trabalho, Petrucci (2000) atribui, genericamente, a deterioração por sujeidade à geometria dos elementos presentes nas fachadas, procurando apresentar as principais características arquitetônicas e construtivas indutoras do surgimento desta manifestação patológica. Segundo a autora, para que o fenômeno de degradação, ou envelhecimento, ocorra, faz-se necessária a presença de: fonte emissora de poluente, umidade, vento e chuva, que interagirão com os paramentos alterando a intenção estética do edifício.



Figura 1.2 - Manchas de sujeidade próximas ao peitoril de janelas de edifícios na cidade de Goiânia

Desta maneira, a presença de poluentes presentes na atmosfera - aliados as condicionantes climáticas - atua sobre as formas geométricas e detalhes de edifícios, afetando as características estéticas e funcionais das fachadas.

Além desta manifestação patológica, Selmo (1989) afirma que os paramentos, quando apresentam soluções de projetos inadequadas, criam regiões “permanentemente” úmidas na fachada, que podem gerar riscos de degradação superficial da pintura e das argamassas de revestimento por meio da deposição de poeira vegetal ou animal (algas, fungos, líquens e musgos) que se nutrem das matérias orgânicas e sais minerais presentes na construção e na atmosfera contribuindo com a proliferação destes microorganismos.



Figura 1.3 - Proliferação de microorganismos na platibanda de edifício na cidade de Goiânia

Segundo Shirakawa *et al.* (1995), o surgimento de microorganismos em revestimentos internos ou em fachadas causa alteração estética nas paredes (ou tetos) formando manchas escuras de tonalidades preta, marrom ou verde, além da grande relevância do assunto quanto aos problemas respiratórios propiciados pela formação de bolor.

A publicação *Recomendaciones y manuales técnicos* (1993) afirma que o conjunto formado pelo desenho arquitetônico e as estruturas definidas pela engenharia determinam a geometria do edifício e que uma importante percentagem de problemas pode ser atribuída ao não cumprimento de regras de projeto e de construção, assim como à quantidade de informações insuficientes e falta de conhecimento técnico. Diversos autores atribuem a grande parte dos decréscimos de durabilidade dos componentes e das partes do edifício às concepções

inadequadas, insuficiência de detalhes ou ausência de projetos, erros de especificação de materiais e técnicas construtivas (RESENDE; BARROS; MEDEIROS, 2001).

No entanto, as discontinuidades e paramentos proporcionados por soluções arquitetônicas e construtivas que formam saliências e projeções em virtude de aspectos estéticos, funcionais e construtivos podem, quando planejados, contribuir também com o desempenho. Tem-se como exemplo, a criação de pingadeiras nas fachadas e molduras em torno de janelas para proteção do interior do edifício contra a ação da penetração e infiltração da água da chuva. Assim, as decisões tomadas por projetistas, além de conformar o caráter estético da edificação, irão direcionar o comportamento frente aos fatores de deterioração refletindo na durabilidade da fachada.

Finalizando, é importante frisar que há de aceitar-se a degradação natural dos materiais de construção e da edificação, porém o envelhecimento precoce dos edifícios por quaisquer alterações de suas partes de maneira localizada e excessiva não é admissível (CARRIÉ; MOREL, 1975).

1.3 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados os objetivos gerais e os objetivos específicos determinados para o alcance da proposta de trabalho.

1.3.1 Objetivo geral

Por todo o contexto apresentado, o objetivo geral dessa dissertação é contribuir para análise e entendimento de aspectos que visem a durabilidade das fachadas de edifícios residenciais multipavimentos - com revestimento de argamassa e acabamento decorativo em pintura - a partir da compreensão da influência da chuva dirigida na cidade de Goiânia e dos detalhes arquitetônicos e construtivos utilizados nas edificações locais.

1.3.2 Objetivos específicos

Têm-se como objetivos específicos do presente trabalho:

- a) obter o índice de chuva dirigida livre e em parede vertical para a cidade de Goiânia nos anos 2002 a 2008, a partir de dados de índice de precipitação pluviométrica, velocidade média e direção de vento;
- b) observar se existem fachadas mais suscetíveis à deterioração pela infiltração de umidade oriunda da chuva;
- c) contextualizar a influência dos detalhes arquitetônicos e construtivos sob as manifestações patológicas de manchas de sujidade e ação de microorganismos;
- e) avaliar a inter-relação existente entre a chuva dirigida e os detalhes arquitetônicos e construtivos, sob os aspectos da deterioração das fachadas;
- f) identificar microorganismos por meio de análises microbiológicas por dispersão de suspensões em ultra-som e inoculação em meio de cultura específico para fototróficos.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este primeiro capítulo apresenta a introdução do tema, abordando o contexto geral e a justificativa da importância, o objetivo geral e os específicos, a estruturação do trabalho e as delimitações da pesquisa.

No Capítulo 2 é apresentada a primeira parte da revisão bibliográfica que abrange: os elementos climáticos; a ação do vento e da chuva sobre as edificações; o estudo da chuva dirigida, abordando conceitos, estudos realizados no Brasil e no mundo e métodos de mensuração.

A segunda parte da revisão bibliográfica, o terceiro capítulo, aborda o campo das manifestações patológicas por: infiltração, manchas de sujidades e formação de microorganismos em fachadas de edifícios.

O quarto capítulo apresenta a metodologia aplicada para a obtenção: do cálculo de índice de chuva dirigida livre e em parede vertical, da coleta de casos de infiltrações em fachadas de

edifícios em relação às direções N, S, E e O, das medições de umidade em fachadas, da identificação de microorganismos e dos dados de manifestações patológicas por inspeção visual e registro fotográfico de fachadas.

No capítulo seguinte, o quinto, os resultados obtidos, as avaliações e as discussões são apresentados.

Finalizando, o sexto capítulo traz as considerações finais da presente pesquisa, apresentando as conclusões da presente pesquisa, assim como as sugestões para trabalhos futuros.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho limita-se à compreensão do comportamento das fachadas de edifícios diante dos elementos do clima (vento, chuva, condensação, umidade e temperatura) e das fachadas (detalhes arquitetônicos e construtivos). De forma geral, pelas especificidades do clima de cada região e das características físicas das edificações, acredita-se que as fachadas de um mesmo edifício tendem a reagir de maneira diferenciada, isto é, apresentam níveis distintos de deterioração. Assim, pretende-se estudar, para as edificações com revestimento em argamassa e pintura na cidade de Goiânia, as seguintes manifestações patológicas: infiltração e manchas decorrentes de poluentes e microorganismos.

Deste modo, as pesquisas deste trabalho propuseram-se a:

- relacionar os casos de infiltração em fachadas com os índices de chuva dirigida obtidos por meio de dados da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET do estado de Goiás; e
- relacionar os níveis de manifestações patológicas pela formação de manchas nas fachadas em função dos pontos cardeais (N, S, E e O) e dos detalhes arquitetônicos e construtivos.

Não foi foco do trabalho estudar as manifestações patológicas de descolamento de revestimentos, eflorescência, saponificação e outras.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS DO CLIMA

O presente capítulo terá como finalidade apresentar uma breve revisão bibliográfica sobre os elementos do clima, que são fatores externos à edificação que influenciam na sua durabilidade, assim como realizar uma abordagem sobre a definição, as metodologias e as pesquisas desenvolvidas no Brasil e no mundo sobre a chuva dirigida, que é resultante da associação de dois elementos climáticos: a chuva e o vento.

2.1 ELEMENTOS CLIMÁTICOS

Climatologia é o estudo científico do clima voltado às aplicações práticas, tendo como objetivos descobrir, explicar e explorar o comportamento normal dos fenômenos atmosféricos, utilizando-se dos mesmos dados básicos da meteorologia na previsão do tempo, para aplicação na indústria, na agricultura, nos transportes, na biologia, na arquitetura e na engenharia (VIANELLO; ALVES, 2000).

Os elementos climáticos são as grandezas meteorológicas que comunicam ao meio atmosférico suas propriedades e características particulares, sendo os principais elementos: a chuva, o vento, a temperatura, a umidade, a nebulosidade e a pressão do ar. Estes elementos variam de acordo com o tempo e o espaço e são influenciados por fatores climáticos, tais como: flutuações na quantidade de energia solar emitida, variação na órbita terrestre, aumento ou diminuição do dióxido de carbono atmosférico, a quase periodicidade e anomalias na configuração das temperaturas da superfície oceânica e outros (VIANELLO; ALVES, 2000).

No entanto, para compreensão do tema proposto, serão tratados no item a seguir apenas os seguintes elementos do clima: precipitação, vento, temperatura, umidade e condensação.

2.1.1 Precipitação

O termo precipitação é usado pela meteorologia para caracterizar as deposições de água no estado sólido ou líquido provindas da atmosfera, como: chuva, geada, granizo, orvalho e nevoeiro. Dentre estes, somente a chuva e a neve contribuem significativamente com os índices totais de precipitação. Para a região dos Trópicos, o termo precipitação pluvial é sinônimo de precipitação, pois a neve só está presente em alguns locais, como em altas montanhas. (GARCEZ; ALVAREZ, 1988; AYOADE, 2003).

A precipitação é o resultado da condensação da umidade presente na atmosfera e que ocorre devida a:

- a) condições de saturação, geralmente por resfriamento;
- b) mecanismos que transformam o vapor de água em líquido ou sólido;
- c) mecanismos que provoquem o crescimento das gotículas de água ou dos cristais de gelo, e;
- d) mecanismos que produzam a acumulação de umidade com intensidade suficiente.



Figura 2.1 - Componentes do ciclo hidrológico (Disponível em: <http://geografias.blogspot.com>)

De acordo com Pinto *et al.* (1976), a ascensão de ar provoca o resfriamento, fazendo com que atinja seu ponto de saturação, seguido da condensação de vapor de água em forma de minúsculas gotas que são mantidas em suspensão em forma de nuvens ou nevoeiros.

As nuvens são formadas de aerossóis constituídos de gotículas de água no estado líquido ou sólido com diâmetros de 0,01 mm a 0,03 mm, espaçadas de aproximadamente 1 mm entre si, mantidas em suspensão por efeito de turbulência ou de correntes de ar ascendentes (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Para que ocorra a precipitação, faz-se necessário que o peso formado pelas gotículas de água seja maior que a força que as mantém em suspensão, isto é, que possua uma velocidade de queda superior às componentes verticais de movimento de ar. Segundo Garcez e Alvarez (1988), as gotas de chuva – que possuem diâmetros entre 0,5 mm a 2 mm - são 10^5 e 10^6 maiores que as gotículas constituintes das nuvens. Os autores mencionam também que o diâmetro máximo que uma gota de chuva pode alcançar é de 5,5 mm, e que acima deste valor rompem-se devido à resistência do ar.

A distribuição de precipitação é mais complexa que outros fenômenos naturais, como a temperatura. Isto se deve ao fato de que praticamente toda precipitação é resultante do resfriamento adiabático devida à ascensão das massas de ar que pode ser provocada pela convecção térmica, pelo relevo ou pela ação frontal de massas (AYOADE, 2003).

Grande parte do território do Brasil está localizada na zona de clima quente intertropical. O país possui um regime equatorial no Amazonas e Norte com chuvas de outono. Já a zona subequatorial, que envolve parte do Norte e do Nordeste, ocorrem as chuvas de inverno; O Sul do país encontra-se na zona de clima temperado (subtropical), com regime de chuvas regular, com tendências de índices máximos nos meses de inverno e no Centro-Sul, zona de regime tropical, ocorrem as chuvas de verão.

A Figura 2.2 apresenta mapas brasileiros representando a precipitação anual e o número de dias de chuva anual. Nota-se que o país tem alta incidência de chuvas durante o ano e também que chove muito durante muitos dias por ano.

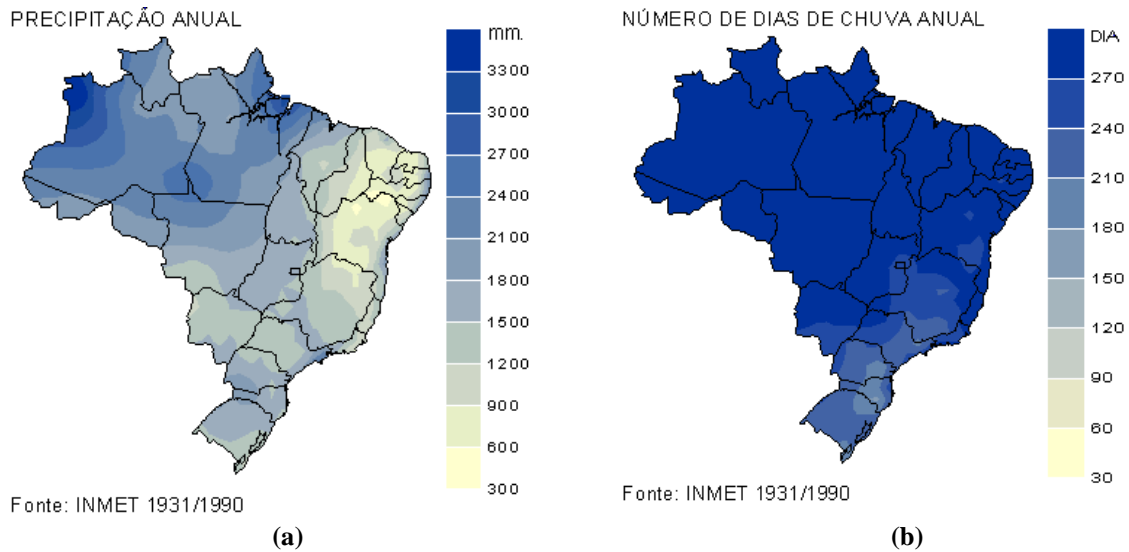


Figura 2.2 - Precipitação anual (a) e número de dias de chuva anual (b) (INMET, 2004)

De acordo com Ayoade (2003), em muitas partes dos trópicos a precipitação ocorre principalmente no período do verão em parte do ano, sendo a outra estação relativamente seca, principalmente no inverno, como é o caso da cidade de Goiânia.

A quantificação total de precipitação de um determinado local é denominada pluviometria, onde o termo *pluvia* tem sua origem no latim e significa chuva. Para o material sólido - a neve - a medição é feita provocando-se antes a fusão do gelo. De acordo com Silva (2006), a quantificação de precipitação é dada em termos de espessura de formação de uma camada de água sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, medindo 1 m² e adotando-se a unidade em milímetros (mm), correspondente à queda de 1 litro de água por metro quadrado de projeção.

A precipitação ainda é caracterizada em função da duração e da intensidade, sendo utilizados instrumentos de leitura denominados pluviômetros. Os dois tipos de aparelhos mais utilizados para a medição das precipitações são: os simples receptores, que recolhem a água e armazenam para posterior medição volumétrica, e os aparelhos registradores, que registram continuamente a quantidade de chuva que recolhem (pluviógrafos) (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Segundo Ayoade (2003), o volume de água captado por um pluviômetro situado em um determinado local depende de vários fatores, tais como: a altura do medidor em relação ao solo, a velocidade do vento e a taxa de evaporação. Quanto maior a altura do pluviômetro em relação ao solo, menor será o volume de água captado, assim como o volume tende a diminuir em função da crescente velocidade ou turbulência do vento. Deste modo, os pluviômetros

devem estar bem situados, longe de obstáculo para que não haja influência no volume de água captada.

2.1.2 Movimento atmosférico do ar: vento

De acordo com Vianello e Alves (2000), qualquer movimento atmosférico de ar na superfície ou em grandes alturas pode ser designado de vento. Segundo Ayoade (2003), o movimento atmosférico é a soma de dois componentes: movimento em relação à superfície da Terra, que gera o vento, e movimento em conjunto com a Terra, ao girar em torno do seu eixo, influenciando na direção dos ventos sobre a Terra.

Existem dois tipos de movimento atmosférico que são o horizontal e o vertical, e a causa básica e fundamental é o desequilíbrio na radiação líquida, na umidade e no *momentum* entre as baixas e altas latitudes, e entre a superfície da Terra e a atmosfera. Ainda há outros fatores que influenciam a circulação atmosférica, que são: a topografia, a distribuição das superfícies continentais e oceânicas e as correntes oceânicas (AYOADE, 2003).

São quatro os controladores do movimento horizontal do ar próximo à superfície da Terra: a força de gradiente, a força Coriolis ou defletora, a aceleração centrípeta e a força de fricção (BARRY; CHORLEY, 2004). A principal indutora desta movimentação é o desenvolvimento e a manutenção do gradiente de pressão horizontal que induz a movimentação do ar de áreas de alta pressão para áreas de menor pressão, onde a diferença de pressão é criada por fatores térmicos ou mecânicos (AYOADE, 2003).

O movimento vertical atmosférico é muito importante na formação de nuvens e precipitação, servindo como principal parâmetro a ser tratado pelas atividades que lidam com a previsão do tempo (VIANELLO; ALVES, 2000). De acordo com Ayoade (2003), o movimento vertical na atmosfera ocorre em larga e baixa escalas. O movimento vertical em larga escala ocorre em grandes áreas de vários milhares de quilômetros quadrados numa escala de tempo de poucos metros por segundo. O movimento vertical em baixa escala acontece sobre pequenas áreas de poucas centenas de quilômetros quadrados com uma escala temporal de 1 m a 30 m por segundo. Todos os dois tipos de movimento vertical também contribuem com a origem da condensação atmosférica.

2.1.3 Temperatura

Segundo Ayoade (2003), a temperatura, junto à precipitação, é o elemento do clima mais discutido do tempo atmosférico e pode ser definida em termos do movimento de moléculas e define que quanto mais rápido o deslocamento destas, mais elevada será a temperatura. A temperatura também é definida em termos relativos com base no grau de calor que um corpo possui.

Vários fatores podem influenciar a distribuição de temperatura sobre a superfície terrestre, podendo-se citar: a quantidade de insolação recebida, a natureza das superfícies, a distância de corpos hídricos, o relevo, os ventos predominantes e as correntes oceânicas. A latitude é o principal fator controlador do volume de insolação recebido por determinado lugar e a angulação dos raios solares, junto à duração do dia, são determinados pela localização latitudinal deste lugar. O volume de energia solar também será afetado por outros condicionantes, como: a quantidade de nuvens e outros constituintes atmosféricos (aerossóis e CO₂, por exemplo).

De acordo com Lima, Morelli e Lecioni (2005), os estudos de durabilidade devem levar em consideração principalmente as variações de amplitudes térmicas diárias, mensais e anuais, devida à influência que exercem nos processos físicos e químicos de degradação dos materiais de construção. Como exemplo, a variação da temperatura pode provocar o aquecimento e o resfriamento de elementos das fachadas causando mudanças dimensionais pela dilatação e retração, respectivamente, levando ao descolamento e destacamento de revestimentos cerâmicos.

2.1.4 Umidade

A umidade é o termo utilizado para definir a quantidade de vapor de água na atmosfera, não sendo usado para a forma líquida e sólida da água presente na atmosfera. Segundo Ayoade (2003), a presença de umidade diminui com o acréscimo da altitude, estando fortemente concentrada nas baixas camadas da atmosfera.

O vapor de água atmosférico é originado da superfície terrestre a partir da evaporação e da transpiração. De acordo com Varejão-Silva (2003), a evaporação na meteorologia é o termo para designar a transferência de umidade para a atmosfera sob a forma de vapor decorrente de: solos úmidos sem vegetação, oceanos, rios e lagos, enquanto que a evapotranspiração é o

termo empregado para a transferência de vapor proveniente de superfícies vegetadas, englobando, assim, duas contribuições: a evaporação da umidade de substratos (solo ou água) e a transpiração resultante da atividade biológica dos seres.

Existem diferentes formas de se medir o conteúdo de vapor de água na atmosfera: umidade absoluta, específica, índice de massa ou de umidade, temperatura do tempo de orvalho, pressão vaporífica e relativa (VIANELLO; ALVES, 2000; AYOADE, 2003).

A umidade relativa é a razão entre o conteúdo real de umidade em determinada amostra de ar e a quantidade de umidade que o mesmo volume de ar pode conservar na mesma temperatura e pressão, quando saturado, ou melhor, a relação entre a razão de mistura observada e aquela que prevaleceria em condições saturadas. Esta é a medida de umidade de ar mais utilizada por ser facilmente obtida e computada, sendo assim expressa em percentagem e necessária a utilização de termômetros de mercúrio, bulbo seco e bulbo úmido.

Segundo Ayoade (2003), a região dos trópicos por apresentar variações de temperatura significativas também exhibe variações consideráveis de umidade ao longo do dia. Durante a estação chuvosa, nas regiões próximas ao litoral dos trópicos úmidos, a umidade relativa pode alcançar os 100% no período da noite. Por outro lado, no interior continental dos trópicos a umidade relativa atinge valores mínimos à tarde nas estações secas. É importante esclarecer que a umidade relativa não informa a quantidade de umidade na atmosfera, e sim quão próximo o ar está do ponto de saturação.

Vianello e Alves (2000) são categóricos em afirmar a importância da umidade relativa do ar nas diversas atividades do homem e também das conseqüências que o excesso de umidade pode acarretar à engenharia. No aspecto da saúde, relatam que o clima excessivamente úmido coloca o organismo humano a condições de desconforto e doenças pulmonares, pela criação de meios que favorecem a presença de fungos causadores de processos alérgicos. Porém, a baixa umidade do ar pode provocar outros tipos de problemas, como os respiratórios.

2.1.5 Condensação

De acordo com Barry e Chorley (2004), a condensação é a causa direta das diferentes formas de precipitação, em decorrência da mudança de volume, temperatura, pressão ou umidade do ar. Para tanto, quatro mecanismos devem ocorrer para a formação da condensação:

- o ar deve ser resfriado até o ponto de orvalho³, mas o volume deve permanecer constante;
- o volume do ar deve aumentar sem a adição de calor, esfriando-se o ar por expansão adiabática;
- ocorrer variação conjunta na temperatura e no volume, reduzindo a capacidade de retenção de umidade do ar; e
- a evaporação acrescentar umidade ao ar.

Segundo Ayoade (2003), a condensação na atmosfera ocorre pelo resfriamento do ar além do ponto de orvalho, que alcança, assim, o ponto de saturação. O resfriamento pode ser ocasionado por: perda de calor por condução para superfícies frias (conhecido como resfriamento por contato), mistura com um ar mais frio e resfriamento adiabático por causa da elevação do ar.

O resfriamento por contato é geralmente produzido pelo ar quente e úmido ao encontrar superfícies frias (AYOADE, 2003). O autor ainda afirma que o resfriamento por contato acontece também no ar, nas noites claras e calmas, pelas condições favoráveis de forte radiação terrestre. De acordo com Varejão-Silva (2003), a condensação do excesso de vapor, decorrente do resfriamento do ar, favorece a formação de gotas de água nas superfícies em contato com o ar.

2.2 AÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS SOBRE A EDIFICAÇÃO

Neste item serão abordados os aspectos da ação da água da chuva e do vento sobre as edificações, assim como o comportamento destes dois elementos do clima quando associados, ou melhor, quando agem em conjunto.

³ O ponto de orvalho é a temperatura, para uma dada pressão barométrica, até a qual certa quantidade de ar deve ser resfriada para que o vapor d'água que ela contém se condense.

2.2.1 A ação da água da chuva sobre a edificação

Segundo Garden (1963), a água em excesso é o agente principal de degradação de paredes e materiais empregados na edificação, sendo a chuva uma das suas principais fontes. De acordo com Straube (2002), os aspectos nocivos da umidade - de qualquer que seja sua origem - têm sido determinantes na estimulação de estudos e pesquisas com o objetivo de desenvolvimento de alternativas que viabilizem a durabilidade de edifícios, atuantes tanto na área da ciência e da tecnologia dos materiais quanto das soluções de projeto. A presença de umidade em abundância pode contribuir dentre outros, com:

- corrosão eletroquímica de metais;
- proliferação de microorganismos (bolor e mofo), conforme ilustração da Figura 2.3;
- descoloração dos revestimentos de fachadas;
- variação dimensional de componentes, materiais e elementos construtivos, como: o concreto, o revestimento de argamassa, blocos, gesso etc.;
- manchamento;
- eflorescência;
- criptoflorescências;
- lixiviação; e
- aumento na transmissão de calor.



Figura 2.3 - Mancha interna devido à penetração de água através da esquadria presente na fachada

Dos aspectos citados anteriormente, talvez o menos discutido por trabalhos e pesquisas - diferentemente dos demais - seja a transmissão de calor. A este respeito, Chand e Bhargava (2002) afirmam que o acúmulo de água nas paredes externas faz com que os materiais percam resistência térmica, tornando a edificação mais suscetível ao fluxo de calor.

Árgiles (1999 *apud* SILVA, 2007) afirma que uma das explicações para a ocorrência dos problemas é que a água, em qualquer dos estados físicos da matéria que se possa vir a aparecer no ambiente – sólido, líquido ou gasoso –, tem a capacidade de penetrar, mover-se e reagir com diversos materiais levando-os à deterioração. Ainda pelo autor, a água possui capacidade de penetrar em cavidades e poros extremamente finos, tendo como outro agravante a permanência por longos períodos dentro dos materiais, já que possui elevada temperatura de evaporação em relação a outros líquidos.

Apesar das vedações assumirem a função de tornar a edificação estanque à umidade, assim como a outros elementos do clima, este requisito – estanqueidade – pode, em algumas ocasiões, estar comprometido pelos próprios materiais empregados na indústria da construção, que em sua maioria são tidos como porosos, como: os elementos de concreto, as alvenarias, as cerâmicas e os revestimentos de argamassa (MEDEIROS, 1998).

Para tanto, Straube (2002) relata que para os problemas citados ocorram, outras três condições precisam estar presentes, além da própria água:

- rotas ou caminhos para a umidade ser conduzida;

- presença de força direcional para causar o movimento da umidade; e
- o material do revestimento ser suscetível à deterioração.

Entretanto, Garden (1963) explica que apenas a eliminação de uma destas condições é o suficiente para a prevenção de problemas decorrentes da água, pois estes somente ocorrerão na associação dos três fatores. Contudo, segundo Medeiros (1998), os problemas de deterioração sempre estarão presentes alternando-se a frequência, a intensidade e a tipologia.

O estudo realizado por Grimm (1982 *apud* MEDEIROS, 1998) – baseados em revisão literária que contabilizou 233 artigos e publicações – traz a penetração de umidade em fachadas como o maior problema relacionado à água. Estudos atuais apontam outros fatores que predisõem ou intensificam os problemas penetração de água nos edifícios pelo fenômeno atmosférico da chuva que são: a direção e a velocidade do vento.

A umidade proveniente da chuva e da condensação também é apontada como um dos aspectos relevantes em dois outros tipos de deterioração de edifícios, que são as manifestações patológicas pela formação de microorganismos (fungos, bactérias, algas e líquens) e sujidades, responsáveis pelo envelhecimento de fachadas, que são discutidas no Capítulo 3.

2.2.2 A ação do vento sobre a edificação

Como discutido anteriormente, o vento é produzido pelas diferenças de massas de ar, no entanto, o comportamento do escoamento do vento nas cidades é determinado também pela morfologia urbana, ou seja, pelas condições topográficas e pela rugosidade do solo representadas pelos obstáculos, como edifícios e vegetações (GANDEMER, 1975).

Para a elaboração de projetos de estruturas de edificações, a norma brasileira NBR 6123 (ABNT, 1988) estabelece que procedimentos de cálculo de ventos devem ser realizados, baseados em aspectos que regem suas forças, como a ação estática e dinâmica. A velocidade característica é obtida pela equação a seguir:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2.1)$$

Onde:

V_k = Velocidade característica (m/s);

V_0 = Velocidade básica (m/s);

S_1 = Fator topográfico;

S_2 = Fator de rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno; e

S_3 = Fator baseado em conceitos probabilísticos.

Os fatores S_1 , S_2 e S_3 são apresentados por meio de tabelas presentes na norma, onde parâmetros devem ser analisados de acordo com as peculiaridades de cada projeto e região. As curvas de isopletas representam os valores da velocidade básica contida na equação, ilustradas na Figura 2.4.

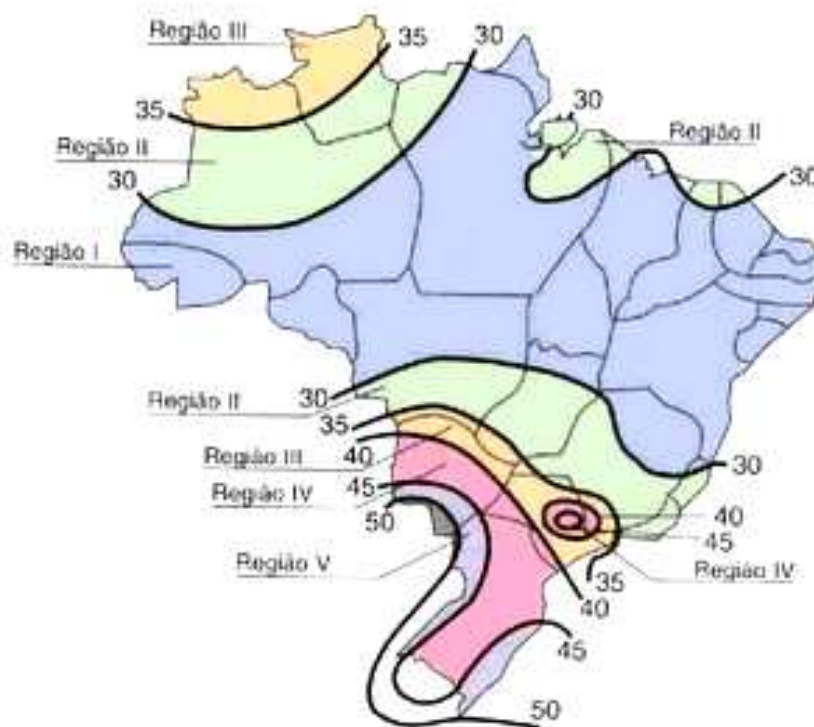


Figura 2.4 - Mapa de isopletas da velocidade básica (V_0 em m/s) para o Brasil (ABNT NBR 6123, 1988)

Penwarden e Wise (1975, *apud* VIEIRA, 2005) demonstram em desenho esquemático que a variação da velocidade de vento dependerá dos tipos de configuração das regiões, citando como exemplo: o campo aberto, a área suburbana e o centro urbano. Nas áreas de maior densidade a velocidade do vento diminui próxima a superfície, enquanto que nas regiões de baixa densidade no nível do solo a velocidade do vento é maior, como ilustrado na Figura 2.5.

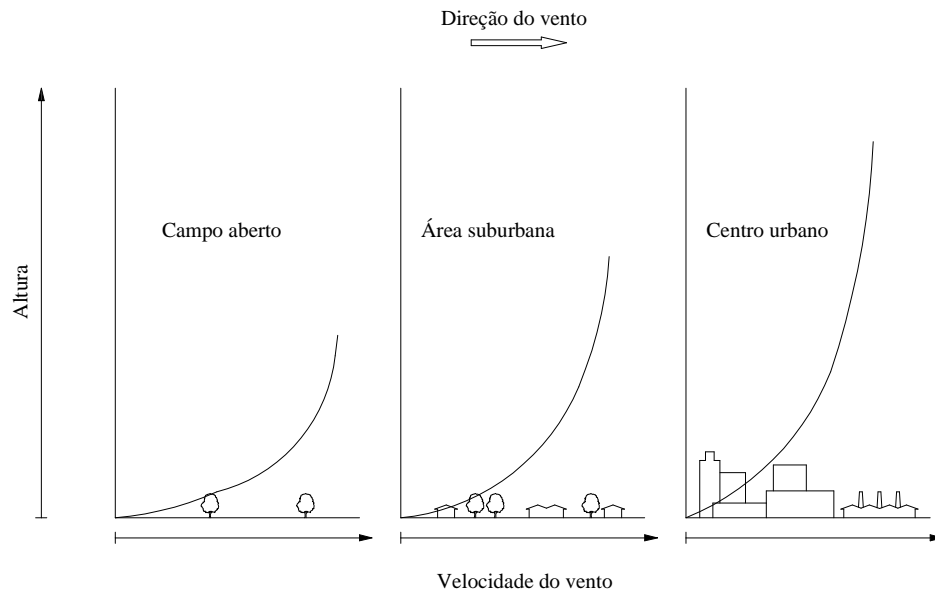


Figura 2.5 - Variação da velocidade do vento em diferentes tipos de terrenos (PENWARDEN; WISE, 1975 apud VIEIRA, 2005)

Mac Donald (1975, apud VIEIRA, 2005) explica que os obstáculos presentes na superfície terrestre influenciam diretamente na intensidade e direção do vento. O autor afirma que na proximidade do solo das zonas urbanas há a diminuição da velocidade do vento e também o aumento da turbulência, como ilustrado na Figura 2.6.

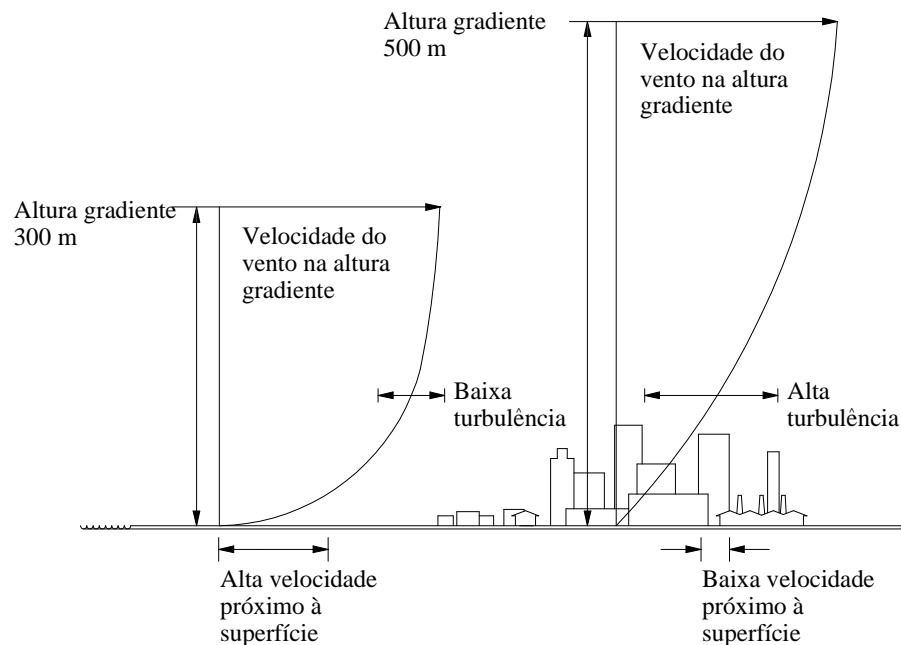


Figura 2.6 - Efeito da rugosidade superficial nas características do vento (MAC DONALD, 1975 apud VIEIRA, 2005)

Gandemer (1975) relata que em estudo realizado em diferentes partes de planos espaciais conseguiu-se identificar vários efeitos da aerodinâmica na relação das edificações sobre o

comportamento do vento. Os experimentos foram realizados pensando-se em situações que representaram as configurações urbanísticas, ou seja, as realidades construtivas.

Dos principais efeitos estudados por Gandemer (1975), têm-se: efeito abrigo, barreira, *Venturi*, corredor ou canal e abertura.

O efeito abrigo é considerado como uma anomalia devida à dificuldade de quantificá-lo. Pelo arranjo proporcionado pelo conjunto de edificações, nascem locais de abrigo contra o vento pelos próprios edifícios, conforme ilustrado na Figura 2.7.

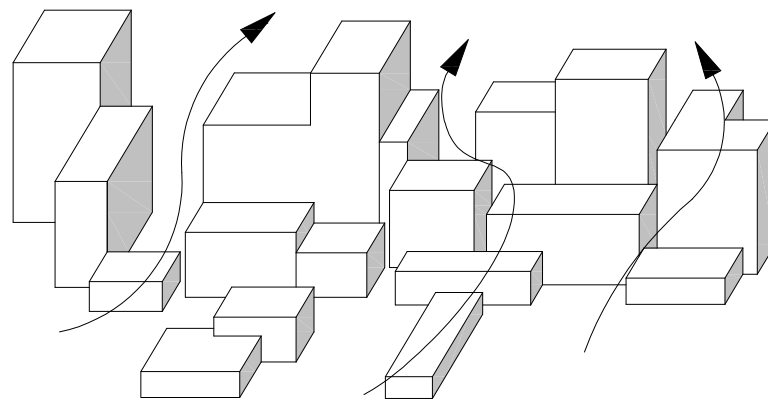


Figura 2.7 - Efeito abrigo (GANDEMER, 1975)

Gandemer (1975) explica que o efeito barreira é caracterizado para construções em forma de paralelepípedos, com largura que não ultrapassa 10 m, de alturas homogêneas e inferiores a 30 m e de comprimento mínimo de oito vezes a sua própria altura. Segundo o autor, este efeito é explicado para os casos em que o ar encontra obstáculos à sua frente e tende a fluir pela trajetória de menor resistência, e nos casos de barreiras muito largas parte ou todo desse ar será empurrado para cima, formando faixas de ar ascendentes, resultando no efeito aerodinâmico de barreira. Assim, os edifícios de menores alturas que estiverem atrás destas barreiras estarão protegidos do escoamento de ar (Figura 2.8).

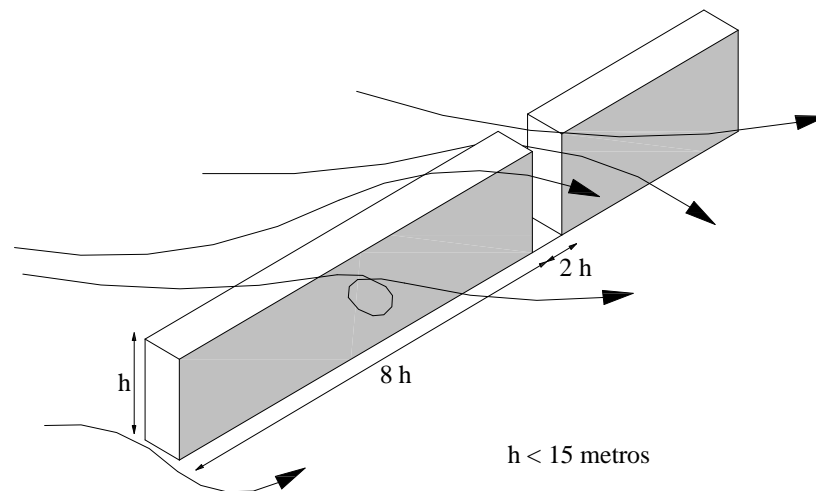


Figura 2.8 - Efeito barreira (GANDEMER, 1975)

O efeito *Venturi* é descrito por Gandemer (1975) como o fenômeno de funil criado por duas estruturas que não se encontram. Por este aspecto, há uma aceleração do escoamento de ar pelo afunilamento proporcionado pelas edificações separadas, cujo eixo apresenta-se em ângulo agudo ou reto. A altura das edificações para que o fenômeno ocorra deve ser superior a 15 m e o comprimento não menor que 100 m. Segundo o autor, quando a abertura no final do “canal” possui dimensões iguais a 2 a 3 vezes a altura média dos edifícios, o escoamento de ar atinge velocidade máxima (Figura 2.9).

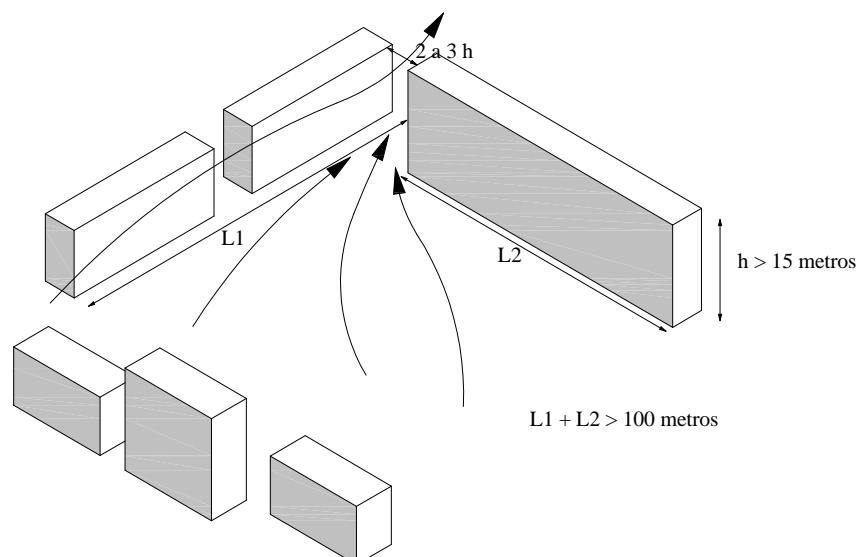


Figura 2.9 - Efeito Venturi (GANDEMER, 1975)

O efeito de corredor ou canal acontece para edificações que estão posicionadas paralelamente entre si formando um corredor, que resultará numa aceleração do escoamento do ar quando a

largura deste corredor for menor que 3 vezes a altura das edificações, como ilustrado na Figura 2.10 (GANDEMER, 1978).

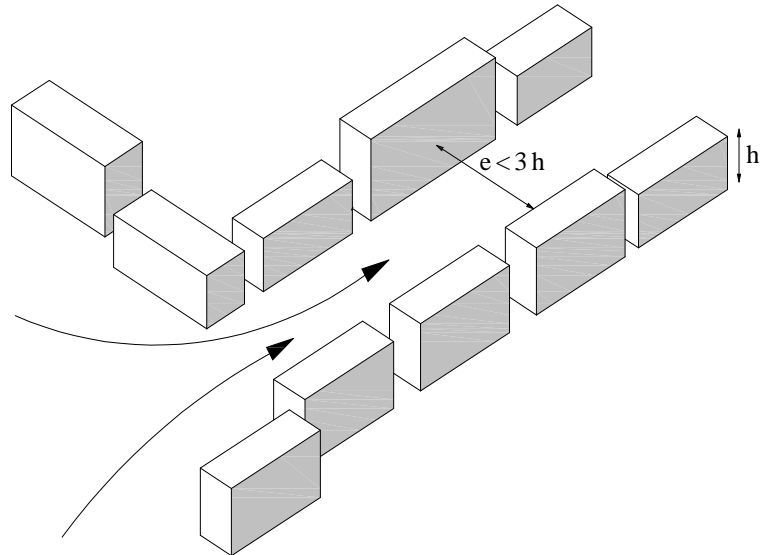


Figura 2.10 - Efeito corredor ou canal (GANDEMER, 1978)

Outro efeito descrito por Gandemer (1978) é o de abertura, que ocorre estritamente nas bases de edifícios sobre pilotis ou aberturas onde a variação do escoamento de ar pelas aberturas individuais é bastante intensa, resultando em esguichos ou jatos de ar e forte efeito a sotavento (Figura 2.11).

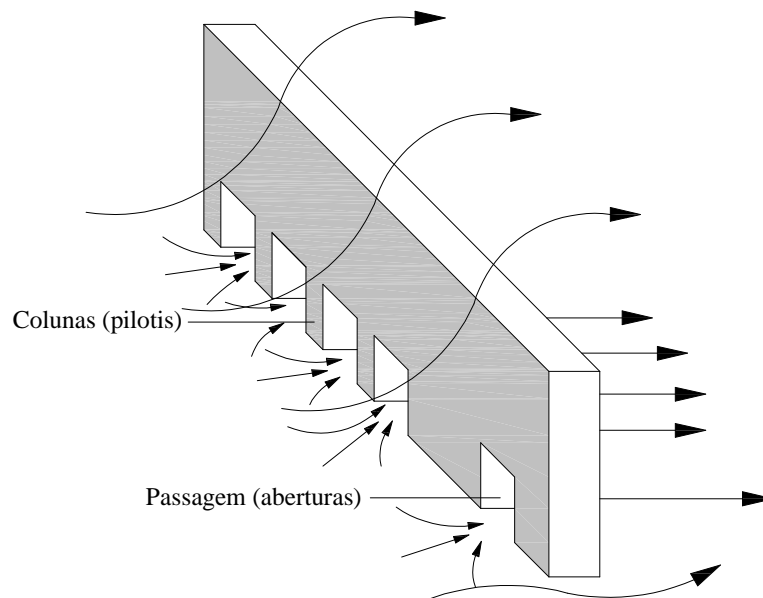


Figura 2.11 - Efeito abertura (GANDEMER, 1978)

A partir de estudos realizados em túneis de vento, Penwarden e Wise (1975 *apud* VIEIRA, 2005) chegaram à conclusão de que o padrão de escoamento do ar dependerá das características de aproximação, isto é, pela direção do vento a barlavento e pela tipologia da edificação, como altura e largura. Segundo os autores, ao incidir sobre uma edificação o vento muda de direção e gera aumento de velocidade no nível do solo e nas laterais do edifício. Ocorre o ponto máximo de pressão na fachada do edifício a aproximadamente $\frac{3}{4}$ de altura à barlavento. Como resultante, ocorre um forte escoamento descendente de vento formando um vórtice intenso junto ao solo, que ao encontrá-lo é direcionado a sotavento pelo vento médio. Há aceleração do escoamento de ar nas arestas da edificação e aumento da pressão da base, como ilustrado na Figura 2.12.

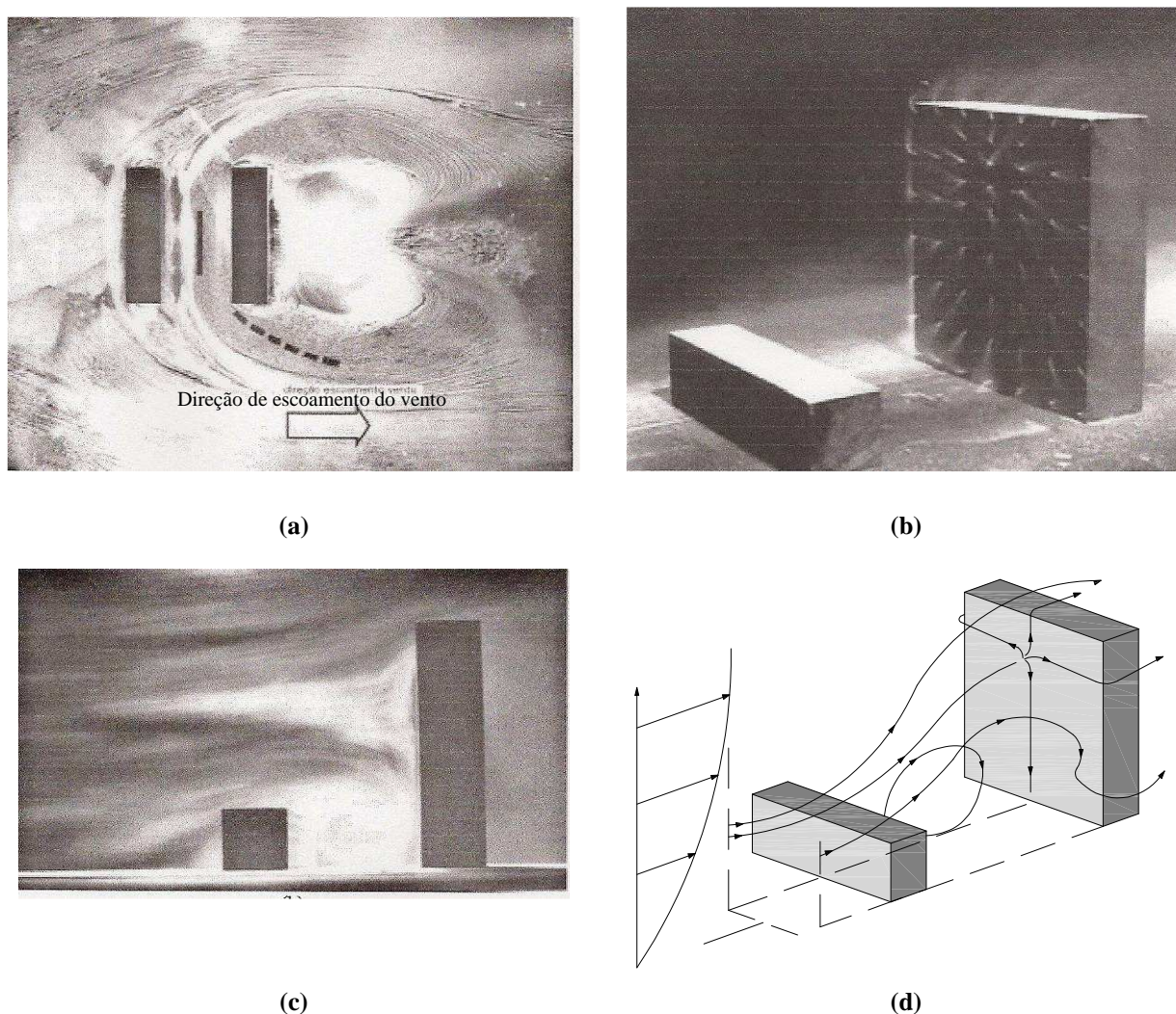


Figura 2.12 - Simulação em túnel de vento do escoamento do vento ao redor de um edifício alto com edificação baixa a barlavento. Vista superior (a), perspectiva (b), vista lateral (c) e forma simplificada do típico escoamento do vento (PENWARDEN; WISE, 1975 *apud* VIEIRA, 2005)

As edificações de altura inferior na posição barlavento alteram o comportamento e fluência do ar, podendo agravar os efeitos do vento sobre edifícios adjacentes. Em áreas urbanas o escoamento é constantemente modificado em virtude de aspectos urbanísticos chegando a operar independentemente das correntes dominantes e podendo influenciar também no fenômeno da chuva e nas manifestações patológicas associadas ao vento e à chuva.

2.2.3 Comportamento da chuva associada ao vento sobre a edificação

A orientação de uma determinada fachada tem relevância em relação à incidência de chuva carregada por um vento pluvial dominante, isto é, os lados da edificação que estiverem voltados a ventos predominantes de determinada região receberão maiores quantidades de chuva.

Porém, Vallejo (1990) relata que a quantidade de água da chuva que consegue alcançar uma fachada é menos da metade prevista pela teoria, isto porque mais da metade deste total perde-se devido aos desvios das trajetórias das gotas em decorrência de fluxos de vento surgido na intenção de transpor o obstáculo (o edifício). Para as edificações livres, isto é, edifícios que não sofrem a influência de obstáculos na trajetória de vento, a chuva golpeia principalmente a parte superior e as laterais da fachada pela ação do ar em movimento, como se pode observar na ilustração da Figura 2.13.

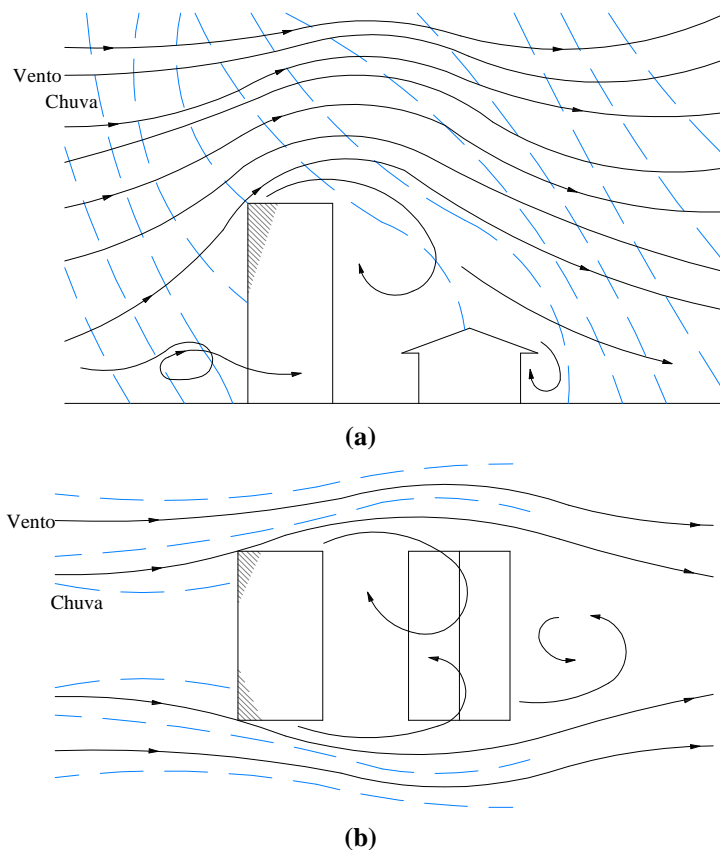


Figura 2.13 - Atuação do vento e chuva sobre edificações com diferentes níveis de proteção. Representação em elevação (a) e em planta (b) (VALLEJO, 1990)

Robinson e Baker (1977 *apud* PETRUCCI, 2000) confirmam que gotas pequenas podem ser mais facilmente defletidas de encontro ao edifício em relação às gotas grandes, umedecendo os cantos extremos – topo e esquinas – e elementos salientes na face voltada a barlavento.

Pesquisas que se utilizaram de observações de edificações em escala real, modelos reduzidos em túneis de vento e dados de coletores de chuva sobre a fachada comprovaram que o padrão de umedecimento das fachadas pela chuva possui, inicialmente, um padrão característico em forma de parábola. A Figura 2.14 representa o padrão de umedecimento no momento da chuva, onde a variação de tons da cor azul, do escuro ao mais claro, equivale, respectivamente, desde as áreas mais umedecidas até as menos umedecidas. (COUPER, 1972 *apud* PETRUCCI, 2000).

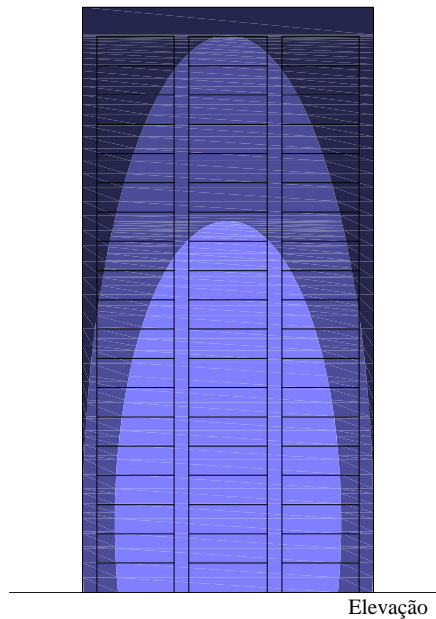


Figura 2.14 - Parábola da chuva incidente (COUPER, 1972 *apud* PETRUCCI, 2000)

A quantidade de chuva não incidirá sobre as edificações de maneira uniforme, havendo tendências para deposições nas áreas de topo e esquinas da face exposta, enquanto que o restante da fachada será umedecido pelo escoamento da água pelas superfícies já saturadas.

A associação entre a chuva e o vento é descrita por alguns autores como a chuva dirigida ou incidente, assunto que será abordado a seguir, trazendo também as formas de mensuração do fenômeno.

2.3 CHUVA DIRIGIDA

Chuva dirigida (ou chuva incidente) nasce da tradução do termo em inglês *wind-driven rain*, sendo empregado por autores também o termo *driving rain*. Representa a chuva que é dada por uma componente de velocidade horizontal de vento, que faz com que a caia obliquamente.

A associação de vento e chuva cria o vetor de intensidade de chuva oblíqua. A partir da compreensão da relação entre chuva e as fachadas de edificações, o termo intensidade de chuva dirigida restringe-se à componente de vetor de intensidade de chuva que causa fluxo de água sobre um plano vertical, definição esta adotada pelo CIB (*International Council for Building Research*) (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

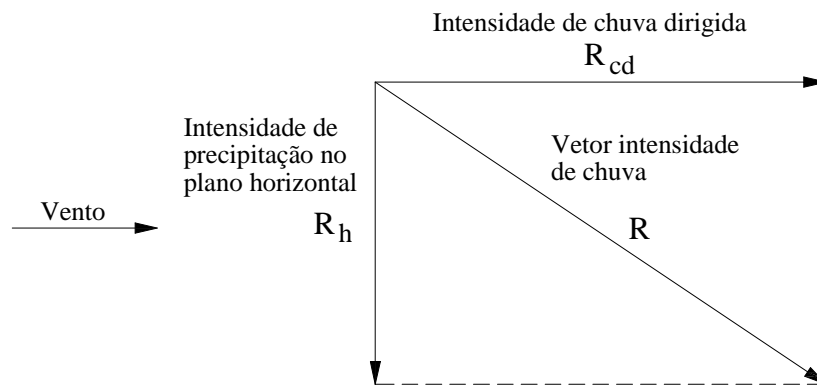


Figura 2.15 - Vetor de intensidade de chuva R e suas componentes. Intensidade da chuva dirigida R_{cd} e intensidade de precipitação no plano horizontal R_h (BLOCKEN; CARMELIET, 2004)

Outros autores também expressam a definição em relação aos planos verticais, ou melhor, às próprias edificações. Para Van Mook (2002), chuva dirigida é a precipitação pluviométrica carregada pelo vento e direcionada ao invólucro da edificação, afirmando que sem vento não há chuva dirigida. Straube (2002) define-a como a quantidade de chuva que passa através de um plano na vertical.

Karagiosis *et al.* (1997) definem também a chuva dirigida como aquela em que as gotas são carregadas pelo vento com um ângulo em relação a um determinado plano vertical. Entretanto, o ângulo em que as gotas de chuva atingirão o plano vertical dependerá de outro fator, que é o tamanho das gotas; quanto maior o diâmetro maior a força de vento necessária para a indução do aumento do ângulo de incidência.

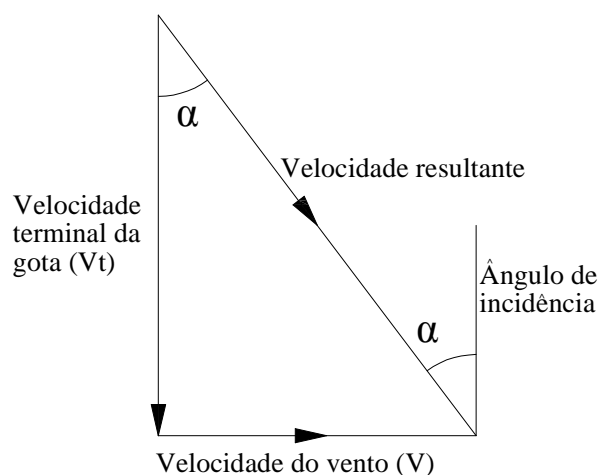


Figura 2.16 - Sistemas de forças atuantes sobre uma gota de chuva (BAUER, 1987)

A Figura 2.17 é um exemplo ilustrativo e demonstra a influência do vento quanto à direção da chuva e os diferentes níveis de exposição das fachadas. Segundo Thomaz (1990), sem a

incidência de vento, as gotas de chuva cairiam verticalmente e as fachadas pouco seriam umedecidas. Porém, com a presença do vento, as fachadas passam a se expor em diferentes níveis de umidade, que estarão diretamente influenciados pela direção e intensidade de vento.

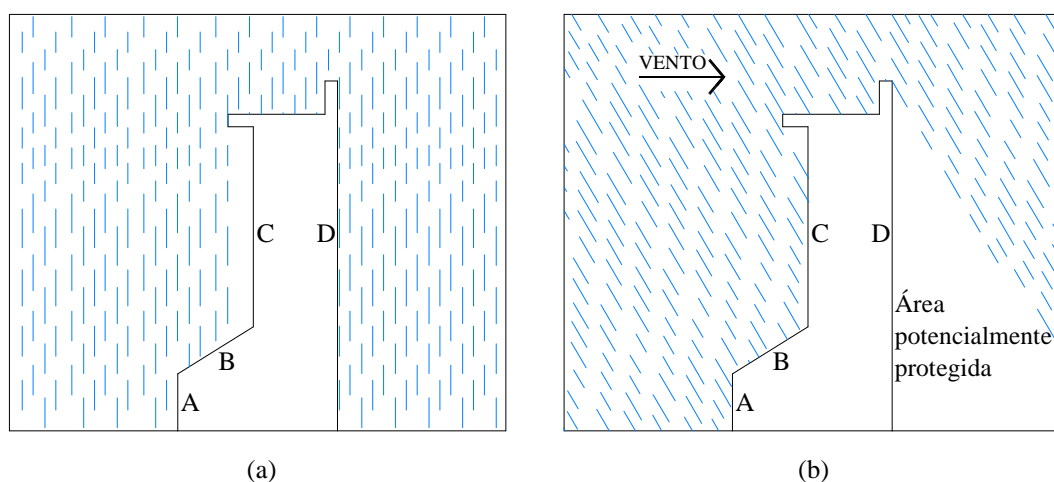


Figura 2.17 - Influência do vento na direção da chuva e na exposição das fachadas: (a) situação sem vento; (b) situação com vento (THOMAZ, 1990)

Devida à incidência de vento, as fachadas da edificação, ilustrada anteriormente, estarão sendo atingidas de maneira diferenciada, pois, as faces A, B e C estão expostas à água da chuva enquanto que a face D não está. As faces A e B ainda seriam mais agredidas pelo acúmulo de água em decorrência do escoamento da água pela face C.

A análise do comportamento higrotérmico e a durabilidade das fachadas requerem a quantificação da carga de chuva dirigida. As pesquisas sobre chuva dirigida no cenário mundial têm restringido-se a três métodos de quantificação: semi-empíricos, experimentais e numéricos (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

2.3.1 Abordagem geral

Os métodos aplicados por diversos pesquisadores para mensuração da chuva dirigida são: os experimentais, os semi-empíricos e os numéricos. Sucintamente, serão tratados todos estes métodos, aprofundando-se aos semi-empíricos porque serão aplicados para a obtenção dos índices de chuva dirigida na cidade de Goiânia.

Segundo Blocken e Carmeliet (2004), os métodos experimentais consistem em medições de chuva dirigida por meio coletores específicos. Assim como os aparelhos que medem a intensidade pluviométrica, os *WDR gauges* (expressão em inglês) coletam, através de

aberturas verticais, o montante de chuva dirigida, diferenciando-se dos medidores pluviométricos que são horizontais. Estes aparelhos não são produzidos industrialmente, e não existem normas que padronizem estes aparelhos, o que os leva a diferentes formatos e tamanhos. Resumem-se a bandejas que são dispostas no plano vertical, que captam a chuva dirigida levando-a para reservatórios de medição.

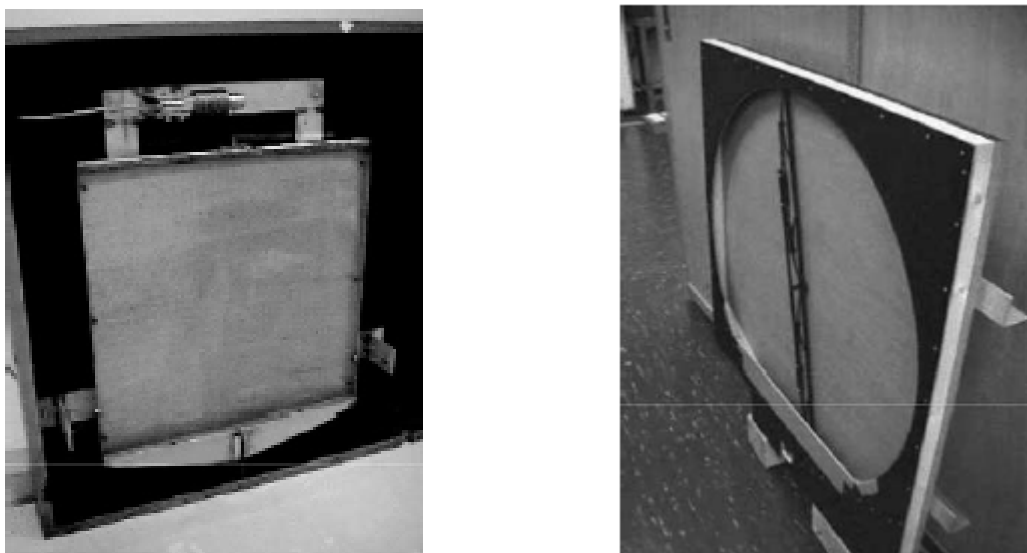


Figura 2.18 - Modelos de coletores de medição da água aderida da chuva dirigida (BLOCKEN; CARMELIET, 2004)

Van Mook (1998) explica que a eficiente captação do medidor depende do tamanho, forma e acabamento das superfícies do aparelho. Deve-se evitar que gotas remanescentes no coletor ou no canal de drenagem evaporem, respinguem para fora dos coletores ou que a forma dos captadores cause distúrbios extras ao vento.

Os métodos semi-empíricos, que serão abordados com maior destaque no item a seguir, baseiam-se em relações entre os dados de vento e precipitação e, segundo Blocken e Carmeliet (2004), a grande maioria destes métodos está baseada em duas relações propostas inicialmente por Hoppestad (1955), que são: o Índice de Chuva Dirigida e a Relação de Chuva dirigida.

Blocken e Carmeliet (2004) afirmam que devido à contínua constatação da complexidade do estudo da chuva dirigida pelos métodos experimental e semi-empírico, os pesquisadores perceberam que trabalhos adicionais poderiam ser realizados por meio de análises numéricas.

Dentre os métodos numéricos, o CFD (*Computational Fluid Dynamics*) é um método que permite o estudo das trajetórias de gotas de chuva baseados em cálculos de padrões de fluido em torno de edificações em 2D (duas dimensões). Blocken e Carmeliet (2004) dizem que

Choi (1991) criou um divisor de tempos para os métodos numéricos de pesquisas de chuva dirigida ao desenvolver o método numérico onde a trajetória das gotas de chuva é calculada baseada num estado fixo padrão de fluência de vento em 3D (três dimensões).

Para apresentação do grau de exposição em que as edificações situadas na cidade de Goiânia estão expostas, serão utilizados neste trabalho os métodos semi-empíricos abordados a seguir.

2.3.1.1 Cálculo de índice de chuva dirigida

Dentro do universo dos elementos climáticos, as medições dos padrões meteorológicos realizadas nas estações de tempo abrangem velocidade e direção de vento, além de pluviometria. O índice de chuva dirigida (ICD), por não ser obtido por estações de meteorologia padronizadas de tempo, estimulou o desenvolvimento de métodos semi-empíricos baseados nas medições de elementos climáticos.

Segundo Blocken e Carmeliet (2004), Hoppestad em 1955 iniciou os primeiros estudos sobre ICD e, durante os anos 60, o CIB (*Conseil International du Bâtiment*) estabeleceu como sendo o produto entre a velocidade do vento e a quantidade de precipitação, como apresentado na Equação 2.1. Esta metodologia foi aplicada, dentre outros, por Lacy (1977), Giralt (1995), Chand e Bhargava (2002), Lima e Morelli (2005) e Giongo (2007):

$$ICD = V \cdot \frac{P}{1000} \quad (2.1)$$

Onde:

ICD = Índice de chuva dirigida (m^2/s);

V = Velocidade média de vento (m/s); e

P = Total de precipitação (mm).

O cálculo deste índice pode ser apresentado de diversas formas: ICD anual, ICD mensal, ICD sazonal e ICD direcional. Para o ICD anual, mensal ou sazonal o cálculo é realizado a partir das médias anuais, mensais ou sazonais de velocidade média do vento e total de precipitação, respectivamente. O ICD direcional permite a criação de gráficos (tipo “rosetas”) que facilitam a visualização e a análise de cada direção quanto à exposição (GIONGO, 2007).

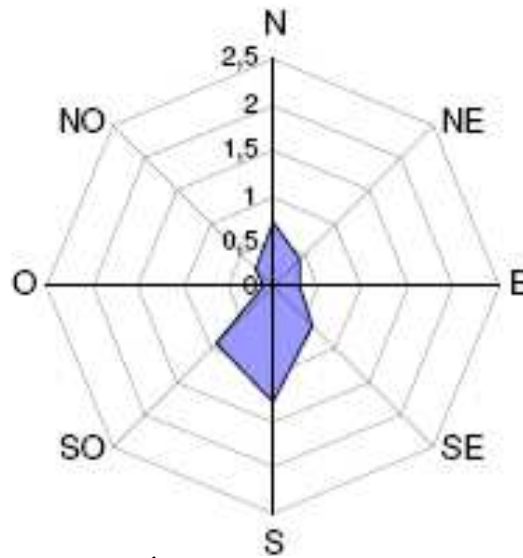


Figura 2.19 - Índice direcional de chuva dirigida direcional (m²/s) – Florianópolis, 1961-1970 (GIONGO, 2007)

2.3.1.2 Cálculo de montante de chuva dirigida em parede vertical

Para o montante de chuva dirigida em parede vertical (I_0), várias equações são disponibilizadas, fundamentadas em relações entre taxas de deposição de água em superfícies horizontais e verticais. Blocken e Carmeliet (2004) apresentam uma revisão sobre a formulação e aplicação de algumas das equações desenvolvidas por autores, que se baseiam em:

- a) tamanho igual das gotas num determinado evento de chuva e fluência de vento uniforme, fixo e horizontal, onde a intensidade de chuva dirigida passando por uma superfície vertical pode ser expressa pela Equação 2.2:

$$R_V = R_h \cdot \frac{V}{V_t} \quad (2.2)$$

Onde:

R_V = Taxa de chuva em superfície vertical (mm/tempo);

R_h = Taxa de chuva em superfície horizontal (mm);

V = Velocidade de vento (m/s); e

V_t = Velocidade terminal de queda de gota de chuva (m/s).

- b) tamanho médio das gotas em função da intensidade da precipitação e a velocidade final de queda das gotas, expressa pela Equação 2.3:

$$R_v = 0,222 \cdot V \cdot R_h^{0,88} \approx 0,222 \cdot V \cdot R_h \quad (2.3)$$

Onde:

V = Velocidade do vento (m/s);

R_v = Taxa de chuva em superfície vertical (mm/tempo);

R_h = Taxa de chuva em superfície horizontal (mm); e

0,222 (s/m) = Coeficiente de chuva dirigida (valor médio) resultante das relações empíricas adotadas.

- c) dos efeitos locais, onde o coeficiente médio de chuva dirigida (0,222) da equação é substituído pelo coeficiente α , apresentado na Equação 2.4:

$$R_v = \alpha \cdot V \cdot R_h \cdot \cos \theta \quad (2.4)$$

Onde:

V = Velocidade do vento (m/s);

R_v = taxa de chuva em superfície vertical (mm/tempo);

R_h = taxa de chuva em superfície horizontal (mm);

α = Fator de chuva dirigida; e

θ = Ângulo entre a direção do vento e a linha normal à parede (graus).

Para a Equação 2.2, a direção do vento é considerada como perpendicular à superfície vertical em todos os momentos e como se não ocorresse deflexão do vento e das gotas de chuva pelas superfícies. Conforme Blocken e Carmeliet (2004), o expoente 0,88 da Equação 2.3 pode ser desprezado sem interferência significativa nos resultados.

Nos estudos realizados na Noruega sobre a exposição de chuva dirigida em parede vertical, Rydock *et al.* (2005) utilizaram a Equação 2.5 para determinar a quantidade acumulada de água da chuva em superfície vertical para cada direção:

$$I_0 = 0,206 \cdot \sum_{D=\theta-80^\circ}^{\theta+80^\circ} R_D \cdot V_D \cdot \cos(D - \theta) \quad (2.5)$$

Onde:

I_0 = Montante de chuva dirigida em parede vertical (mm/tempo);

R_D = Precipitação média para a direção D (mm);

V_D = Velocidade média do vento para a direção D (m/s);

D = Direção do vento (graus); e

θ = Ângulo entre o Norte e a direção normal à parede (graus).

Lacy (1965 *apud* RYDOCK *et al.*, 2005) constatou em seus estudos de 75 eventos de chuva durante 16 anos, que 1 m²/s corresponde aproximadamente a 0,206 m ou 206 mm de chuva dirigida em parede vertical, o qual foi utilizado por Rydock *et al.* (2005) como fator de conversão. O autor explica que o somatório é tomado sobre todos os ângulos D que representam o vento soprando contra a parede, incluindo os setores $\theta - 80^\circ$ a $\theta + 80^\circ$.

A principal vantagem da Equação 2.5 é que, de acordo com Rydock (2004), as distribuições angulares de carga de chuva dirigida obtidas são de alta precisão em termos de direção de vento.

Em seu trabalho, Giongo (2007) utiliza a Equação (2.6) para cálculo do montante de chuva dirigida em parede vertical (I_0) para a cidade de Florianópolis-SC. A autora, além dos ICD anual, mensal e sazonal, calcula os I_0 para as direções N, NE, E, SE, S, SO, O e NO (I_{360} , I_{45} , I_{90} , I_{135} , I_{180} , I_{225} , I_{270} e I_{315}), apresentando ao final o grau de exposição da região, como ilustrado na Figura 2.20.

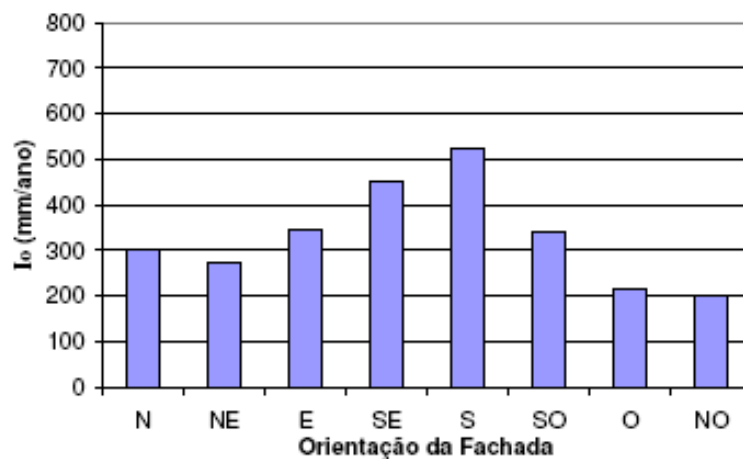


Figura 2.20 - Montante de chuva dirigida em parede vertical – Florianópolis 1991/1993 – 1996 (GIONGO, 2007)

2.3.2 Mapas de chuva dirigida

O primeiro mapa de chuva dirigida, construído com o princípio do ICD, foi elaborado por Hoppestad em 1955 para a Noruega e, posteriormente, para outros países da Europa. Para o Reino Unido, Lacy e Shellard em 1962 publicam o mapa de chuva dirigida baseados no produto entre os valores de velocidade de vento e precipitação (Blocken; Carmeliet, 2004). A Figura 2.21 ilustra o mapa de chuva dirigida para o Reino Unido.

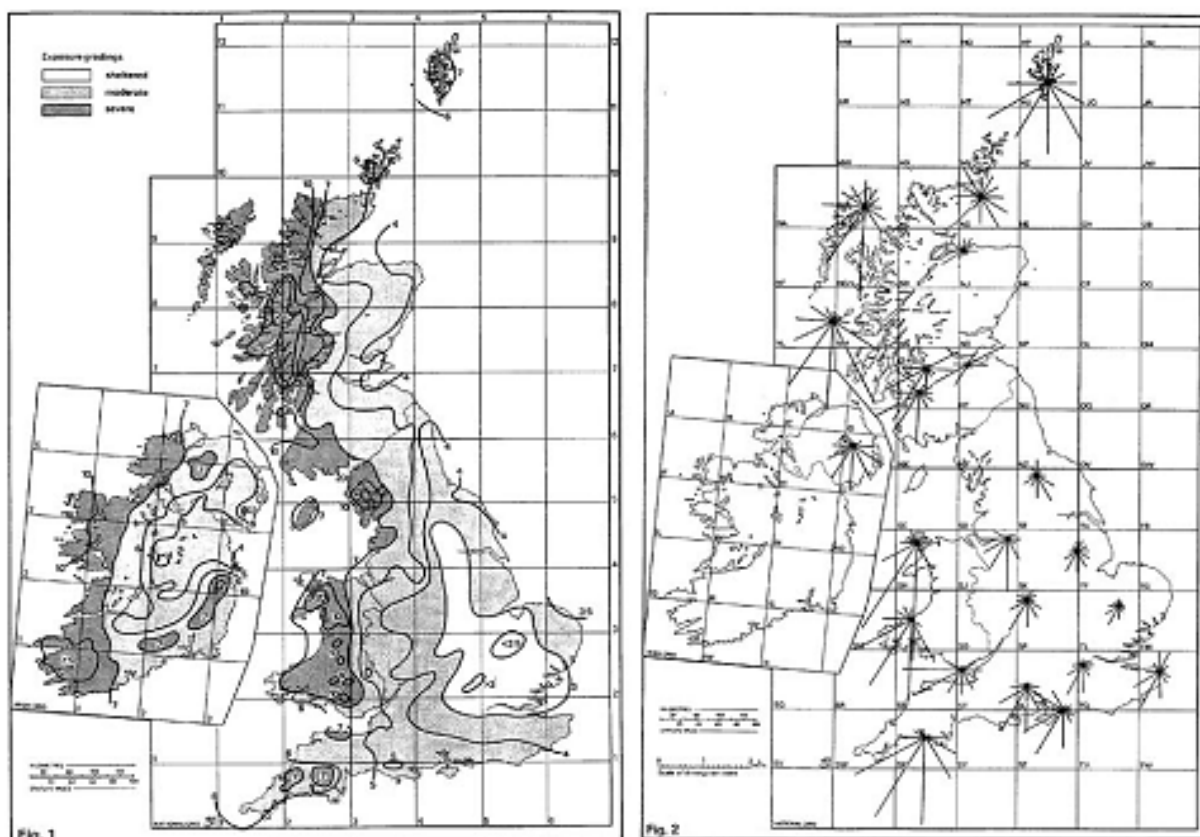


Figura 2.21 - Mapa de chuva dirigida do Reino Unido. Esquerda: Mapa de chuva dirigida com graus de exposição: branco = protegido; cinza claro = moderado; cinza escuro = severo. Direita: Mapa de chuva dirigida direcional, onde o comprimento das retas representa a magnitude do índice de chuva dirigida das diferentes direções (LACY, 1971 *apud* BLOCKEN; CARMELIET, 2004)

No trabalho realizado por Chand e Bhargava (2002), é apresentado o mapa de chuva dirigida para a Índia, baseado na proposta de Lacy (1964, 1971), onde o ICD é a soma do produto de precipitação horária e da velocidade de vento, nos períodos em que ocorreram chuvas. Segundo os autores, este aspecto é importante para o verdadeiro indicativo da quantidade de chuva em superfícies verticais quando comparado aos índices que englobam as velocidades de vento nos instantes em que não ocorreu chuva.

Como parâmetros para enquadrar as edificações e suas respectivas regiões em níveis de agressividade, Lacy (1965 *apud* CHAND; BHARGAVA, 2002) adota três faixas de exposição à chuva dirigida de acordo com o ICD anual, sendo: para ICD menores que $3 \text{ m}^2/\text{s}$ - exposição protegida; para exposição moderada - ICD entre 3 e $7 \text{ m}^2/\text{s}$; e para ICD acima de $7 \text{ m}^2/\text{s}$ - exposição severa, como resumido na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Faixas de exposição à chuva dirigida proposta por Lacy (1977)

Faixa	Grau de exposição
$ICD \leq 3m^2/s$	Protegida ou branda
$3m^2/s < ICD \leq 7m^2/s$	Moderada
$ICD > 7m^2/s$	Severa

Porém, Chand e Bhargava (2002) já vêm as condições severas de ambiência para ICD maiores que $11m^2/s$, criando assim uma quarta faixa, como apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Faixas de exposição à chuva dirigida proposta por Chand e Bhargava (2002)

Faixa	Grau de exposição
$ICD \leq 3m^2/s$	Protegida
$3m^2/s < ICD \leq 7m^2/s$	Moderada
$7m^2/s < ICD \leq 11m^2/s$	Alta
$ICD > 11m^2/s$	Severa

O primeiro mapa de chuva dirigida no Brasil foi desenvolvido por Lima e Morelli (2005) adotando as quatro faixas de exposição estabelecidas por Chand e Bhargava (2002). Segundo os autores, este mapa não apresenta os sentidos direcionais de ICD, trazendo apenas informações do grau de exposição. O mapa foi elaborado com os dados disponíveis na página do *site* do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) no ano de 2004.

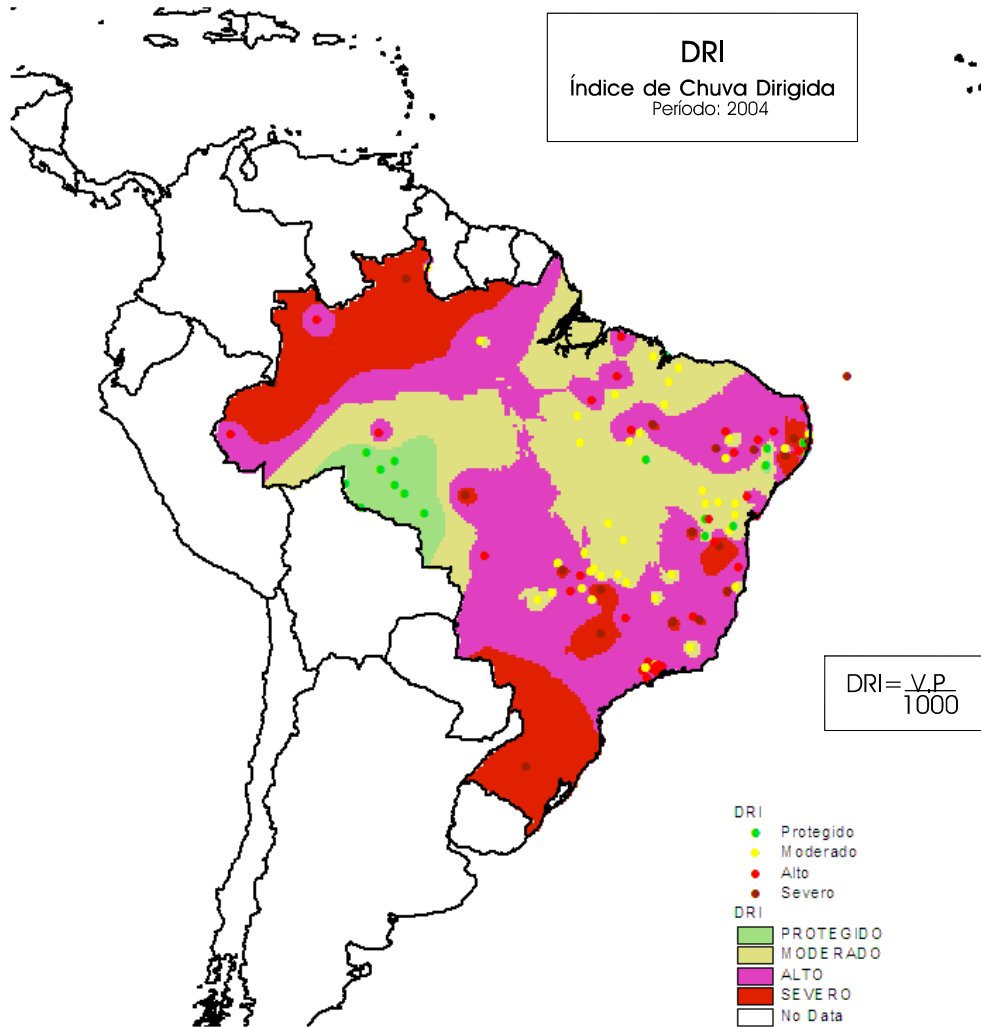


Figura 2.22 - Mapa brasileiro de chuva dirigida com base nos dados do ano de 2004 (LIMA; MORELLI, 2005)

Cabe salientar-se que outro aspecto que deve ser observado, segundo Marsh (1977), para as distâncias menores que 8 km do mar nas áreas com ICD menores que $3 \text{ m}^2/\text{s}$, a exposição deve ser considerada moderada, e entre 5 e $7 \text{ m}^2/\text{s}$ exposição deve ser considerada severa. Para o trabalho desenvolvido por Lima e Morelli (2005), a aproximação com o litoral foi levada em consideração para a criação do mapa brasileiro de chuva dirigida.

CAPÍTULO 3

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR UMIDADE

Além dos elementos inerentes à fachada, a presença de fatores externos à edificação corrobora com o surgimento de manifestações patológicas que vão desde a simples perda da estética das fachadas até os casos nocivos à saúde do homem, como o crescimento de microorganismos que podem causar doenças aos usuários.

Chuva, vento, umidade, condensação, material particulado em suspensão no ar são exemplos de elementos da natureza e do processo de urbanização que, por sua agressividade, colocam os edifícios em situações desfavoráveis, reduzindo a durabilidade das construções em virtude da falta compreensão sistêmica destes fatores no ato de projetar.

Neste terceiro capítulo, serão apresentados as prováveis causas e aspectos que norteiam o surgimento de algumas das manifestações patológicas por umidade, que são: infiltração e manchamento das fachadas. Vale lembrar que esta última manifestação está associada, principalmente, à formação de sujidades pelos poluentes lançados na atmosfera e ao crescimento de microorganismos e pela dificuldade de diferenciação visual dessas duas manifestações com precisão. Apesar dos mecanismos de transporte, deposição e adesão terem princípios semelhantes, o capítulo terá itens específicos para a abordagem de cada um dos temas.

3.1 INFILTRAÇÃO DE UMIDADE EM FACHADAS

Grimm (1982) e Choi (1999) afirmam com base em revisão bibliográfica que o maior problema relacionado à ação da água da chuva sobre as vedações está voltado a penetração na fachada. A infiltração – como também é denominado o fenômeno de penetração de água - além de ser considerada uma manifestação patológica, pode trazer também outros problemas à edificação e suas partes, como a formação de microorganismos.

3.1.1 Funções e propriedades dos revestimentos de argamassa

Carasek (2007) afirma que os revestimentos de argamassas podem ser constituídos por várias camadas com suas respectivas funções e características, sendo utilizadas em áreas internas, muros e fachadas de edificações. Dentre as funções dos revestimentos para fachadas, podem-se listar:

- proteger tanto a alvenaria quanto a estrutura das ações nocivas das intempéries (chuva, vento, temperatura e umidade);
- regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base para o acabamento decorativo; e
- realizar a integração dos sistemas de vedação, contribuindo com diversas funções, como: isolamento acústico e térmico, segurança ao fogo, resistência ao abalo e desgastes superficiais e estanqueidade ao vento e à água.

De acordo com Bauer (1987), em relação ao combate da infiltração, o revestimento de fachada é concebido com a função de auxiliar a alvenaria na proteção contra a entrada de água. A NBR 15755 (ABNT, 2008) estabelece como um dos requisitos a estanqueidade à água pelos sistemas verticais de vedação seja proveniente da chuva ou de ações de manutenção ou reparação.

Sabbatini (1990) explica que a permeabilidade à água é uma propriedade dos revestimentos com relação à absorção capilar e também às fissuras presentes no revestimento. Diversos serão os fatores que influenciarão na permeabilidade do revestimento, como: traço, materiais constituintes, técnicas de execução, espessura do revestimento, natureza da base e tipos de fissuras.

Quanto ao requisito de permeabilidade ao vapor de água, esta propriedade será sempre recomendada aos revestimentos por permitir que a umidade possa ser eliminada. A permeabilidade também é importante para a erradicação de umidade em ambientes internos, principalmente em regiões de clima mais frio (SABBATINI, 1990).

3.1.2 Aspectos condicionantes para a infiltração de umidade em fachadas

Grimm (1982) afirma que para que haja a penetração de umidade pela fachada de edificações três condições fundamentais precisam estar presentes:

- a) lâmina de água escorrendo pela fachada;
- b) aberturas que possibilitem a passagem da água, podendo apresentar-se em forma de poros ou fissuras; e
- c) pressão do vento, sucção capilar ou ação gravitacional.

Silva (2007) enfatiza que os fatores atenuantes dos problemas pela umidade são os aspectos relacionados às características dos materiais empregados nas fachadas do edifício, como a rugosidade e a porosidade do revestimento, que irão interferir no escoamento e grau de absorção da água, respectivamente.

O comportamento da água oriunda de chuvas sobre a fachada poderá ocorrer em quatro estágios: o primeiro será pelo fenômeno de capilaridade, onde a umidade de chuvas pouco intensas é absorvida superficialmente pelos poros dos materiais que revestem a fachada, como ilustrado na Figura 3.1 (a); após determinado período, ocorre a saturação destes poros, conforme Figura 3.1 (b); sobre a superfície saturada, há uma formação de lâmina de água fina que escoar lentamente influenciando no aumento da absorção, como ilustrado na Figura 3.1 (c); e escoamento de fluxo de água após absorção de umidade de chuva muito intensa, como apresentado na Figura 3.1 (d). Ressalta-se que quanto maior a intensidade do vento maior será o poder de penetração de água na parede e a rugosidade do revestimento irá determinar a velocidade de escoamento. Assim, quanto mais rugosa for a superfície, mais lento será o escoamento e maior será a capacidade de absorção por capilaridade (ARGILÉS, 1999 *apud* SILVA, 2007).

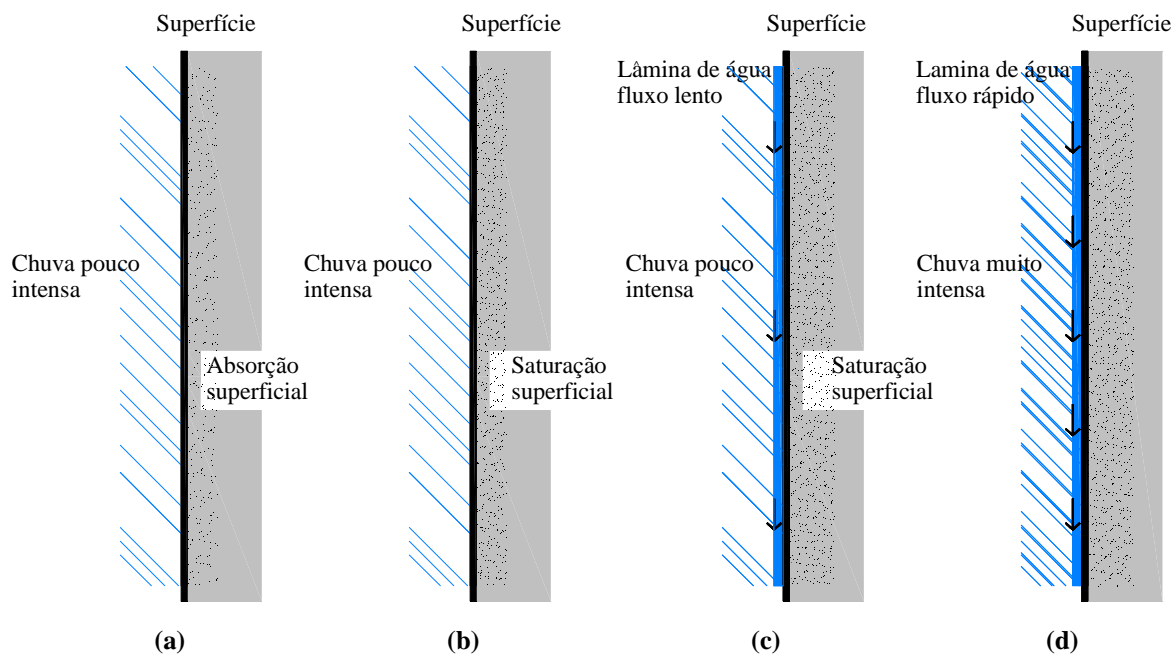


Figura 3.1 - Fases de interação de água nas fachadas (ARGILÉS, 1999 *apud* SILVA, 2007)

A fluidez do filme de água é influenciada pela textura superficial, assim como pela força da gravidade e movimento do ar ao longo da parede e, além disso, as superfícies de baixa absorção fazem com que a espessura do filme aumente gradativamente na fachada dos pavimentos inferiores do edifício (GARDEN, 1963).

Do ponto de vista dos materiais porosos, há uma grande diversidade de materiais com estas características presentes nas fachadas, como: concreto, alvenaria, argamassa, revestimento cerâmico e acabamento em pintura. Os poros desses materiais possuem diâmetros entre $0,28 \times 10^{-9}$ m e $0,013 \times 10^{-3}$ m. A entrada de água no interior dos poros dos materiais se dá por meio da absorção capilar e quando os materiais apresentam-se saturados a absorção aproxima-se de zero. Poros com diâmetros de 10^{-6} m possuem ordem de grandeza da força de penetração de água de 282.000 N/m^2 (BAUER, 1987).

As fissuras em edificações são manifestações patológicas decorrentes dos mecanismos de alívio de tensões pelas alterações dimensionais, deslocamentos e variações de volume ao longo do período em serviço, podendo ser decorrentes de processos físico-mecânicos ou químicos (MEDEIROS; FRANCO, 1999; CARASEK, 2007).

Gaspar, Flores-Colen e Brito (2006) explicam que as edificações são sistemas complexos e heterogêneas e que assim estão sujeitas a comportamentos diferenciados que podem afetá-las como um todo ou às suas partes. Desta maneira, quando o comportamento diferenciado de

suas partes ultrapassa a capacidade de resistência dos elementos e componentes afetados, ocorre a fratura.

Dentre as causas mais tratadas na literatura sobre o surgimento de fissuras, têm-se: as movimentações térmicas e higroscópicas, atuação de sobrecargas, deformabilidade das estruturas de concreto armado, recalques de fundação, retração dos produtos à base de cimento e as alterações químicas dos materiais de construção (THOMAZ, 1989). A seguir, é realizada uma discussão resumida das principais causas de fissuração.

As superfícies de vedação de edificações estão sujeitas às variações sazonais de temperatura que promovem uma variação dimensional dos materiais de construção, onde os movimentos de dilatação e contração são limitados por causa das interfaces que constituem os sistemas e em decorrência desta limitação de movimentos surgem as tensões que provocam fissuras. As movimentações térmicas também estão voltadas as propriedades físicas dos materiais, já que a origem de fissuras pode ocorrer devida a movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material (THOMAZ, 1989).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), o principal aspecto responsável pela absorção da radiação solar e, por conseqüência, na promoção de variações dimensionais são as cores dos revestimentos, sendo os valores de absortância representados de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Absortância em função de tonalidades das cores (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997)

Cores	A
Escuras	0,7 – 0,9
Médias	0,5 – 0,7
Claros	0,2 – 0,5

As pinturas escuras em fachadas aumentam as probabilidades de aparição de fissuras e a combinação de tonalidades escuras e claras nos revestimentos aumentam as possibilidades de ocorrência dos problemas devidos aos diferentes coeficientes de absortância (THOMAZ; HELENE, 2000 *apud* SAHB, 2005).

As movimentações higroscópicas provocam nos materiais porosos o mesmo princípio de variação dimensional, onde o aumento do teor de umidade proporciona a expansão dos elementos e a diminuição provoca a contração. Os dois fatores responsáveis pela absorção de

água pelos materiais de construção são: a porosidade e a capilaridade, sendo a última o fator preponderante para a variação do teor de umidade dos materiais.

De acordo com Bauer (1987), as variações dimensionais da argamassa pela umidade são maiores que as variações dos blocos pela ordem de grandeza, isto é, na presença de água as argamassas são mais expansivas; entretanto a movimentação diferenciada não é suficiente para o aparecimento de fissuras, a menos que a ligação entre argamassa e bloco seja muito fraca.

Thomaz (1989) afirma que a ocorrência inicial de microfissuras nas argamassas de revestimento pode ser ocasionada em superfícies não impermeabilizadas pela sucessão de umedecimento e secagem e pela associação das próprias movimentações térmicas. Outro aspecto bastante importante são as regiões que recebem uma maior incidência de água resultando na fissuração dos revestimentos de argamassa. São os casos de elementos arquitetônicos e construtivos (peitoris, frisos, cimalthas e outros) que possuem o objetivo de interromper o fluxo de água e defletir-lo para distante da edificação, mas que quando mal projetados ou executados podem causar problemas pontuais na fachada, como ilustrado na Figura 3.2.

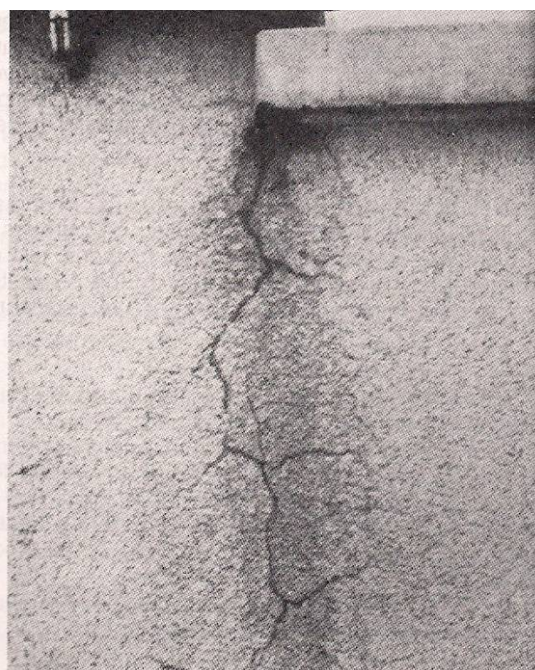


Figura 3.2 - Fluxo de água interceptado no peitoril da janela escorre lateralmente ao mesmo, provocando a fissuração da argamassa de revestimento (THOMAZ, 1989)

Segundo Palmer (19__ *apud* BAUER, 1987), as variações devidas à umidade são maiores que as variações por ocasião da temperatura para as condições climáticas médias.

A atuação de sobrecargas é apontada por Thomaz (1989) como outro aspecto indutor de fissuração em pilares, vigas e paredes, onde, por falhas de execução, erro no cálculo estrutural ou ainda por solicitação de cargas superiores ao previsto, estas podem vir a acontecer, mesmo que na fase de projeto tenha-se pensado na atuação das cargas.

As fissuras decorrentes do comportamento mecânico diferenciado entre estruturas e elementos de vedação têm acontecido com maior frequência (MEDEIROS; FRANCO, 1999). Segundo Thomaz (1989), Medeiros e Franco (1999), o avanço tecnológico do concreto armado - proporcionado pela fabricação de aços com maior elasticidade, produção de cimentos com melhor qualidade e métodos avançados de cálculo - possibilitou a produção de estruturas com menor rigidez, isto é, mais flexíveis, o que obriga a análises mais criteriosas das deformações da estrutura e suas conseqüências.

Carasek e Cascudo (2007) comprovam este novo cenário ao afirmarem que as práticas construtivas tendem a criar edificações mais altas, podendo apresentar maior esbeltez e deformabilidade, diferentes das construções do passado.

Assim, as deformações sofridas pela estrutura são transmitidas para a alvenaria, estando o módulo de deformação da alvenaria voltado ao tipo e natureza do bloco, tipo de argamassa, dimensões dos blocos e espessura das juntas de assentamento e, ainda, à capacidade de fissuração da alvenaria relacionada à extensão de aderência entre bloco e argamassa (MEDEIROS; FRANCO, 1999).

Com o intuito de prevenção de fissuras e trincas em fachadas, assim como o surgimento de descolamento de revestimentos, manchas e outras manifestações, alguns profissionais vêm incorporando projetos específicos para o revestimento de fachadas, que visam definir materiais e técnicas a serem empregados e especificação de detalhes construtivos em prol de uma melhor qualidade do produto final (CARASEK; CASCUDO, 2007).

Outros fatores que contribuem para uma maior deformabilidade das estruturas estão ligados a fase de execução, destacando-se: menores prazos de escoramento fixo e reescoramento, ausência de cuidados na cura, precocidade na execução da alvenaria e menores prazos na sua fixação e aspectos voltados a conceitos projetuais, como maiores áreas livres para garagem,

mais paredes apoiadas sobre lajes, menor número de pilares e vigas e maiores áreas em balanço (MEDEIROS; FRANCO, 1999).

As fissuras por recalques de fundação estão relacionadas à capacidade de carga e a deformabilidade dos solos, onde os seguintes fatores estão intimamente ligados à:

- tipo e estado do solo;
- disposição do lençol freático;
- intensidade de carga, tipo de fundação e cota de apoio da fundação;
- dimensões e formato da placa carregada; e
- interferência de fundações vizinhas (THOMAZ, 1989).

De acordo com Carasek (2007), a retração de produtos à base de cimento está ligada à variação do volume, principalmente para as argamassas que apresentam relações água/aglomerante em teores elevados. A retração dá-se pelas reações de hidratação do cimento, porém, a principal causa é a perda de água para o meio ambiente por secagem. Para as regiões de clima quente, seco e de ventos fortes, o processo da perda de água é mais severo, o que não permite que a argamassa possua tempo suficiente para atingir resistência à tração e suportar as tensões internas na argamassa causando, assim, a fissuração do revestimento (Carasek, 2007).

Thomaz (1989) salienta a importância de distinguir as três formas de retração que podem acontecer nos produtos à base de cimento:

- retração química: reação entre o cimento e a água acarretando numa perda de volume devido à forças interiores de coesão;
- retração por secagem: evaporação da água livre em excesso contida na argamassa, onde a evaporação gera forças capilares equivalentes à compressão isotrópica, reduzindo, assim, o volume; e
- retração por carbonatação: redução de volume gerada quando a cal hidratada, liberada nas reações de hidratação do cimento, reage com o gás carbônico presente no ar, formando, assim, o carbonato de cálcio.

Ainda pelo autor, a fissuração em revestimentos de argamassa por alterações químicas pode decorrer da hidratação retardada de cales ou de ataque por sulfato. Ambas as manifestações necessitam da presença de água resultando em reações que proporcionam o aumento do volume e a expansão do produto destas reações tem como consequência o aparecimento de fissuras.

Sobretudo, Bauer (1987) relata que na maioria dos casos a penetração de água dá-se pela presença de pequenas fissuras presentes na interface bloco-argamassa e que esta resistência à penetração dependerá do preenchimento total das juntas, tanto verticais quanto horizontais, e da extensão de aderência entre bloco e argamassa.

No trabalho realizado por Sahb (2005), foi constatado que cerca de 90% dos edifícios localizados na cidade de Goiânia apresentam fissuras e trincas relacionadas à movimentação estrutural, sejam devidas aos carregamentos atuantes ou relacionadas à variação térmica, principalmente das lajes de cobertura.

Como apresentado, são vários os fatores que podem levar à fissuração dos elementos de vedação e o controle das fissuras muitas vezes foge ao alcance devido às características e particularidades inerentes à construção civil. Além desta manifestação patológica, existem também os diversos materiais porosos empregados e através destes caminhos, casualmente presentes nos elementos de vedação, a edificação estará sempre disposta à penetração de umidade, uma vez que a presença de água nas faces externas é corriqueira, seja por eventos da natureza (chuva) ou por operações de manutenção e limpeza.

Gaspar, Flores-Colen e Brito (2006) apresentam em seu trabalho uma escala de classificação de nível de severidades das fissuras tanto quantitativa e qualitativamente para realização de trabalhos em campo, como ilustrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Níveis de severidade da fissuração (função da abertura) (GASPAR; FLORES-COLEN; BRITO, 2006)

0	1	2	3	4
≤ 0,1 mm	0,1 a 0,25	0,25 a 1,0 mm	1,0 a 2,0 mm	≥ 2,0 mm
Fio de cabelo	Limiar da visibilidade	Visível, localizada. Não visível em fotografias (exceto em detalhes de pormenor)	Bem definida. Tenuamente visível em fotografia a 3 m da fachada. Pode estar acompanhada de mais anomalias.	Efeitos estruturais. Facilmente visível em fotografia.
Micro-fissuras	Fissuras	Fissuras	Trincas ⁴	Trincas

⁴ Parte da literatura consideram fissuras e trincas como sinônimos, porém, alguns autores consideram fissuras aquelas com até 1 mm de espessura e acima deste valor como trinca (SABBATINI, 1984).

Estudos apontam outros fatores que predisõem ou intensificam os problemas de infiltração de água nos edifícios pelo fenômeno atmosférico da chuva, como: a direção e a velocidade do vento.

Garden (1963) afirma que a presença de água e a existência de aberturas não são suficientes para a ocorrência de infiltração, sendo necessária a presença de forças para induzir à passagem. Deste modo, aponta a pressão do vento - além da energia cinética, da sucção capilar, da gravidade e da diferença de pressão - como a componente essencial para a ocorrência do fenômeno. A partir deste mesmo pensamento Grimm (1982) inclui a pressão do vento como sendo aspecto indutor para ocorrência das infiltrações.

A atuação conjunta da ação da água da chuva mais a pressão do vento forçam a entrada da umidade para o interior do edifício pelos poros e fissuras existentes no revestimento e, principalmente, pelas fissuras e aberturas presentes nas interfaces entre blocos e juntas de assentamento e demais elementos construtivos (GRIMM, 1982).

Sob a influência do vento as gotas vão de encontro à fachada com velocidade considerável e pela energia cinética penetram nas aberturas presentes na fachada, conforme ilustrado na Figura 3.3 (a). No caso de aberturas menores, a parede receberá o impacto das gotas da chuva e as pequenas gotas - resultantes do choque - continuarão penetrando. Porém, se não existir nenhum tipo de caminho, a água não penetra profundamente pelo princípio de energia cinética.

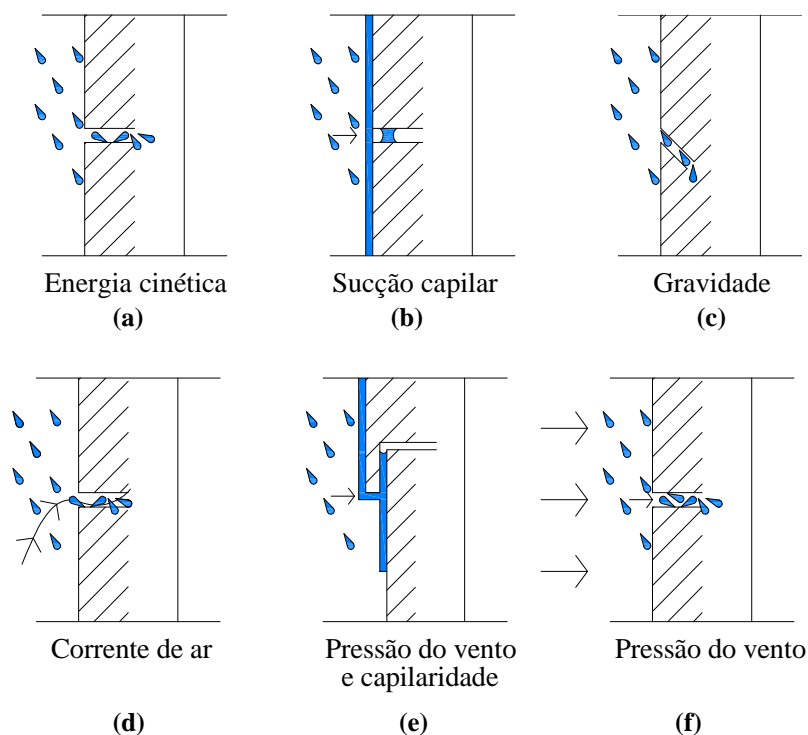


Figura 3.3 - Fatores que influenciam a penetração de umidade pelas chuvas (GARDEN, 1963)

A sucção capilar só apresentará influência sob superfícies porosas cobertas de lâminas de água resultantes do escoamento, como ilustrado na Figura 3.3 (b). Quando um material torna-se saturado, a sucção aproxima-se de zero, mas a água não terá tendência de sair do poro sem a aplicação de uma nova força diferencial. A ação da gravidade ou a pressão de ar diferencial pode fazer com que esta água saia dos materiais saturados para o exterior, dependendo dos tamanhos dos capilares.

A ação da gravidade, atuando sobre a água em superfícies de paredes ou em grandes capilares, atuará induzindo a passagem para baixo e para dentro da edificação, como ilustração da Figura 3.3 (c).

A água pode ser pressionada a passar por aberturas presentes nas fachadas por fortes correntes de ar e causar a penetração, como ilustrado na Figura 3.3 (d). Correntes de ar relativamente baixas podem também carregar finas gotas de água e criarem o mesmo problema. A umidade pode ser elevada a distâncias consideráveis e conduzida para dentro de paredes quando a pressão de ar for adicionada à sucção capilar (Figura 33 (e)). De acordo com Garden (1963), o caso mais sério ocorre quando – em decorrência de uma grande quantidade de água nas superfícies – existem aberturas de 9,5 mm ou maiores, as quais estão prontamente suscetíveis a passagem pelas menores diferenças de pressão de ar. Assim, observa-se que vários são os

aspectos que irão influir na entrada de umidade no edifício, mas a velocidade de vento demonstra-se uma componente sempre relevante.

Argilés (1999 *apud* SILVA, 2007) apresenta em seus desenhos esquemáticos de vedações a forte influência da pressão do vento sobre a infiltração consolidando as afirmações de Garden (1963), onde esta age somatoriamente à presença da força de gravidade e de capilaridade, ao meio poroso, capilar e nas juntas defeituosas, como ilustrado na Figura 3.4.

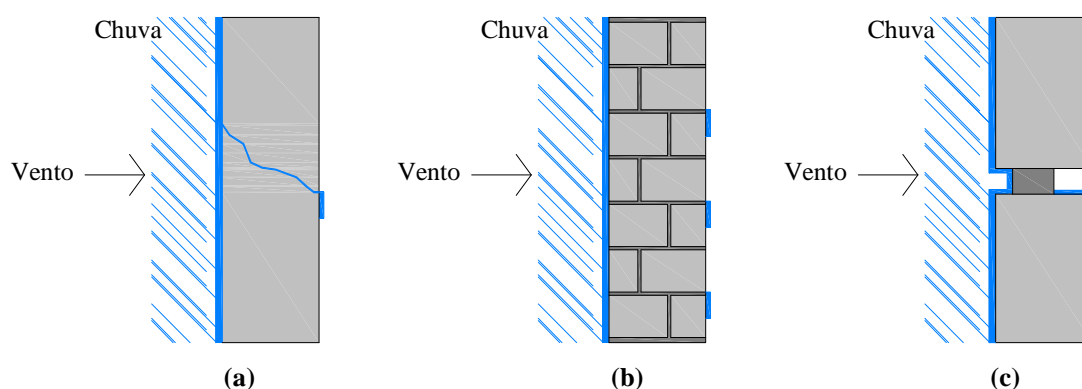


Figura 3.4 - Tipos de infiltração em paredes – Infiltração de água por gravidade associada à capilaridade e pressão do vento. (a) Infiltração de água através de meio poroso associada à capilaridade e à ação da pressão do vento (b). Água da chuva sob ação do vento em junta defeituosa (c) (ARGILÉS, 1999 *apud* SILVA, 2007)

Segundo Grimm (1982), nas fissuras, a água penetra em aberturas maiores que 0,1 mm e para aberturas menores que 0,5 mm a penetração dá-se por sucção capilar. Os poros de blocos e tijolos cerâmicos têm médias de 0,01 mm de diâmetro e fissuras superficiais entre 0,1 e 1 mm. Porém, para que aconteça a passagem da umidade através desse material é necessária a existência de canais de ligação entre os poros (poros conectados), caso contrário estes serão desconectados, o que não permite a passagem da umidade. Ainda, em relação aos poros, a pressão capilar é inversamente proporcional à sua dimensão, isto é, quanto menores forem os poros, maior a força de sucção capilar.

3.2 FORMAÇÃO DE MANCHAS DE SUJIDADE EM FACHADAS

Sucintamente, a formação de sujidades é descrita por autores como o comportamento de superfícies presentes em elementos de fachadas em servir-se de suporte para poluentes atmosféricos, acomodando-os por deposição e que, pela ação da chuva, são transportados para superfícies verticais ficando visíveis.

Para o entendimento da formação desta manifestação patológica, é importante tratar inicialmente dos poluentes presentes no ar, sua deposição e adesão aos paramentos das edificações.

3.2.1 Poluentes atmosféricos

O ar apresenta em sua constituição aproximadamente 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de dióxido de carbono, além de metano, hidrogênio, argônio, hélio e vapores orgânicos. Além desses gases, existe também a presença de material particulado em suspensão.

Segundo Pires (2005), as atividades realizadas pelo homem têm contribuído com a modificação da composição química do ar presente na atmosfera. A perda da qualidade do ar pelas atividades humanas, assim como pelas naturais (ex.: atividade vulcânica), recebe a denominação de poluição atmosférica. Os poluentes causam prejuízo à composição química do ar e as conseqüências são: perigo ao bem estar do homem, deterioração do conforto pela diminuição da visibilidade e dano ao meio ambiente (natural, residencial ou área de trabalho) que pode ser financeiramente expresso ou não. Cavalcanti (2003 *apud* PIRES, 2005) apresenta na Tabela 3.3 alguns poluentes e suas fontes.

Tabela 3.3 - Poluentes e suas fontes (CAVALCANTI, 2003 *apud* PIRES, 2005)

Poluentes	Principais fontes
Material particulado	Processos industriais, veículos automotores, poeiras naturais, vulcões, incêndios florestais, queimadas, queima de carvão, etc.
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Queima de combustíveis em fontes fixas, veículos automotores, fundições, refinarias de petróleo, etc.
Monóxido e dióxido de carbono (CO e CO ₂)	Veículos automotores
Dióxido de hidrogênio (NO ₂)	Veículos automotores e queima de combustíveis em fontes estacionárias, termelétricas.
Ozônio (O ₃)	Formado na atmosfera por reações fotoquímicas pela presença de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos ou outros compostos orgânicos voláteis.

De acordo com Vallejo (1990 *apud* PETRUCCI, 2000), as partículas finas – que possuem diâmetro inferior a 10 µm - são as principais causas da degradação de fachadas por sujidade. Segundo Pires (2005), estes poluentes incluem-se nas seguintes categorias: pós, sujeiras, fuligem, fumaças e gotas líquidas, que se originam de:

- a) fontes naturais – tempestades de areia e queimadas; e

- b) fontes de combustão - os motores dos veículos, atividades de geração de energia, caldeiras e fornos.

As fontes citadas são responsáveis pela emissão de partículas cinza e outros materiais da combustão incompleta, sendo classificadas em:

- a) pontuais: fontes estacionárias de emissão, emissoras de uma quantidade de poluentes acima de um patamar pré-definido;
- b) áreas: geralmente menores que as pontuais; representam um grande número de atividades que individualmente lançam pequenas quantidades de poluentes mas que em conjunto passam a ter quantidades significativas de emissões; e
- c) lineares: são as fontes móveis, estimadas ao longo de trajetórias percorridas de transportes em rodovias, ferrovias, transporte marítimo e aéreo.

Carrié e Morel (1975) consideram que para as partículas manterem-se suspensas no ar, deve ser considerada a velocidade de queda, estando estas partículas submetidas à força de gravidade e ao atrito com o ar. Estas forças têm sentido contrário e, quando se equilibram, a velocidade de queda das partículas torna-se constante. As partículas sedimentam-se por gravidade nas fachadas de edifícios, superfícies não protegidas e, principalmente, em planos horizontais e inclinados.

3.2.2 Deposição de partículas

A deposição de partículas sobre a superfície de fachadas pode ocorrer por deposição úmida – pela água da chuva – ou por deposição seca – direta pelo ar.

Vallejo (1990 *apud* PETRUCCI, 2000) descreve a deposição úmida como aquela em que o depósito de material particulado é feito por meio da precipitação, onde, primeiramente, as partículas em suspensão são eliminadas do ar ao incorporarem-se às gotículas de umidade que, por condensação, formarão as nuvens. A deposição seca remete-se ao depósito de partículas pela ação do vento, turbulência atmosférica ou pela sedimentação casual de calmaria, sendo considerada a principal deposição causadora das sujidades em fachadas.

De acordo com Vallejo (1990), 97% de toda contaminação atmosférica é constituída por material particulado com diâmetro superior a 1 μm e seu depósito ocorrerá por deposição seca. Ainda pelo autor, desta fração, 70% compreendem partículas de tamanhos entre 1 μm a

15 μm , onde mais de 2/3 depositam-se mediante difusão de turbulência e o restante (partículas maiores) pelo mecanismo da ação gravitacional.

Com o ar em calma, as partículas superiores a 1 μm ficam sujeitas apenas à gravidade, o que impede que se depositem em planos verticais ou superfícies inclinadas para baixo ou invertidas, a não ser que:

- a) o suporte tenha uma elevada superfície rugosa;
- b) existam cargas eletrostáticas (nas partículas ou nos paramento);
- c) existam movimentos convectivos por gradiente térmico; ou
- d) exista a presença de condensação na superfície (VALLEJO, 1990).

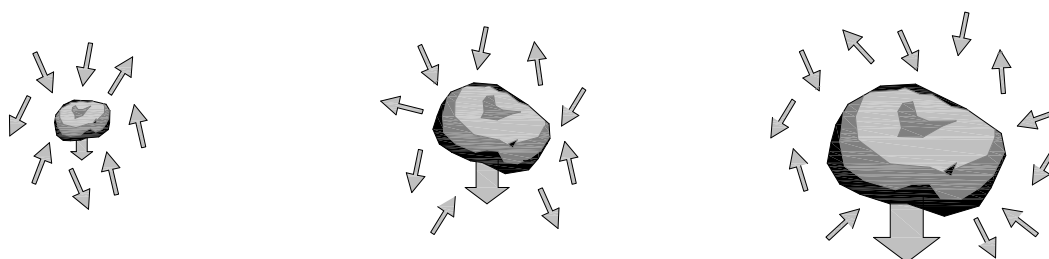
Na presença de vento, Vallejo (1990) afirma que a difusão turbulenta interfere nas partículas de dimensões medianas, porém, as partículas maiores influenciarão decisivamente nas sujidades das fachadas, sempre que a energia de rebote não for maior que a energia de adesão ao paramento e a possibilidade para o acontecimento desta condição é inversamente proporcional ao tamanho da partícula e à perpendicularidade da direção do choque.

De acordo com Carrié e Morel (1975), quanto aos aspectos físicos dos poluentes, o tamanho e a forma das partículas podem interferir na velocidade de deposição e nas forças de ancoragem. Os autores distinguem as partículas em dois grupos: aerossóis permanentes e temporários, apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Dimensões médias das partículas (CARRIÉ; MOREL, 1975)

Classificação	Diâmetro das partículas (µm)	Natureza das partículas
Aerossóis permanentes	0,0001	Moléculas gasosas
	0,001	
	0,01	
	0,1	Fumaça (tabaco, carbono e combustíveis automotivos)
	1	Fumaça e bactérias
Aerossóis temporários	10	Bactérias, névoas, poeiras minerais, fuligem (carbono e combustíveis).
	100	Poeiras minerais (aço e ferro) e de cimento, fuligem, esporos de fungos, polens.
	1000	Chuva, lodo, fragmentos de rochas, poeira, fuligem.

Os aerossóis permanentes tendem a ficar em suspensão uma vez que os seus movimentos de queda estão em constante choque com as moléculas gasosas. Os aerossóis temporários possuem dimensões maiores e assim depositam-se mais facilmente sobre as superfícies horizontais pela ação da força gravitacional. A Figura 3.8 apresenta esquematicamente estes comportamentos.



A dimensão das partículas é da mesma ordem de grandeza das moléculas gasosas. Os choques sucessivos condicionam a trajetória das partículas, fazendo com que estas fiquem em suspensão.

Com dimensões maiores, as partículas são atingidas com mais intensidade pelas moléculas gasosas. A trajetória descendente é fracamente atingida e as partículas sedimentam lentamente.

Os choques das moléculas gasosas não interferem na trajetória das partículas, que sedimentam rapidamente.

Figura 3.5 - Movimento descendente em relação ao tamanho das partículas (CARRIÉ; MOREL, 1975)

As partículas menores podem depositar-se em superfícies verticais desde que as forças de adesão - que podem ser de aderência, molecular, capilaridade ou eletrostática - sejam maiores que a da gravidade. Em relação ao formato das partículas, as esféricas possuem velocidade de queda maior que as não esféricas, pois para a mesma massa, as esféricas possuem maior densidade (CARRIÉ; MOREL, 1975).

3.2.3 Adesão das partículas contaminantes

Para a contaminação aderir nas superfícies, dois são os principais mecanismos de adesão: a gravidade e a tensão superficial que está relacionada à presença de umidade adsorvida no paramento. As partículas que não sofrerem rebote e permanecerem nos paramentos, qualquer que seja o tipo de adesão, tendem a permanecer aderidas pelos diversos meios, sejam eles mecânicos ou específicos. Porém, o processo de formação de sujeidade em fachadas abrange outros aspectos, que somados contribuem com perda da estética (VALLEJO, 1990). Dentre os aspectos, têm-se:

- a) o material de construção empregado nas edificações e suas características (porosidade, cor, textura superficial e dureza;
- b) o microclima da região e seus elementos climáticos (vento, temperatura, umidade, condensação);
- c) a situação e composição arquitetônica das fachadas, sendo determinantes as proporções, tamanho, disposição, inclinação e curvatura de seus planos; e
- d) a proteção proporcionada por outros edifícios, detalhes arquitetônicos e construtivos.

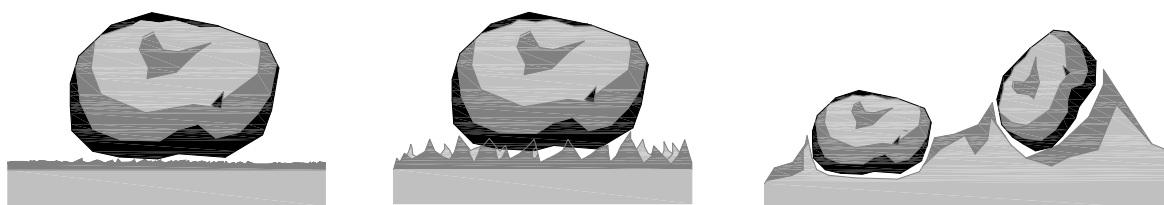
3.2.4 Material empregado como revestimento

Dependendo do índice de absorção, a água da chuva que incide sobre os paramentos pode penetrar na porosidade. A influência da porosidade sobre a sujeidade deve-se a dois aspectos:

- a) interferência direta sobre a formação de água escorrida que refletirá na lavagem e distribuição dos materiais particulados depositados; e
- b) contribuição com o desenvolvimento das sujidades pela causa da penetração das partículas nos poros e capilares, reforçando a intensidade do fenômeno.

Vallejo (1990 *apud* PETRUCCI, 2000) considera como fator importante na formação de sujidades em fachadas a textura dos materiais, caracterizando-a quanto à aspereza: textura rugosa, lisa e polida, representados na Figura 3.9. As superfícies que apresentam textura rugosa são aquelas em que as asperezas possuem tamanho superior a 1 mm de profundidade e são mais suscetíveis à sujeidade por proporcionar um lavado mais regular. Estes são os casos

característicos de alvenarias de tijolos e pedras, além de concretos aparentes. As texturas lisas são aquelas em que as profundidades e separação das asperezas estão em torno de 10 a 1.000 μm , característica dos materiais cerâmicos e revestimentos de argamassa desempenada e sobre estes materiais a sujidade dependerá do grau de exposição da fachada tendo uma tendência a ocorrer lentamente. A textura polida é vista como a mais favorável a qualquer situação e é característica das pedras naturais e artificiais que recebem o tratamento de polimento. Por este aspecto, possui baixa permeabilidade e elevada uniformização superficial. Assim como vidros, plásticos e metais, estes materiais tornam-se favoráveis a processo de lavagem pelo baixo coeficiente de absorção e o escoamento das águas da chuva alcança quase que na sua totalidade a sujeira depositada.



Revestimento muito liso com ausência de rugosidade.

As dimensões das rugosidades são inferiores as dimensões das partículas.

As dimensões das rugosidades do substrato possuem a mesma ordem de grandeza das partículas.

Figura 3.6 - Influência da rugosidade do revestimento na aderência da partícula de sujidade (CARRIÉ; MOREL, 1975)

A intensidade a qual se percebe as lesões nas fachadas está diretamente ligada ao contraste de cor e tonalidade entre o material e a sujidade. A cor não é um aspecto que influenciará no processo de formação por sujidade, porém, a sujidade presente tornar-se-á mais perceptível quanto mais heterogênea e descontínua demonstrar-se, evidenciando os contrastes entre acabamento de revestimento e a própria mancha de sujeira (VALLEJO, 1990).

Sabbatini (1990) afirma que é válido para revestimentos externos o emprego de texturas mais rugosas com o objetivo de disfarçar os defeitos do revestimento da fachada, mas no caso de regiões com grande índice de poluição são preferíveis os revestimentos mais lisos e que quando associados a baixas porosidades dificultam a fixação da poeira.

A dureza dos materiais interfere nas sujidades, pois a característica dos materiais determinará se as partículas de sujeira vão aderir ou rebotar, ou seja, permitirão ou não a adesão sobre o suporte. A mesma situação ocorre no choque das gotículas de água contra os paramentos, podendo ou não serem captadas pelo material do suporte ou resultarem na constituição de escoamento de água sobre as superfícies.

3.2.5 Vento

O vento exerce influência no mecanismo de dispersão e transporte das contaminações (materiais particulados), podendo ser benéfico para as regiões próximas às fontes de poluição. Contudo, o vento age negativamente ao transportar poluentes para áreas muito afastadas, atuando como veículo (VALLEJO, 1990).

Conforme estudos realizados na cidade de Paris, Carrié e Morel (1975) afirmam que, para as velocidades maiores, o nível de poluição é menor, como mostrado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Relação entre a velocidade do vento e a poluição máxima diária (CARRIÉ; MOREL, 1975)

Velocidade do vento m/s	Poluição máxima diária afetada µg/m³
0 a 2	320
2 a 4	320 a 340
4 a 6	200 a 240
6 a 8	160 a 200
8 a 10	120 a 160
10 a 12	40 a 80

O vento também causa efeito abrasivo e de limpeza de importância relativa, sendo geralmente maior nas partes mais expostas, como as laterais e partes superiores do edifício. Com ventos de menor intensidade, nas partes baixas e zonas abrigadas por saliências ou obstáculos ocorre diminuição do efeito abrasivo e aumento da taxa de deposição de material poluente. Nestas regiões, a sujidade irá aumentar gradativamente se a ação do vento não for reforçada pelo lavado da água da chuva (VALLEJO, 1990).

3.2.6 Temperatura, condensação e umidade

De acordo com Vallejo (1990 *apud* PETRUCCI, 2000), a temperatura tem influência sobre o processo de formação de manchas de sujidade sobre as fachadas porque provoca a dissolução de contaminantes presentes na atmosfera e também corrobora com a modificação dos conteúdos de umidade no ambiente e no interior dos materiais empregados em fachadas.

Vallejo (1990) explica que a temperatura também favorece o aumento da pressão de saturação do ar em torno das fachadas causando a redução da umidade relativa do ar e com isso o risco da condensação que contribui com o incremento de partículas que podem aderir na superfície de paramentos.

Acredita-se que pela presença de umidade relativa elevada ou de névoas, há uma contribuição do aumento da quantidade de material particulado depositado e aderido e, conseqüentemente, a sujidade de materiais porosos que estão pouco expostos ao efeito do lavado pela ação da água da chuva (VALLEJO, 1990).

3.2.7 Chuva

Em princípio, a chuva tem um grande papel na limpeza atmosférica, pois as gotas de água ao caírem encontram os materiais particulados em suspensão, direcionando-os ao chão. Depois do fenômeno da chuva, registros mostram que o conteúdo de poluição na atmosfera diminui significativamente (CARRIÉ; MOREL, 1975).

Carrié e Morel (1975) consideram a chuva um fenômeno extremamente variável em função de intensidade, duração, frequência e dimensões das gotas, tornando a manifestação patológica de manchamento algo também variável. Vallejo (1990, *apud* PETRUCCI, 2000) explica que a capacidade de lavagem das fachadas pela chuva dirigida dependerá da sua intensidade e, para os núcleos urbanos – onde a maioria das chuvas é de baixa intensidade, a chuva funcionará mais como colaboradora de incremento de sujidades do que realizar a função de limpar as superfícies com sujeira.

Como abordado anteriormente, as fachadas de uma edificação estão sujeitas a receber diferentes proporções de água, quando pensado em chuva dirigida. Quando o volume de água é superior à quantidade absorvida por capilaridade pelos poros dos materiais, ou quando também estes estão saturados, são formadas lâminas de água que começam a seguir a trajetória descendente pela ação da gravidade em direção aos níveis inferiores da edificação.

É importante frisar que a diminuição da velocidade e da intensidade do fluxo de água podem ocorrer, sendo atribuídas:

- ao aumento do carregamento de sujeira nas fachadas que aumenta a viscosidade do líquido;
- à quantidade de água da chuva que diminui à medida que o escoamento aproxima-se do solo;

- à água que pode ser absorvida pelos materiais que compõem a face externa do edifício; e
- à água que é absorvida pelos materiais pulverulentos e poeiras que sugam e freiam-na o deslocamento (CARRIÉ; MOREL, 1975).

A lâmina de água é muito sensível às irregularidades, aos paramentos e durante a trajetória de queda é absorvida tanto pelo material de revestimento quanto pela sujidade presente. Na presença ou não da lâmina de água as partículas de sujidade penetram no revestimento da fachada, através dos seus poros pela água absorvida e as partes não aderidas continuam sendo arrastadas pelo escoamento.

A ação do lavado ou a redução da aderência das partículas de sujidades de uma superfície irá acontecer somente na presença de um escoamento de intensidade suficiente para envolver todas as partículas. A umidade ou a presença de um filme insuficiente aumenta a aderência entre partículas e paramentos, fazendo com que as gotas de água ajam como ligantes por bipolaridade e forças moleculares (CARRIÉ; MOREL, 1975).

Assim, Robinson e Baker (1975 *apud* VIEIRA, 2005) identificam como resultado das trajetórias de água pelas fachadas dois tipos de efeitos: lavado limpo e lavado sujo, ocasionando nas fachadas de um mesmo edifício a percepção freqüente de padrões diferenciados de escoamentos.

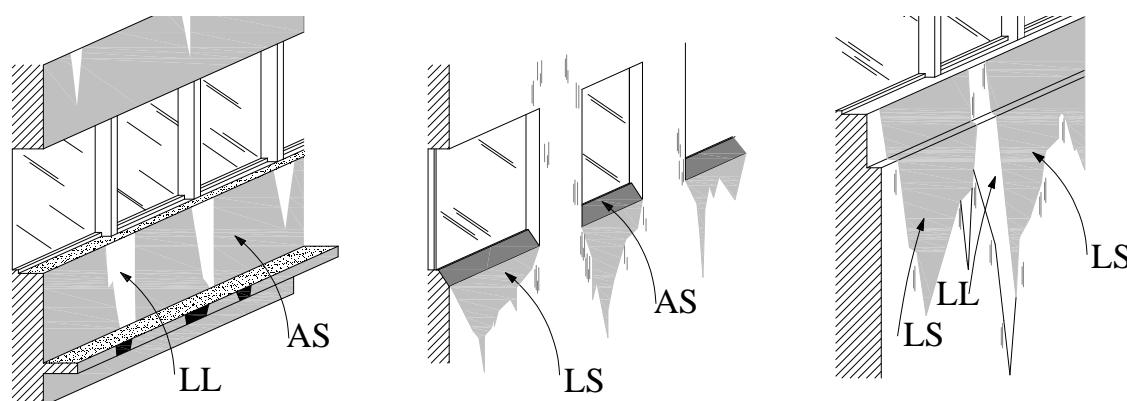


Figura 3.7 - Exemplos dos efeitos da trajetória da água nas fachadas. LL: Lavado limpo; LS: Lavado sujo; AS: Acúmulo de sujeira (ROBINSON; BAKER, 1975 *apud* VIEIRA, 2005)

O lavado limpo ocorre quando o escoamento é suficiente para permitir o desenvolvimento de fluxo de água capaz de possibilitar o arraste de partículas de sujidade e ocorre com maior freqüência nas superfícies mais baixas da edificação. A intensidade e velocidade do fluxo

impedem que a sujeira redeposite-se sobre demais superfícies (ROBINSON; BAKER, 1975 *apud* VIEIRA, 2005).

A presença de água por umidade ou condensação permite uma maior adesão de sujeira. Sob a ação do escoamento destas superfícies muito sujas ocorre o lavado sujo, onde a água arrasta grandes quantidades de partículas, redepositando-as em planos verticais e inclinados.

As regiões dos pavimentos superiores de um edifício estão mais expostas à ação da chuva dirigida pelo ângulo de incidência, propício a menor acúmulo de sujidades sobre as superfícies, diferentemente dos pavimentos inferiores, que, além deste menor ângulo de incidência, são as áreas mais favoráveis à deposição de material particulado. Portanto, as fachadas podem vir a apresentar uma heterogeneidade quanto à deposição de partículas e o efeito de lavado.

Outro aspecto evidenciado é que o deslocamento de água, somado aos depósitos de material particulado, aumenta o poder de abrasão por atrito causando conseqüentemente aumento da degradação das superfícies. A dissolução pela água do material (ou erosão química) reforça a ação abrasiva, porém, ocorre de maneira lenta e fraca. A erosão abrasiva e química dependem da ação continuada dos eventos de chuva, das substâncias presentes e da qualidade dos materiais empregados como revestimento (PETRUCCI, 2000).

As partículas maiores são mais facilmente arrastadas pelos escoamentos por estarem simplesmente sedimentadas, diferentemente das menores, ligadas por mecanismos mais fortes e até encapsuladas durante a degeneração química da superfície dos paramentos.

A poeira atmosférica também pode ter origem animal e vegetal, como: algas, fungos, líquenes e musgos e sobre as regiões de fachada que possuem condições propícias para o crescimento causando degradação superficial da pintura e do revestimento de argamassa. A seguir, serão discutidos os principais tipos de microorganismos que se proliferam nas edificações e os fatores abióticos.

3.3 CRESCIMENTO DE MICROORGANISMOS EM FACHADAS

O crescimento de microorganismos em argamassas é um fenômeno freqüente nas fachadas de edifícios e causa manchamentos, escurecimentos e desagregação devida à produção de ácidos orgânicos que atacam os aglomerantes (CARASEK, 2007; SHIRAKAWA, 2009). De acordo

com Uemoto *et al.* (1995), dentre os principais microorganismos que se formam nas faces externas da edificação revestidas com pinturas têm-se os fungos e as bactérias e nas superfícies de concreto e alvenaria são geralmente encontrados as algas e líquenes.

3.3.1 Fungos

Segundo Shirakawa *et al.* (1995), os papéis de parede, madeira e seus derivados, tintas e vernizes são os materiais de construção mais atacados por fungos. Os revestimentos inorgânicos também são suscetíveis ao desenvolvimento destes microorganismos, dependendo das características da sua composição, da base, do acabamento final e, principalmente, das condições de exposição.

Bolor e mofo são termos utilizados para descrever a colonização por diversas populações de fungos filamentosos. É importante destacar que os fungos são organismos nucleados e não fotossintetizadores do próprio alimento por não possuírem clorofila.

O gênero *Cladosporium* é o fungo mais freqüente em várias regiões do Brasil, encontrados em superfícies de argamassa, concreto e fachadas pintadas com tinta de base água. Em outros países, os fungos: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* e *Exophiala*, também são encontrados colonizando concretos, telhas e fachadas de prédios (SHIRAKAWA *et al.*, 2004; SHIRAKAWA *et al.*, 2009).



Figura 3.8 - *Cladosporium herbarum*
(JOHANSSON *et al.*, 2005)

A dispersão dos esporos⁵ é dada pelo vento e pela água e ao se fixarem em substratos podem permanecer em estado latente até encontrarem condições ideais para germinarem. Na presença de umidade e nutrientes, haverá o crescimento do fungo e a formação de manchas visíveis macroscopicamente, caracterizando o bolor (SHIRAKAWA *et al.*, 1995).

3.3.2 Bactérias

As bactérias são grupos de organismos procarióticos⁶ diferentes e as encontradas frequentemente são: as nutrificantes, as sulfo-oxidantes e as sulfato-redutoras. Bactérias são bastante encontradas em pinturas deterioradas e sobre as superfícies de concreto e argamassa podem ocorrer o desenvolvimento de bactérias nutrificantes cujos produtos metabolizados são agressivos ao cimento (UEMOTO *et al.*, 1995). Estas bactérias têm o desenvolvimento favorecido pelo óxido de nitrogênio (NO_x) presente na atmosfera e por íons de amônio (NH₃) e produzem ácido nítrico e nitratos.

Paralelamente ao ciclo das bactérias nutrificantes ocorre o ciclo do enxofre, iniciado pelas bactérias sulfato-oxidantes que excretam ácido sulfúrico que reagem com o revestimento e formam sulfatos solúveis que penetram em poros. Presentes no interior dos poros de revestimentos, as bactérias sulfato-redutoras utilizam estes sulfatos objetivando reduzi-los em ácido sulfídrico (H₂S). O ácido produzido migra para o exterior do revestimento e é utilizado pelas bactérias sulfato-oxidantes que dão reinício ao ciclo. (PERRICHET, 1991 *apud* RESENDE, 2004).

O ciclo desenvolvido pelas bactérias resulta em excreção de substâncias ácidas e são considerados com um dos principais causadores da deterioração dos revestimentos de fachadas.

3.3.3 Algas

As algas são grupo de organismos eucarióticos e geralmente considerados fotossintéticos, isto é, organismos que necessitam da presença de luz para produzir matéria orgânica (JOHANSSON *et al.*, 2005). As algas, conhecidas também como cianobactérias, diferem de

⁵ Genericamente, são tidos como as sementes de plantas superiores, do aspecto de via de dispersão e reprodução da espécie.

⁶ Organismos unicelulares que não possuem núcleo com membrana delimitada e possuidores de organelas diferentes.

fungos e bactérias por não necessitarem dos constituintes dos revestimentos para obtenção do carbono para sua nutrição (UEMOTO *et al.*, 1995).



Figura 3.9 - Cianobactérias (Disponível em: <http://www.enq.ufsc.br>)

No entanto, é indispensável a presença de luz para o crescimento das algas e, portanto, os ambientes externos favorecem ao seu desenvolvimento. Em países de clima temperado o desenvolvimento das algas não é tão intenso, mas nas regiões onde crescem provocam manchas e secretam ácidos orgânicos que podem dissolver o carbonato de cálcio presentes em alguns materiais de construção (VERHOEF, 1988 *apud* RESENDE, 2004).

De acordo com Skinner (1971 *apud* UEMOTO *et al.*, 1995), o crescimento de algas em substratos de ambientes externos é tido como mais problemático quando comparados aos fungos. Por possuir pH elevado, as superfícies de alvenaria inibem o desenvolvimento de fungos e favorecem o crescimento das algas. O autor afirma que os danos a estes substratos ainda são controversos e, segundo ele, alguns autores acreditam que os ácidos orgânicos excretados tenham efeito corrosivo sobre os materiais de construção.

As algas e líquenes, no estágio inicial, podem ser confundidos com sujeira; o início da formação de líquenes pode ser confundido com fungos e algas.

3.3.4 Líquenes

Os líquenes são organismos compostos e associados simbioticamente por fungos e algas (ou cianobactérias) que são liquenizados numa única morfologia. Nesta associação, os fungos têm a função de envolver e proteger as algas contra a seca e o excesso de luz e os fungos obtêm os

nutrientes necessários das algas que são fotossinteticamente ativas (JOHANSSON *et al.*, 2005).

O desenvolvimento de líquenes é lento, comparando-se às algas, não sendo observados sobre superfícies novas antes do estabelecimento de algas. Como as algas, os líquenes variam de cor de acordo com as condições ambientais e as duas principais formas de líquenes sobre a alvenaria, são:

- incrustada: camada fina e fortemente aderida ao substrato; e
- folhosa: folhas chatas que formam “rosetas” e não tão aderidas ao substrato.



Figura 3.10 - Revestimento de fachada com pelo menos cinco espécies diferentes de líquenes (JOHANSSON *et al.*, 2005)

Além de estarem em contato com nutrientes inorgânicos, líquenes que vivem em superfícies minerais recebem a poeira do ar que são fontes também de nutrientes. Muitos dos nutrientes são afetados pelo pH do substrato e, por esta razão, as diferentes comunidades de líquenes são encontradas em pedras calcárias e substratos ácidos. As fachadas de maneira geral possuem substratos alcalinos, o que leva ao surgimento de líquenes adaptados a estas condições (JOHANSSON *et al.*, 2005).

3.3.5 Fatores abióticos

Fatores abióticos são todas as influências que os seres vivos sofrem, derivadas de aspectos físicos, químicos ou físico-químicos do meio ambiente, como:

- a) **luz:** a presença da luz é fator preponderante para o crescimento de determinados microorganismos fotossintéticos, como algas e algumas bactérias. Fungos são organismos nucleados e por não possuírem clorofila também não sintetizam o próprio alimento, utilizando-se para isso da luz (SHIRAKAWA *et al.*, 1995);
- b) **temperatura:** para as diversas espécies de microorganismos existe a temperatura ótima que permite o seu desenvolvimento, com valores máximos e mínimos. Segundo Verhoef (1988 *apud* RESENDE, 2004), a temperatura ideal para as bactérias está entre 25°C e 40°C. Shirakawa *et al.* (1995) afirma que alguns tipos de fungos podem crescer em temperaturas baixas enquanto outros em temperatura elevada, mas a maior parte dos fungos do meio ambiente desenvolvem-se melhor no intervalo de 25°C e 30°C. O primeiro autor, afirma que os fungos possuem uma ótima tolerância, porém as algas são muito sensíveis às variações de temperatura;
- c) **umidade:** Wright (1984, *apud* UEMOTO *et al.*, 1995) o padrão de crescimento de organismos será dado pelo teor de umidade da superfície da alvenaria. O umedecimento será determinado pelas condições climáticas da região. Assim, o crescimento será maior em localidades e estações mais úmidas. A umidade do ambiente favorece a umidade do material, mas somente a água absorvida pode ser utilizada para o desenvolvimento de fungos, isto é, o crescimento destes microorganismos depende da água livre contida no material e não da água combinada (SHIRAKAWA *et al.*, 1995; SHIRAKAWA *et al.*, 1997);
- d) **vento:** a influência do vento diz-se respeito aos teores de umidade, isto é, em locais protegidos da ação do vento, o teor de umidade será maior e conseqüentemente também o crescimento dos agentes biológicos. O vento também é o responsável pela disseminação de fungos, bactérias e algas, ou seja, pelo transporte junto com outros poluentes (CARRIÉ; MOREL, 1975);
- e) **natureza da superfície:** Uemoto *et al.*, (1995) explica que a natureza das superfícies é determinante no tipo de organismos e seu desenvolvimento. Tintas e vernizes, que possuem em sua constituição material orgânico, fornecem carbono necessário para a alimentação de agentes biológicos;
- f) **características físicas do substrato:** a textura e a rugosidade são características que interferem na retenção de material particulado. Os substratos inorgânicos podem reter

maior quantidade de material particulado e servirão de nutrientes para os organismos, apesar de não possuírem na composição o carbono. Segundo Perrichet (1984 *apud* UEMOTO *et al.*, 1995), a porosidade do substrato influencia na permeabilidade e absorção de água, permitindo uma maior ou menor retenção de umidade; também um revestimento totalmente impermeável não é o ideal, pois a permeabilidade permite a passagem vapores de água e possibilita que paredes estejam secas o suficiente para inibir o crescimento dos microorganismos; e

- g) **pH** do substrato: este é um fator importante na seleção dos agentes biológicos que irão colonizá-lo, pois os microorganismos toleram uma faixa extensa de valores de pH, desde o ácido ao básico. Hunter (1998 *apud* RESENDE, 2004) diz que as bactérias possuem um pH ótimo entre 4,0 e 6,0. Para os fungos, o pH está na faixa entre 7,0 e 9,0 e a maioria das algas na faixa de 8,0. De acordo com Wright (1984 *apud* UEMOTO *et al.*, 1995), as algas encontradas em superfícies de alvenaria alcalinas (como o concreto, argamassa e cimento amianto) são os que ocorrem em rochas básicas como o calcário.

3.4 FANTÔMES

Após os registros fotográficos para a elaboração do item Estudo de Casos, observaram-se algumas manchas típicas nas alvenarias de vedação, principalmente, nos últimos pavimentos dos edifícios desenhando as juntas de assentamento, como ilustrado na Figura 3.11.



Figura 3.11 - Manchas nos elementos de vedação

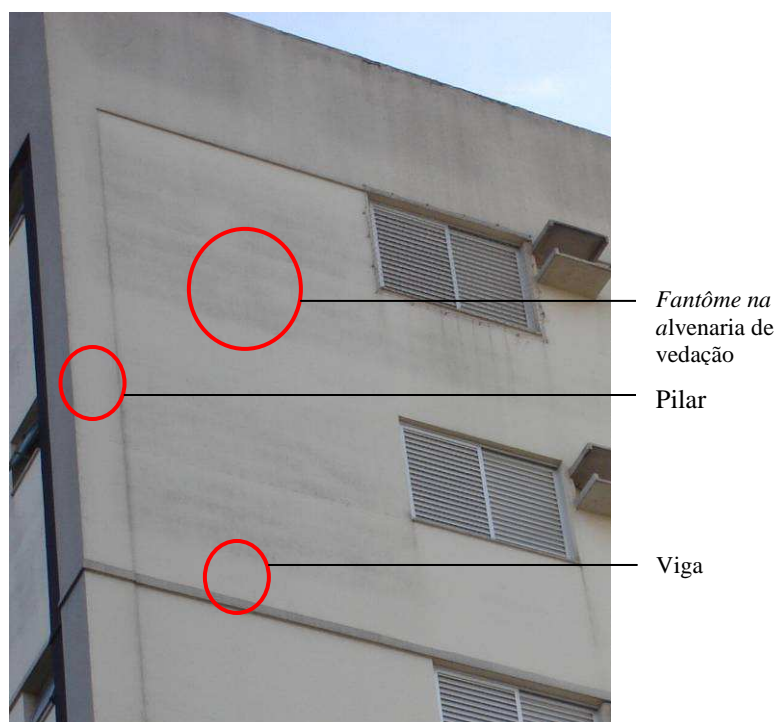
Este tipo de manifestação patológica é descrita por Logeais (1989) como *fantômes*; manchas que se formam desenhando as juntas de assentamento da alvenaria devida à *termoforese*, que é a diferença de temperatura superficial dos materiais que compõem o revestimento. Estas manchas são resultantes da adesão de material particulado e do desenvolvimento de microorganismos.

Isto acontece porque os materiais empregados nos revestimentos de fachada possuem diferentes valores de condutividade térmica e esta diferença de temperatura tem influência sobre a condensação. As características e constituição dos materiais que compõem a fachada influenciam na absorção, transporte e armazenamento da umidade e, assim, os materiais mais porosos absorvem maiores quantidades de umidade e demoram a perdê-la. Segundo Sato (2000), a porosidade do substrato ao qual é aplicada a argamassa é fundamental para o desenvolvimento de microorganismos e, por isso, observa-se uma menor incidência de *fantôme* nos elementos estruturais (pilares e vigas) do edifício. A Tabela 3.6 apresenta as propriedades de alguns materiais e componentes presentes em fachadas.

Tabela 3.6 - Propriedades dos materiais e componentes de revestimento (SATO, 2000)

Material	Porosidade (%)	Absorção de água (%)	Massa específica aparente (kg/m ³)
Argamassa 1:2:9	28,0	15,0	1.730
Bloco cerâmico	31,9	22,0	1.620
Bloco de concreto	12,4	6,7	1.980
Concreto (vigas e pilares)	8,1	3,6	2.260

Observa-se que o bloco cerâmico apresenta uma maior percentagem de porosidade e de absorção de água, o que pode justificar a maior formação de manchas sobre estas superfícies do que nos elementos estruturais, como ilustrado na Figura 3.12.

Figura 3.12 - Manchas de *fantôme* na região da alvenaria de vedação

As fachadas propícias à formação de *fantôme* são as que possuem menor temperatura pela manhã, pois favorecem a condensação e que, juntamente, não recebem suficientemente a radiação solar para favorecer a eliminação da umidade condensada.

Nakato *et al.* (1997) realizaram um estudo sobre o efeito da condensação nas fachadas de um edifício localizado na cidade de São Paulo e verificaram que a permanência de umidade originada da condensação era maior na fachada voltada à orientação Sul por receber quantidade menor de radiação solar favorecendo a formação de manchas pelo desenvolvimento de fungos, com predominância de *Cladosporium sp*, além de organismos fototrópicos, como *Gloecapsa*.

De acordo Fernandes (2006), na cidade de Goiânia, as fachadas voltadas à orientação Sul são as que menos recebem a incidência solar e este aspecto confirma a formação preferencial de *fantômes* nessas fachadas.

3.5 A INFLUÊNCIA DOS DETALHES ARQUITETÔNICOS E CONSTRUTIVOS EM FACHADAS

A simplificação das formas presentes nas fachadas de edificações pode ser explicada pela necessidade da redução de custos na construção civil, uma vez que implica num ganho de velocidade e de agilidade para execução. Em determinado período, esta tendência levou a arquitetura a novos conceitos estéticos, onde apresentaram como características as formas lineares, isto é, conceitos sem grandes detalhes, ressaltos, projeções ou saliências (SUPLEMENTO PINI DE REVESTIMENTOS, 1984).

Quando presentes, estes paramentos podem funcionar como mecanismo de interrupção do escoamento de água ao longo da fachada, projetando-a para distante dos elementos de vedação (THOMAZ, 1990). Segundo a publicação Suplemento Pini de Revestimentos (1984), somente a partir da não utilização destes elementos que se pôde constatar a sua importância nas edificações antigas, talvez mais por questões de tradição que realmente do conhecimento técnico por parte dos construtores da época.

De acordo com Thomaz (1990), os detalhes presentes em fachadas de edifícios em forma de saliências ou projeções são capazes de reduzir em até 50% o fluxo de água que eventualmente incide sobre estas superfícies. Estes elementos horizontais podem se apresentar em formas de detalhes arquitetônicos ou construtivos.

Os ornamentos presentes nas edificações antigas eram tidos como detalhes de controle de fluxo de água e a maioria destes “enfeites” tinha a função prática de controlar a concentração de fluxo de água sobre as paredes externas das edificações, pois o fluxo excessivo poderia causar a perda de durabilidade e estanqueidade do revestimento, bem como o desgaste diferenciado na superfície (*RECOMENDACIONES Y MANUALES TÉCNICOS*, 1993).

Perez (1990) explica que as pingadeiras – elementos construtivos incorporados às fachadas – são capazes de redirecionar a lâmina de água que escorre pelas paredes e apresenta diferentes tamanhos e geometrias, conforme Figura 3.13.

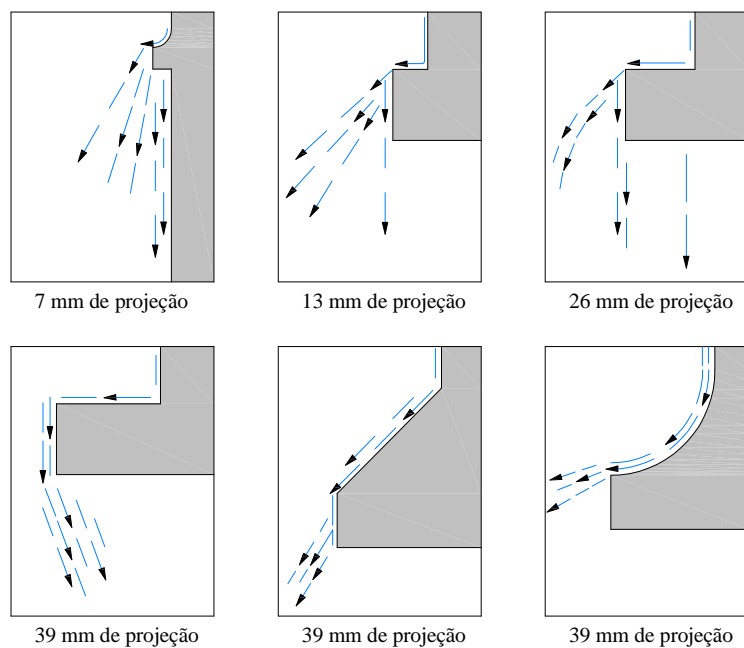


Figura 3.13 - Diagrama dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias (PEREZ, 1988; THOMAZ, 1990)

Pela publicação *Recomendaciones y manuales técnicos* (1993), as coberturas com amplas projeções, assim como as sacadas e terraços (Figura 3.14), podem proporcionar também uma proteção valiosa contra a água da chuva, reduzindo toda área superficial que possa vir a estar molhada.

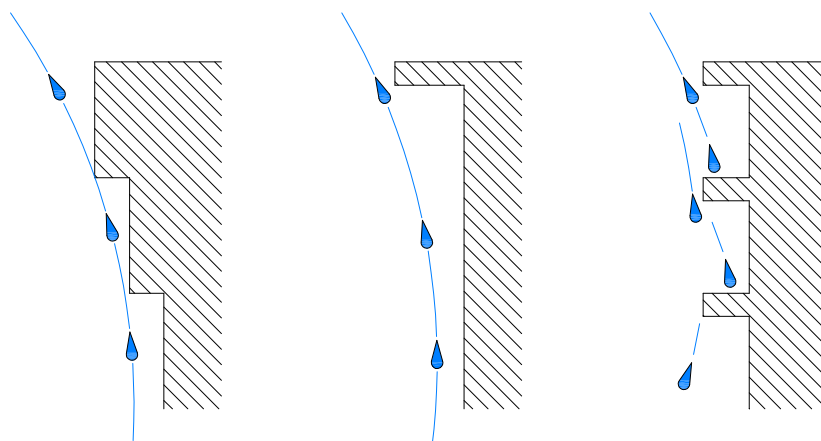


Figura 3.14 - Formas que proporcionam a proteção contra a água da chuva (*Recomendaciones y manuales técnicos*, 1993)

O acréscimo da altura das edificações foi outro fator que aumentou os problemas com a umidade, uma vez que suas superfícies - maiores e lisas - permitem uma maior formação de lâmina e escoamento de água num maior período sobre a fachada (SUPLEMENTO PINI DE REVESTIMENTOS, 1984). Como ilustrado a seguir na Figura 3.15, a altura da edificação também influenciará no grau de eficiência dos elementos construtivos horizontais incorporados às fachadas, isto é, para as pingadeiras, como exemplo, sua eficácia na proteção

da fachada será maior para os pavimentos inferiores, onde o ângulo de incidência da chuva em relação à superfície é menor (*Recomendaciones y manuales técnicos*, 1993).

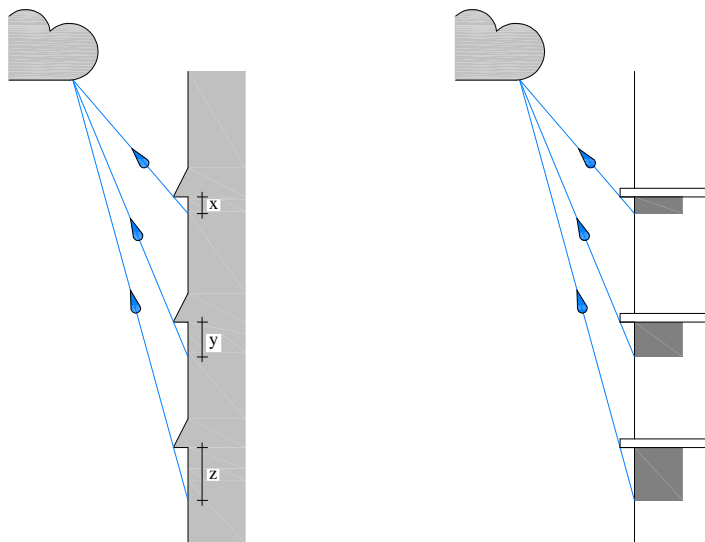


Figura 3.15 - Duas classes de elementos protetores: ambas impedem a lavagem da poeira depositada nas partes inferiores
(*Recomendaciones y manuales técnicos* (1993))

Porém, ainda segundo a publicação *Recomendaciones y manuales técnicos* (1993), a pingadeira horizontal - cuja função é expulsar a água da fachada - necessita que seu plano horizontal não possua dimensão excessiva e que o mesmo possa ser lavado inteiramente, pois os elementos de maior profundidade favorecem ao depósito de poeira que, na presença de água, dá origem a manchas de sujeira.

A existência de superfícies que permitam a deposição de poluentes nas fachadas de edifícios é o primeiro fator para a formação das sujeiras. Em sua maioria, apresentam-se em forma de plataformas, superfícies horizontais ou inclinadas de qualquer elemento saliente ou reentrância da parte externa do edifício.

Platibandas, pingadeiras, peitoris, requadros, guarda-corpos, juntas de movimentação entre outros, são exemplos de detalhes (arquitetônicos e construtivos) compositores da fachada de edifícios e que de acordo com a variação da inclinação ficam mais ou menos expostos a deposição de sujeiras.

A deposição de partículas costuma ser maior nos pavimentos inferiores. Os diversos elementos compositores da fachada de edificações quando expostos a ação direta da chuva e apresentam continuidades com outros planos que não são eficientes na expulsão da água agravam a manifestação patológica (ROBINSON; BAKER, 1977 *apud* PETRUCCI, 2000).

Carrié e Morel (1975) afirmam que as formas dos elementos influenciam diretamente na direção de escoamento da água que seguirá a linha de maior declive da superfície horizontal. Segundo Robinson e Baker (1975 *apud* PETRUCCI, 2000), há uma grande variação de detalhes presentes em fachadas, tornando-se difícil classificá-las quanto à influência na migração da água. No entanto, os autores sugerem algumas categorias gerais às quais as combinações são classificadas de acordo com a influência do escoamento de água sobre as superfícies:

- a) canais contínuos: representados por projeções ou reentrâncias verticais que bloqueiam ou canalizam o fluxo de água que se move diagonalmente sobre superfícies planas. Exemplos: juntas, colunas, frisos e outros, de acordo com Figura 3.16;

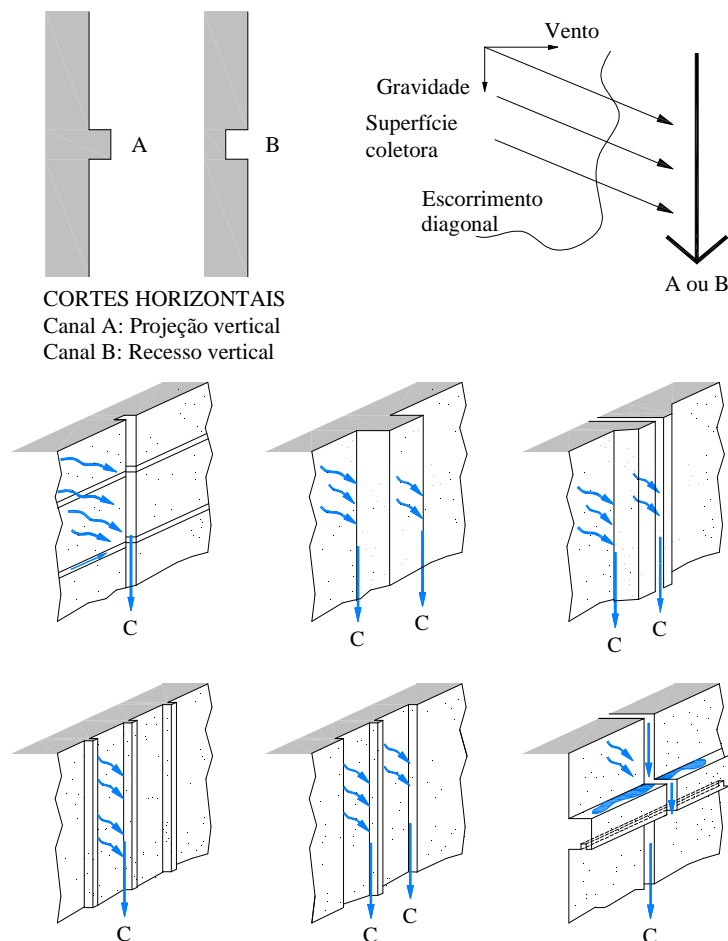
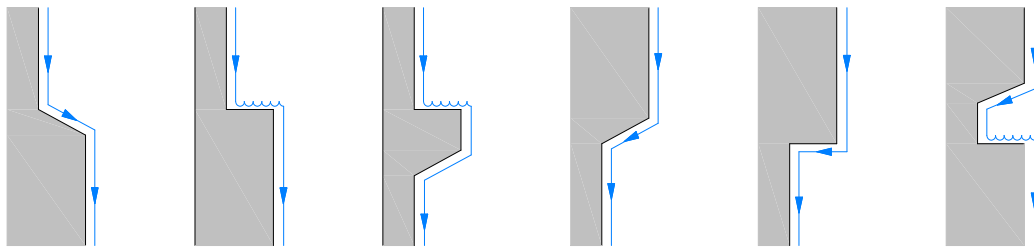


Figura 3.16 - Fluxos concentrados pelos canais contínuos (ROBINSON; BAKER, 1975 *apud* PETRUCCI, 2000)

- b) planos contínuos: representados pelas combinações de planos verticais, horizontais e inclinados que permitem o fluxo de água sobre as superfícies sem desprendimento ou gotejamento das partes horizontais. Exemplos: molduras horizontais, verticais e inclinadas, peitoris, frisos e outros, conforme ilustração da Figura 3.17 e 3.18; e



CORTES VERTICAIS

Figura 3.17 - Planos contínuos – exemplos generalizados mostrando fluxo e possíveis represamentos em superfícies horizontais (ROBINSON; BAKER, 1975 *apud* PETRUCCI, 2000)

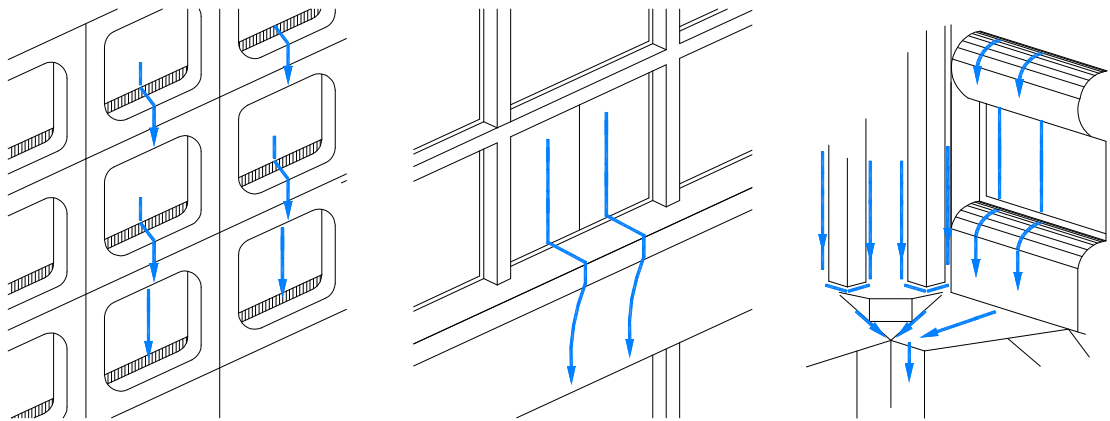


Figura 3.18 - Exemplos de fluxo de água sobre fachada de edifícios (escorrimento) (ROBINSON; BAKER, 1975 *apud* PETRUCCI, 2000)

- c) descontinuidades de planos e canais: representadas pela junção das situações descritas no item a e b; determinam alterações de fluxo fazendo com que água goteje, aumentando ou diminuindo a concentração e afetando a capacidade de penetração ou erosão, como apresentado na Figura 3.19, 3.20 e 3.21.

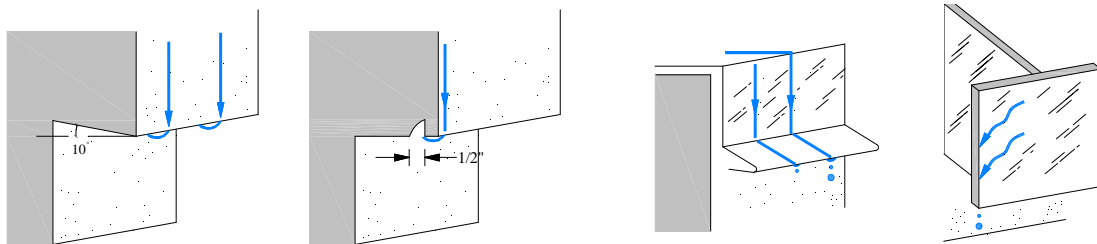


Figura 3.19 - Fluxo plano e fluxo canalizado sendo disperso em forma de gotejo devido a efeitos de descontinuidade (ROBINSON; BAKER, 1975 *apud* PETRUCCI, 2000)

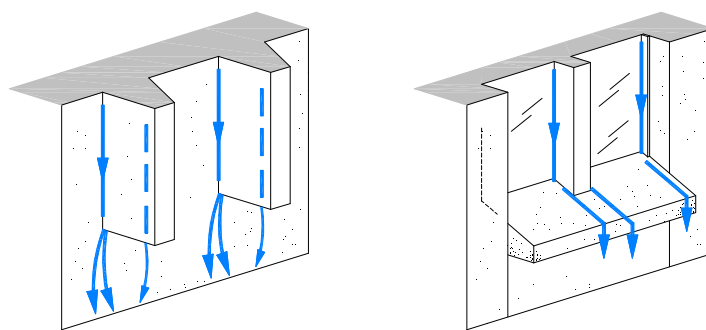


Figura 3.20 - Fluxo canalizado disperso em superfície plana (ROBINSON; BAKER, 1975 apud PETRUCCI, 2000)

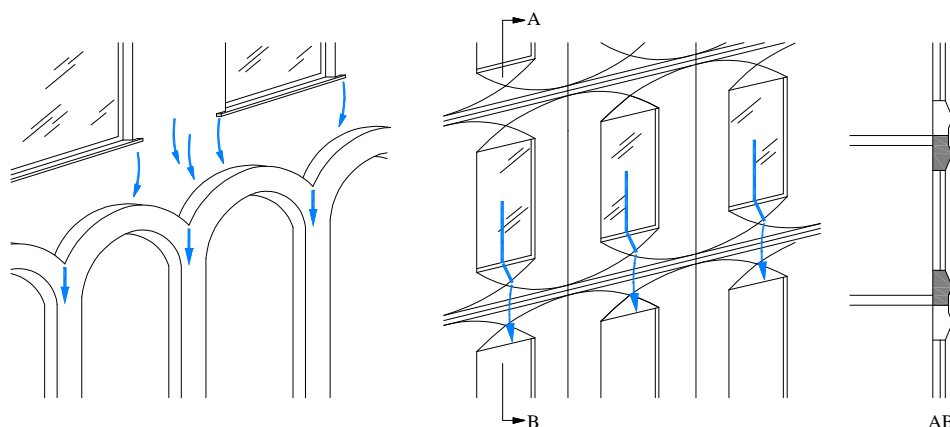


Figura 3.21 - Concentração e canalização de fluxo plano (ROBINSON; BAKER, 1975 apud PETRUCCI, 2000)

Para Carrié e Morel (1975), as interseções entre elementos verticais e horizontais são as áreas de maior ocorrência de manchas de sujidades e esta informação levou-os ao desenvolvimento de propostas para detalhes de projeto para a minimização das ocorrências, como apresentado na Figura 3.22, 3.23 e 3.24.

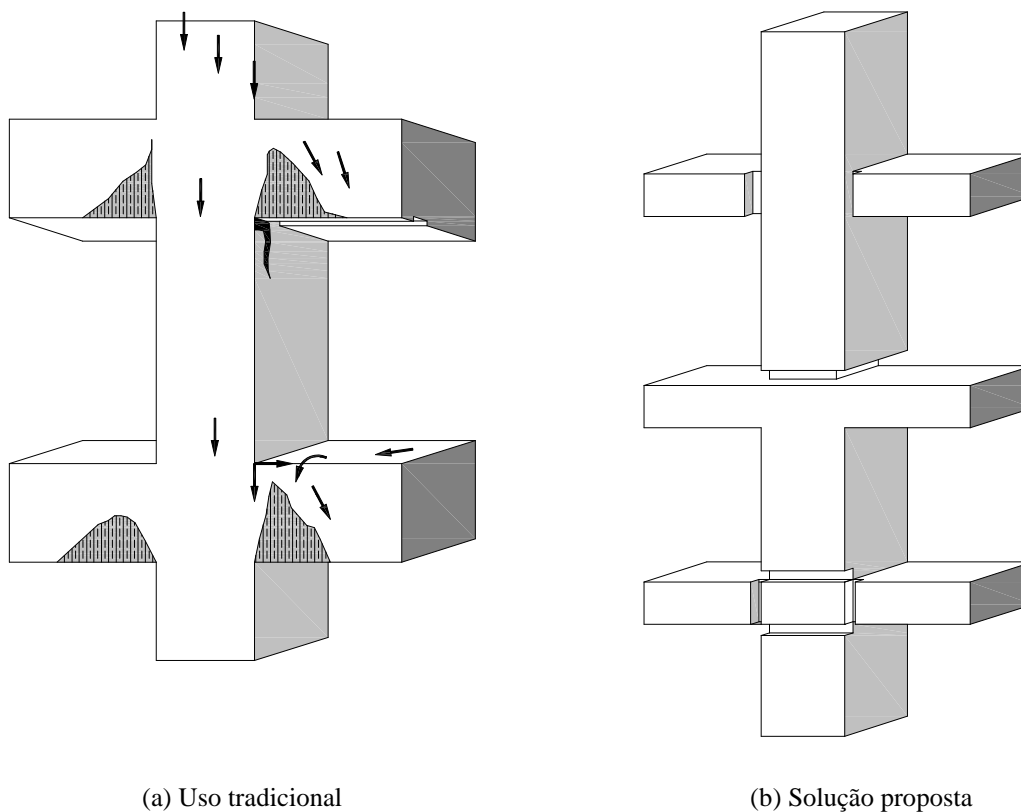


Figura 3.22 - Intersecção de elementos horizontais e verticais no mesmo plano (CARRIÉ; MOREL, 1975)

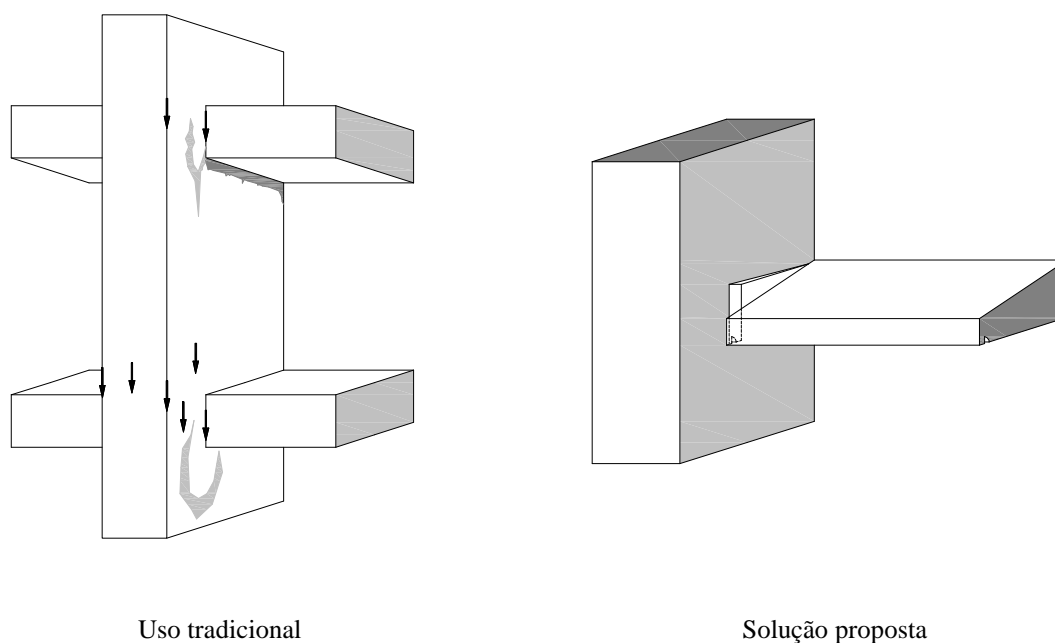


Figura 3.23 - Plano vertical adiantado (CARRIÉ; MOREL, 1975)

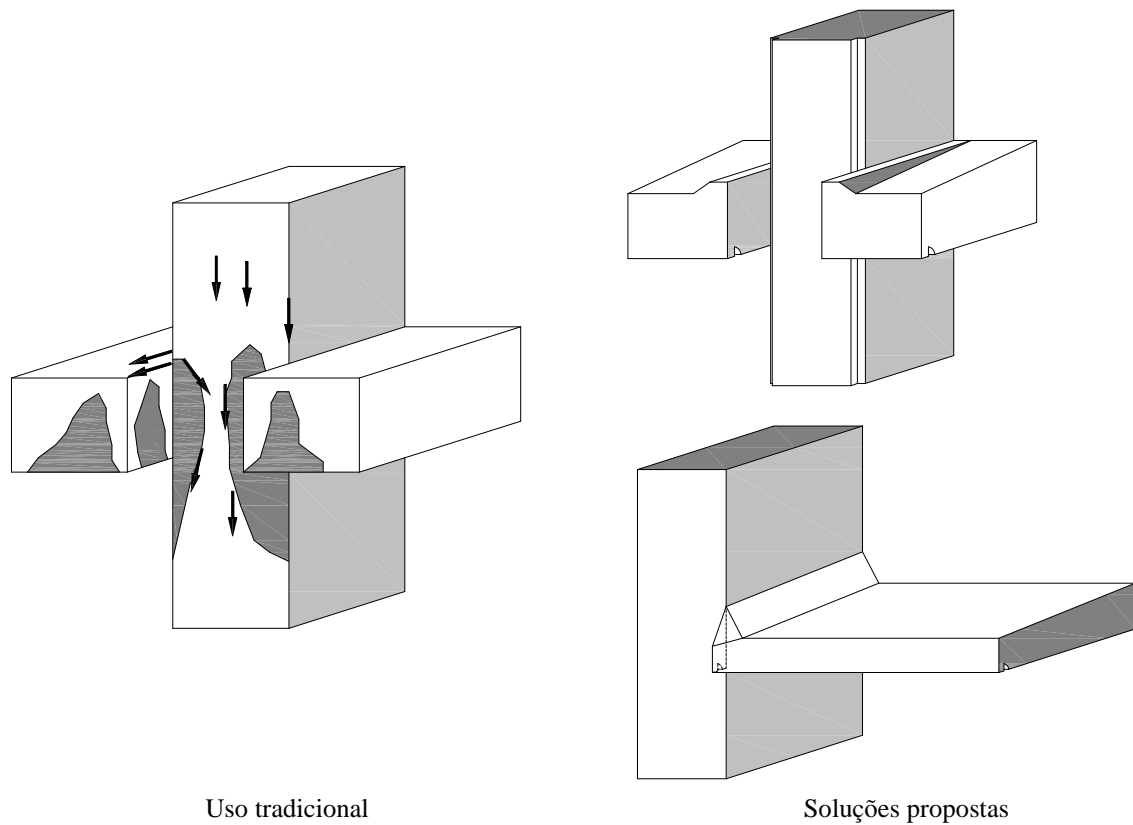


Figura 3.24 - Plano vertical recuado (CARRIÉ; MOREL, 1975)

Segundo Silva e Torres (2003), o peitoril é um dos elementos que contribui com a formação de sujidades no envelope do edifício. De acordo com Thomaz (1990), a água que incide sobre a superfície envidraçada das janelas (esquadrias) resultará em fluxos laterais no peitoril, como ilustrado na Figura 3.25. Isto se deve ao fato de que peitoris mal planejados – em sua geometria, composição ou execução - criam caminhos preferenciais para o escoamento de água. Assim, a presença de material poluente nestes elementos, ou até mesmo presente na água da chuva, são absorvidos pelos materiais porosos da fachada de maneira localizada (concentrada), causando a perda da qualidade visual pela formação de “bigodes” de sujeira.

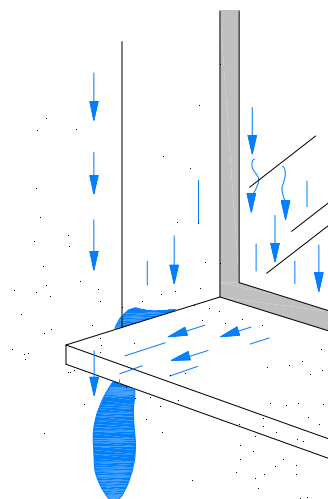


Figura 3.25 - Trajetória de fluxo de água pelo canto da janela (THOMAZ, 1990)

Com base nos estudos de Silva e Torres (2003), é apresentada a seguir a Tabela 3.7 com alguns aspectos que favorecem o escoamento concentrado pelo fluxo de água nas paredes externas e conseqüentemente a concentração de sujidades.

Tabela 3.7 - Características e eventuais defeitos dos peitoris (Adaptado SILVA; TORRES, 2003)

	Perfil	Características	Eventual defeito	Conseqüências
Geometria	Transversal	Projeção	Projeção insuficiente	Não afasta a lâmina de água da parede. Propicia infiltrações pela aresta inferior da parede
		Aresta	Não constitui defeito, mas condiciona o escoamento	O perfil adotado influencia o afastamento de água em relação à parede e o refluxo pela face inferior do peitoril
		Pingadeira	Inexistente ou de dimensão reduzida; Pingadeira muito encostada na parede	Ineficaz no afastamento da água, propiciando infiltrações pela aresta de assentamento da face inferior do peitoril. Permite que a água esorra pela parede*
Longitudinal		Planicidade	Não constitui defeito mas condiciona escoamento Inexistentes.	Se não tiver batentes laterais, um perfil plano propicia escoamentos laterais.
		Batentes laterais	Agravamento na falta de vedação com mastique	Risco de infiltração na ligação às ombreiras. Propicia os escoamentos laterais
		Rasgos superiores	Ausência de rasgos	Propicia os escoamentos laterais
		Projeção lateral	Inexistência ou de dimensão muito reduzida	Propicia as infiltrações na ligação à ombreira e os escoamentos laterais

Segundo Maciel (1997), a publicação CPqDCC-EPUSP (USP, 1995) faz algumas recomendações quanto ao uso de peitoris de pedras naturais ou pré-moldados, como: textura lisa e avanço para dentro da alvenaria das extremidades.

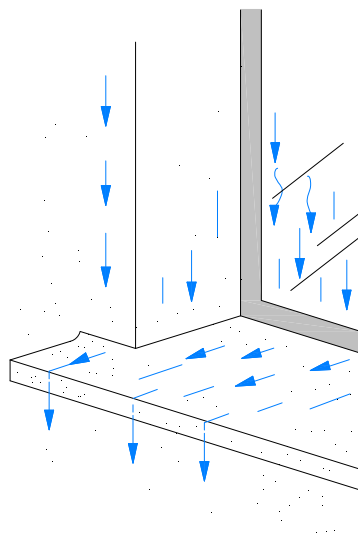


Figura 3.26 - Trajetória de fluxo de água pelo peitoril (THOMAZ, 1990)

No entanto, para Silva e Torres (2003), os escoamentos laterais devem ser evitados por meio de saliências que induzam o fluxo de água, evitando que este se divida, criando caminhos de escoamento ao longo das paredes e formação de sujidades, como apresentado na Figura 3.27.

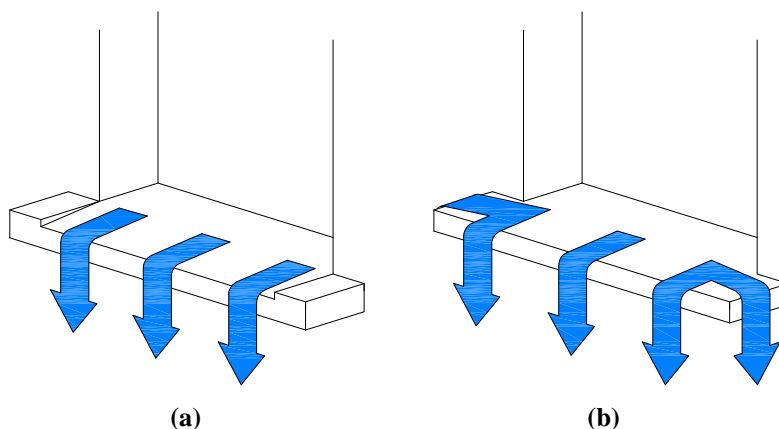


Figura 3.27 - Influência da geometria nas direções de escoamento de água sobre os peitoris. Sem escoamento lateral (a) e com escoamento lateral (b) de fluxo de água (SILVA; TORRES, 2003)

Assim como a publicação CPqDCC-EPUSP (1995 *apud* MACIEL, 1997), os autores Silva e Torres (2003) apresentam como solução adicional aos peitoris o uso de pingadeira na borda inferior, que terá a função de permitir o escoamento de água em conjunto, diminuindo a possibilidade da lâmina de água ser empurrada em direção aos planos verticais (paredes externas), desde que se tenha velocidade e volume suficientes.

A Figura 3.28 (a) representa um peitoril sem pingadeiras na parte inferior e nesta região a água corre ao longo do peitoril até escorrer pela parede e este escoamento pode levar à:

a) penetração de água no ponto A (aresta inferior de ligação entre parede e peitoril);

b) gotejamento ao longo da pingadeira; e

c) principalmente, parte do fluxo de água irá escorrer pela parede redepositando as sujeiras acumuladas.

Na Figura 3.28 (b), a introdução de pingadeira irá reduzir o fluxo de água descrito na Figura 3.28 (a), diminuindo a possibilidade de ser direcionado contra a parede. A Figura 3.28 (c) ilustra um peitoril com quina superior viva e a divisão de fluxo de água.

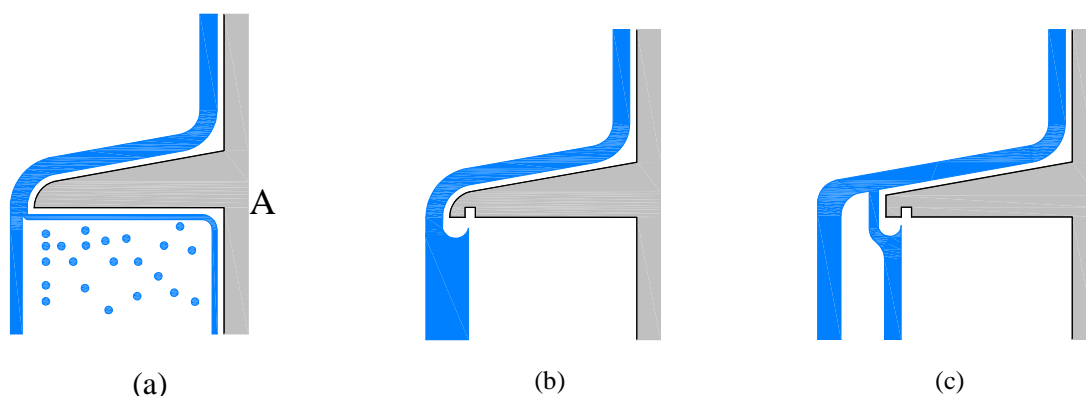


Figura 3.28 - Efeito do formato e da pingadeira sobre o fluxo de água sob peitoris (SILVA; TORRES, 2003)

Assim, todas as superfícies horizontais que permitirem o acúmulo de sujeira, terão posteriormente as superfícies lavadas pela ação água da chuva. O fato da água associada ao material particulado atingir ou não os planos verticais dependerá da eficiência geométrica dos planos horizontais em expulsar a lâmina de água contaminada que tende a seguir o fluxo descendente.

Por outro aspecto, os paramentos em fachadas apresentam-se constantemente afetados pela formação de microorganismos, que, sob condições propícias de luz e umidade, nutrem-se dos sais minerais e também das matérias orgânicas e inorgânicas, tanto presentes nos materiais de construção como transportados junto à poeira (LNEC, 1954).

O crescimento das colônias ocorre apenas em locais com teores de umidade acima de 70% e com maior intensidade quando este teor ultrapassa 85% (BRE Digest, 1977). Sato *et al.* (1995) explicam que o surgimento de microorganismos deve-se ao fato de que a água é absorvida, transportada e armazenada em quantidades que serão determinadas pelas características e geometria do material. Assim, qualquer medida que impeça a penetração de umidade por poros capilares ou que evite a permanência de umidade junto às superfícies são ações aconselháveis para a prevenção do desenvolvimento de microorganismos.

As superfícies horizontais existentes nas fachadas são áreas propícias a concentração de umidade. A publicação LNEC (1954) relata que, por meio de exames de edifícios, certas localizações são típicas para o surgimento deste tipo de manifestação patológica, tais como: topos de platibandas, regiões abaixo de peitoris e de vergas de janelas.

Para Sabbatini *et al.* (1988 apud MACIEL, 1997), deve ser utilizada no topo de platibandas uma proteção por meio de um elemento impermeável (ou de baixa permeabilidade), denominada “cimalha”, prevendo-se caimento e pingadeira na parte inferior e avanços para o lado interno e externo da edificação.

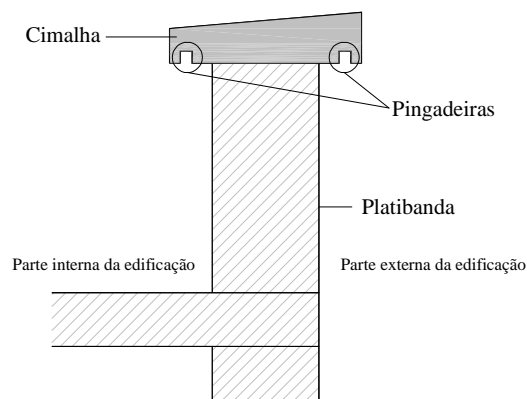


Figura 3.29 - Esquema de cimalha em platibanda (SABBATINI *et al.*, 1988 apud MACIEL, 1997)

Silva e Torres (2003) relatam que a D.T.U. 20.1 (2001) estabelece que os peitoris devem possuir inclinação para o meio exterior, evitando o acúmulo de água e também uma possível penetração, como ilustrado na Figura 3.30 a seguir:

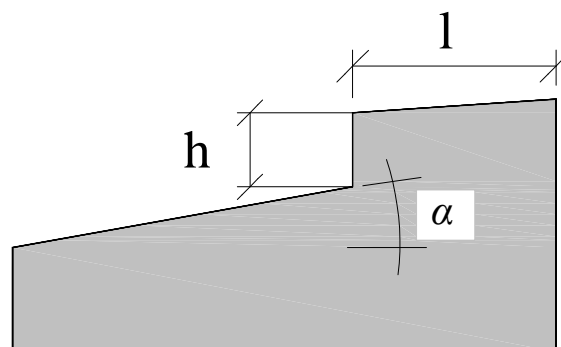


Figura 3.30 - Geometria e dimensões de peitoris (SILVA; TORRES, 2003)

Tabela 3.8 - Dimensões mínimas para os peitoris (SILVA; TORRES, 2003)

Apoio	l (mm)	h (mm)	tg α
Moldado no local antes da colocação da caixilharia	40	25	0,10
Pré-fabricado e colocado no local antes da colocação da caixilharia	30	25	0,08
		20	0,10
Moldado no local após a colocação da caixilharia	40	40	0,10

Os elementos devem ser projetados pensando-se nos fatores externos aos edifícios, pois a chuva, o vento, a condensação, a poluição e outros têm influenciado com frequência no surgimento de manifestações patológicas e, conseqüentemente, na perda da durabilidade das fachadas.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia aplicada nesta pesquisa visando à obtenção dos índices de chuva dirigida, à medição de umidade superficial em fachadas, ao levantamento de casos de infiltrações, à identificação dos microorganismos e ao estudo de casos, por inspeção visual e registro fotográfico, de manchamento de fachadas.

4.1 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA

Para a elaboração da tabela e gráficos de índice de chuva dirigida livre, direcional e em plano vertical, dados meteorológicos foram tratados com a perspectiva de fornecer subsídios para a compreensão dos fenômenos de deterioração em fachadas na cidade de Goiânia.

4.1.1 Fonte de dados

Os dados para o cálculo do Índice de Chuva Dirigida - ICD foram fornecidos pelo 10º DISME (Décimo Distrito Meteorológico) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e são relativos à estação meteorológica automática localizada no setor Jaó, em Goiânia-GO, posicionada na latitude: $-16,38^{\circ}$ S e longitude: $-49,13^{\circ}$ W, altitude de 770 m, conforme ilustrado na Figura 4.1.



Figura 4.1 - Localização da estação automática meteorológica do 10º DISME, setor Jaó, Goiânia-GO

Os primeiros registros da estação datam de 26 de maio de 2001 e as medições de intensidade pluviométrica, direção e velocidade de vento são registradas por udógrafo, cata-vento e anemômetro, respectivamente, ilustrados nas Figuras 4.2 e 4.3, de hora em hora, ou seja, 24 registros ao dia, que garantem uma maior precisão dos resultados. O cálculo do ICD para o ano de 2001 não foi possível pelo período de implantação da estação (26 de maio).



Figura 4.2 - Estação automática do 10º DISME (Décimo Distrito Meteorológico) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET



Figura 4.3 - Udógrafo (a) e cata-vento e anemômetro (b) da estação automática do 10º DISME (Décimo Distrito Meteorológico) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

No total, foram processados 183.960 dados, referentes às medições horárias de precipitação pluviométrica, velocidade e direção de vento no período de 2002 a 2008.

4.1.2 Preparação dos dados

Nessa estação automática, os dados de precipitação pluviométrica são registrados em milímetro, velocidade de vento em m/s e direção de vento em graus. Assim, não foi necessária a transformação de unidades. Porém, os dados de direção de vento – registrados em graus - foram transformados em oito direções, cada uma abrangendo 45°, que são: Norte (N), Nordeste (NE), Leste (L), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SO), Oeste (O) e Noroeste (NO), conforme ilustrado na Figura 4.4.

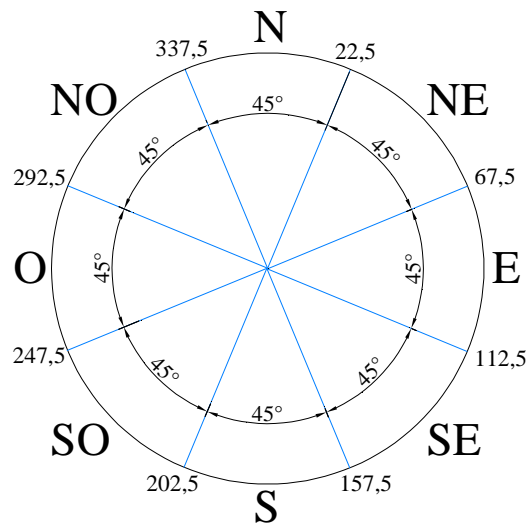


Figura 4.4 - Transformação das direções de vento medidas em graus para as direções: N, NE, E, SE, S, SO, O e NO

Após a transformação das direções de vento - dadas em graus - para as oito orientações, foi realizado o agrupamento das observações (velocidade de vento e precipitação) para as respectivas orientações, excluindo as observações com vento de velocidade inferior que 5 m/s, ventos considerados calmos.

Concluída esta etapa de agrupamento de dados, tendo com referência primordial a direção de ocorrência de precipitação pluviométrica e velocidade de vento, foi realizado o cálculo de: ICDA (índice de chuva dirigida anual); o ICDD-a (índice de chuva dirigida direcional - anual), ICDD-m (índice de chuva dirigida direcional - mensal) e o I_0 (índice de chuva dirigida em parede vertical).

4.1.3 Cálculo dos índices de chuva dirigida

Para o cálculo de ICDA, adotou-se as seguintes etapas:

- a) somatório do total de precipitação (P) de todas as direções para cada ano (mm);
- b) média de velocidade de vento com chuva (V) de todas as direções para cada ano (m/s);
- e
- c) cálculo do ICDA (m^2/s) utilizando os dados dos itens (a) e (b) por ano, pela equação:

$$ICD = V * P / 1000.$$

Para o cálculo do ICDD-a, as seguintes etapas foram envolvidas:

- a) somatório dos totais de precipitação (P) para cada direção, nos anos de 2002 a 2009 (mm);
- b) média de velocidade de vento com chuva (V) para cada direção, nos anos de 2002 a 2009 (m/s); e
- c) cálculo do ICDD-a (m²/s) utilizando os dados dos itens (a) e (b) para cada direção, pela equação: $ICD = V * P / 1000$.

Para o cálculo do ICDD-m, foram adotadas as seguintes etapas:

- a) somatório dos totais de precipitação (P) para cada direção e mês do ano, nos anos de 2002 a 2009 (mm);
- b) média de velocidade de vento com chuva (V) para cada direção e mês do ano, nos anos de 2002 a 2009 (m/s); e
- c) cálculo do ICDD-m (m²/s) utilizando os dados dos itens (a) e (b) para cada direção e mês do ano, pela equação: $ICD = V * P / 1000$

4.1.4 Cálculo do I_0

Para o cálculo de montante de chuva dirigida em parede vertical foi utilizada a equação (4.1), aplicada nos estudos de Rydock *et al.* (2005) e Giongo (2007):

$$I_0 = 0,206 \cdot \sum_{D=\theta-80^\circ}^{\theta+80^\circ} R_D \cdot V_D \cdot \cos(D - \theta) \quad (4.1)$$

Onde:

I_0 = Montante de chuva dirigida em parede vertical (mm/ano);

R_D = Precipitação média para a direção D (mm);

V_D = Velocidade média do vento para a direção D (m/s);

D = Direção do vento (graus); e

θ = Ângulo entre o Norte e a direção normal à parede.

4.2 MEDIÇÃO DE UMIDADE SUPERFICIAL EM FACHADAS

A medição de umidade superficial em fachadas teve como finalidade averiguar o comportamento da chuva dirigida e afirmar se realmente fachadas de uma mesma edificação estão expostas a diferentes proporções de umidade em determinado período da ocorrência de chuva.

4.2.1 Características da obra

As medições foram realizadas sobre as fachadas revestidas com argamassa de um edifício em fase de construção, com 17 pavimentos tipo, como ilustrado na Figura 4.5, localizado no setor Negrão de Lima, na cidade de Goiânia-GO. As fachadas possuíam revestimento de argamassa mista ainda sem o acabamento decorativo, no caso a pintura texturizada acrílica. As medições de umidade foram realizadas no dia 08 de janeiro de 2010, das 15:00 às 15:45 horas. No entorno do edifício não existiam edificações de multipavimentos que pudessem influenciar no comportamento do vento, ou melhor, na criação de barreiras de proteção contra a chuva dirigida.



Figura 4.5 - Edificação onde foram realizadas as medições de umidade

A Figura 4.6 tem a ilustração da realização de medição na fachada voltada à orientação N no pavimento do 9º andar.



Figura 4.6 - Medição realizada na fachada Norte do 9º andar, embaixo da janela (a) e ao lado da janela (b), próximo à fachada Oeste

4.2.2 Método de medição

Para as medidas de umidade superficial foi empregado o aparelho *Moisture Meter M-T-170*, ilustrado na Figura 4.7.



Figura 4.7 - *Moisture Meter M-T-170*

Ao todo, foram realizadas 48 medições, em três pavimentos tipos: 2º, 9º e 17º andares. Em cada pavimento, foram realizadas 16 medições, sendo que quatro para cada orientação (N, S, E e O). Para cada fachada do pavimento foram feitas medições abaixo da abertura e ao lado da janela, como indicado na Figura 4.8, sendo que duas para cada extremo da fachada como ilustrado na Figura 4.9.



Figura 4.8 - Regiões da fachada (embaixo e ao lado da abertura da janela) onde foram realizadas as medições de umidade

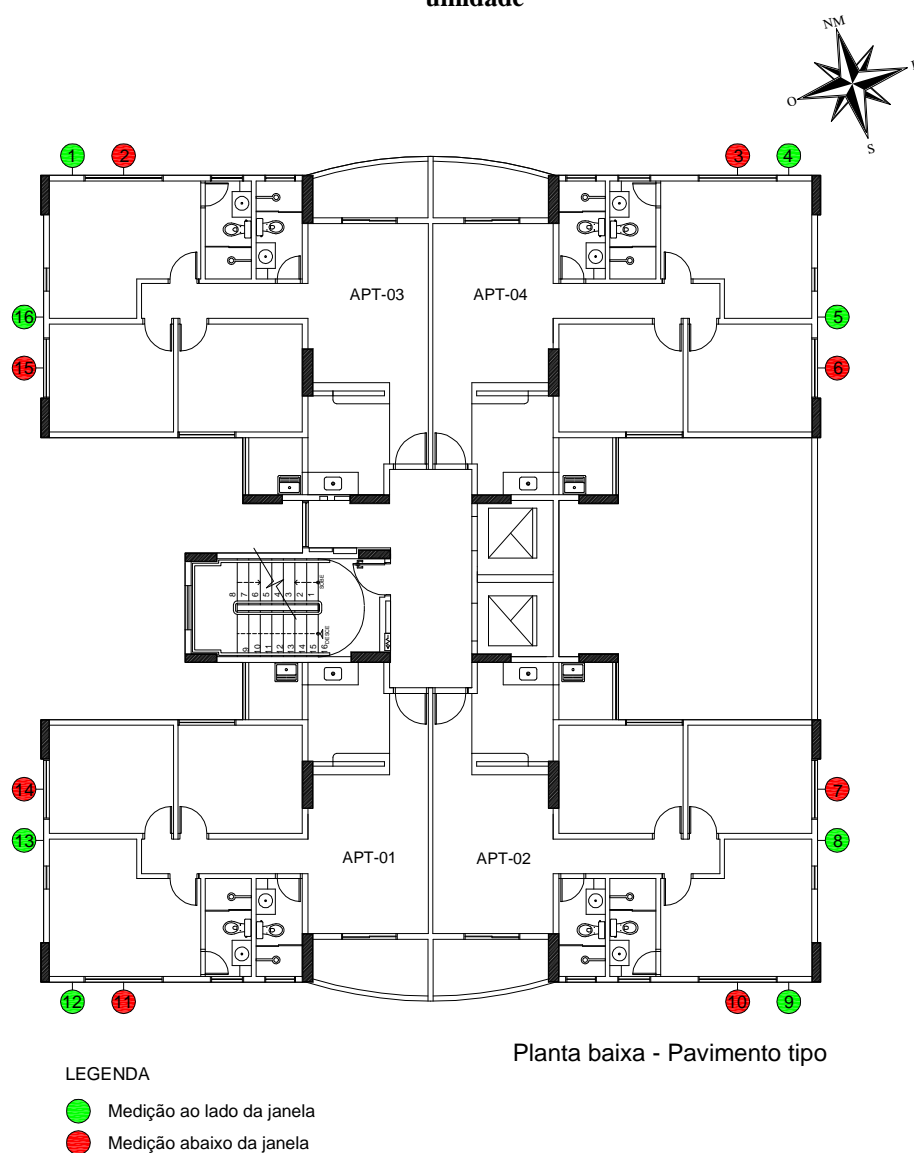


Figura 4.9 - Pavimento tipo e local do edifício onde foram realizadas as medições de umidade

4.3 LEVANTAMENTO DE CASOS DE INFILTRAÇÃO

Para a compreensão do fenômeno da chuva dirigida e uma posterior inter-relação com sua influência, um levantamento de casos de infiltração em fachadas de edifícios localizados em Goiânia-GO foi realizado por meio de dados de assistências técnicas fornecidos por 5 construtoras da cidade.

4.3.1 Coleta de dados

Para dar suporte aos proprietários, as assistências técnicas de cada construtora geralmente fazem registros dos problemas no intuito de corrigi-los, tendo em suas anotações:

- a) o nome do empreendimento;
- b) o número do apartamento;
- c) o local da infiltração (ambiente do apartamento); e
- d) a característica do problema; no caso em questão da infiltração (por fissura em elemento de vedação, por fissura em cantos de esquadrias ou pela própria esquadria).

Com o número e ambiente do apartamento de cada edifício, buscou-se a partir da planta de situação observar para que posição geográfica (Norte, Sul, Leste ou Oeste) o fenômeno de infiltração ocorreu. Como requisito, procurou-se, aproximadamente, as edificações que fossem ortogonais às orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), não utilizando os casos diferentes deste precípuo.

4.3.2 Casos de infiltração estudados

Foram obtidos 38 casos de infiltrações referentes a 32 unidades de habitação (apartamentos) de 9 edificações entre 8 e 25 pavimentos, todos os edifícios construídos em estrutura de concreto armado e alvenaria de vedação em blocos, revestidos externamente com argamassa e com acabamento em pintura ou pintura e cerâmica simultaneamente.

Assim, chegou-se a predominância dos casos de infiltrações em fachadas em relação à posição geográfica, independentemente do tipo de infiltração e características físicas do edifício.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DE MICROORGANISMOS

Com a finalidade de fazer um diagnóstico inicial de quais microorganismos estão presentes em superfícies de edifícios situados na cidade de Goiânia, amostras de sujidades superficiais em fachadas foram coleadas de fachadas que apresentavam alteração física sob condição ambiental e urbana local. A etapa também teve o objetivo de verificar se, nas manchas de sujidade decorrentes da poluição, há a presença de microorganismos latentes. Assim, após a coleta, as amostras foram enviadas para a Universidade de São Paulo – USP para serem analisadas.

4.4.1 Locais de coleta das amostras

Para o diagnóstico, foram escolhidas 3 edificações para a coleta do material a ser analisado, sendo a amostra 1 para a edificação 1, as amostras 2, 3 e 4 para a edificação 2 e a amostra 5 para a edificação 3. Os critérios escolhidos para a coleta de amostras foram: platibandas que apresentassem manchas escuras e os locais próximos aos peitoris de janelas.

As amostras 1 e 5 foram obtidas de superfícies próximas às extremidades das janelas com o propósito de verificar se as manchas decorrentes do escoamento de água, descritas apenas como sujidade, também possuem a presença de microorganismos. A amostra 1 foi coletada sobre o revestimento cerâmico da fachada voltada à direção N, como ilustra a Figura 4.10 (a) e a amostra 5 refere-se à coletada realizada sobre o revestimento em pintura texturizada acrílica de fachada voltada à direção O, conforme Figura 4.10 (b). A escolha das fachadas foi pelo aspecto da sujidade, isto é, foram escolhidas as fachadas com maiores proporções de manchas.

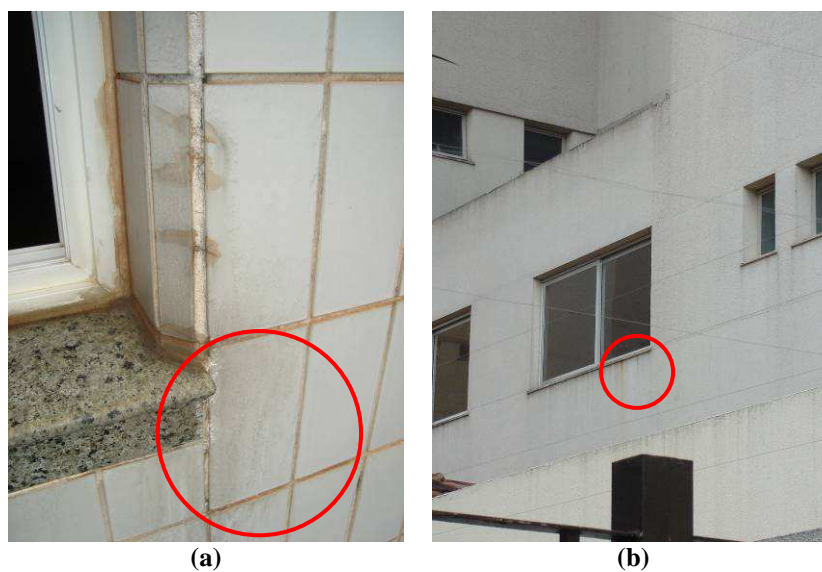


Figura 4.10 - Local da coleta da amostra 1 (a) e local da coleta da amostra 5

As amostras 2, 3 e 4 foram extraídas da região de topo da edificação ilustrada na Figura 4.11, especificamente das platibandas que possuem acabamento em pintura lisa. As amostras foram coletadas de orientações diferentes, sendo a amostra 2 coletada da fachada voltada para N, a amostra 3 coletada da fachada voltada para S e a amostra 4 coletada da região de topo de vedação que divide os apartamentos, não possuindo orientação específica por estar localizada no meio da edificação.



Figura 4.11 - Local da coleta da amostra 2 (a) e local da coleta da amostra 3

4.4.2 Método de amostragem

A amostragem foi realizada por meio de escovas de dentes previamente embaladas em papel alumínio e esterilizadas por 15 minutos a 120° C, em 1 atmosfera de pressão, e secas por 48 horas em estufa a 80° C. No momento da coleta, as cerdas da escova são desembrulhadas e umedecidas em solução salina estéril (0,85%), esfregadas com movimentos circulares sobre a superfície e, posteriormente, guarda-se a escova na mesma solução salina usada para umedecer as cerdas. Os microorganismos foram recuperados da escova por meio de um banho ultra-sônico, por 10 minutos, com o aparelho Thornton C/7, T7. Amostras das fachadas também foram coletadas através de fitas adesivas, como descrito por Gaylarde e Gaylarde (1999), para análise de fototróficos. Pedacos de fitas de aproximadamente 20 cm foram aderidas sobre as superfícies com manchas e depois coladas sobre folha de transparência. No total realizou-se também 5 coletas.

4.4.3 Análise microbiológica

As análises foram realizadas com as suspensões ultrassonadas descritas no item 4.4.2, por meio da inoculação por *Spread Plate*, em duplicata, de 100 µl da suspensão em placas de *Petri* contendo meio de cultura (*Agar Sabouraud*). Diluições decimais também foram inoculadas. As placas foram incubadas a 28° C, por 72 horas e as unidades formadoras de colônias foram registradas após este período. As fitas adesivas foram inoculadas em meio de cultura específico para fototróficos (*Bold*) e incubadas a temperatura ambiente sob luz solar indireta, durante 6 semanas.

4.5 ESTUDO DE CASOS DE MANCHAMENTO EM FACHADAS

Pela revisão bibliográfica explorada, tem-se que os principais efeitos causados pelos elementos que compõem as fachadas são as formações de manchas que podem ser originadas tanto de material particulado lançado na atmosfera por fontes de poluição, quanto pelo crescimento de microorganismos. Visualmente, não é possível a diferenciação entre ambos com exatidão, portanto, estas formações serão tratadas nesta etapa do trabalho apenas como manchas.

Assim, esta etapa do trabalho teve como finalidade identificar as manifestações patológicas pela formação de manchas nos elementos externos que compõem as fachadas e, principalmente, verificar o provável comportamento diferenciado das fachadas de uma mesma edificação no processo de deterioração frente às circunstâncias que às envolvem. Casos de fissuras, descolamento e destacamento de revestimentos, eflorescências, saponificação e outras manifestações patológicas não foram levados em consideração.

4.5.1 Amostragem

Foi utilizada como metodologia a inspeção visual e o registro fotográfico de edificações residenciais multipavimentos que apresentaram manchamento nas fachadas, sendo estas com mais de 12 pavimentos, revestidas predominantemente com argamassa e acabamento em pintura, localizadas na cidade de Goiânia e sem restrição de setor ou bairro onde estavam inseridas.

Cinco casos que se adequaram às variáveis foram inspecionados visualmente e registrados por fotografias e comporão o estudo de casos. Porém, outras edificações observadas apresentaram algum tipo de comportamento na formação de manchas representativo ao estudo e que será apresentado no item 5.9.7, denominado aspectos gerais dos elementos das fachadas.

Como informação de aspectos particulares a cada edifício, a utilização de projeto de revestimento, o tipo de revestimento decorativo, a idade e o tempo após a última manutenção na fachada foram especificados. Por possuírem características influenciadoras e, de certa forma, contribuírem com o entendimento da durabilidade, algumas edificações do estudo apresentam partes ou elementos com revestimento cerâmico, não excedendo mais de 50% por fachada.

4.5.2 Variáveis

A inclusão de variáveis é necessária quando se deseja criar um campo de dados para que as amostras possam ser comparadas pelas suas especificidades em comum. Deste modo, foi importante especificar algumas das variáveis ou aspectos que podem envolver a formação de manchas em fachadas de edifícios, citando-se:

- os elementos do clima que estão diretamente relacionados aos pontos cardeais, colaterais e subcolaterais. Deve-se ao fato de que a predominância dos ventos

influenciará na chuva dirigida e no transporte de material particulado, assim como a posição geográfica influencia no fenômeno de condensação devida a orientação solar; e

- os efeitos de edificações vizinhas sobre o comportamento do vento conforme citados por Gandemer (1975). A proximidade com outros edifícios cria zonas de proteção para fachadas pela criação de barreiras contra a chuva dirigida e a poluição.

As variáveis foram necessárias para obter, no resultado final, o razoável entendimento do comportamento de cada fachada em relação à direção N, S, E e O. Deste modo, para criar uma relação entre os níveis de deterioração para cada fachada e sua orientação, procuraram-se edifícios que fossem ortogonais aos pontos cardeais: N, S, L e O. Por meio de uma bússola, as fachadas foram identificadas quanto a sua orientação, aceitando-se inclinações de até 20° da situação do edifício em relação a estes pontos.

O “efeito de abrigo”, citado por Gandemer (1975), proporciona uma proteção por edificações vizinhas pela criação de barreiras contra o vento e, conseqüentemente, à chuva dirigida, o que levou à restrição de edifícios que estivessem, de forma abrangente, circundadas por edificações de mesma altura.

A proximidade com fontes emissoras de poluentes também é relevante para a constituição das manchas. As fontes pontuais, aéreas e lineares são importantes no processo da formação de manchas somadas aos efeitos de Corredor, Abertura, *Venturi* e Barreira, assim como o de Abrigo citado anteriormente, influenciam e aumentam a complexidade da compreensão do processo de manchamento das fachadas em relação às direções. Porém, neste estudo não foi levado em consideração tais fatores.

Do ponto de vista da concepção de projeto, destaca-se que uma mesma edificação pode apresentar fachadas diferentes, isto é, com características definidas pelas especificidades que as compõem, alterando-se as formas, as cores, os tipos de revestimento decorativo, a presença ou não de sacadas, as quantidades e as dimensões de janelas etc., como se pode verificar na Figura 4.12.



Figura 4.12 - Fachadas de um mesmo edifício: Orientação N (a), L (b), S (c) e O (d)

Assim, sucintamente, as variáveis consideradas para a delimitação do universo de edifícios para o estudo de casos foram edificações que:

- a) apresentassem manifestações patológicas por formação de manchas;
- b) possuísem revestimento em argamassa com pintura, aceitando-se edifícios no máximo de 50% em revestimento cerâmico para cada fachada;
- c) fossem ortogonais às direções N, S, E e O;
- d) apresentassem livres do efeito barreira por edificações vizinhas com mesma quantidade de pavimentos ou altura; e
- e) possuísem 4 fachadas.

Por esta razão, o universo de amostras apresentou-se limitado, pois as diversidades de projetos arquitetônicos, as situações de implantação e o processo de urbanização criam identidades específicas para cada edifício e seu entorno.

Dentro destes requisitos, fachadas foram inspecionadas visualmente e registradas em fotografia e alguns fatores foram limitadores da obtenção qualitativa das imagens: obstáculos físicos (árvores e edificações vizinhas), iluminação natural e, principalmente, posição de onde foram realizadas as inspeções e as fotografias (no nível do solo), o que dificulta uma melhor visualização dos detalhes e suas manifestações.

Em princípio, as imagens seriam expostas enquadrando, na medida do possível, toda a fachada, conforme Figura 4.13 (a); mas, para se obter uma melhor visualização, buscou-se focalizar os principais detalhes e as respectivas manchas. Devido às edificações apresentarem maiores níveis de deterioração nas partes superiores, limitou-se a ilustrá-las com mais ênfase e frequência, conforme demonstrado na Figura 4.13 (b).

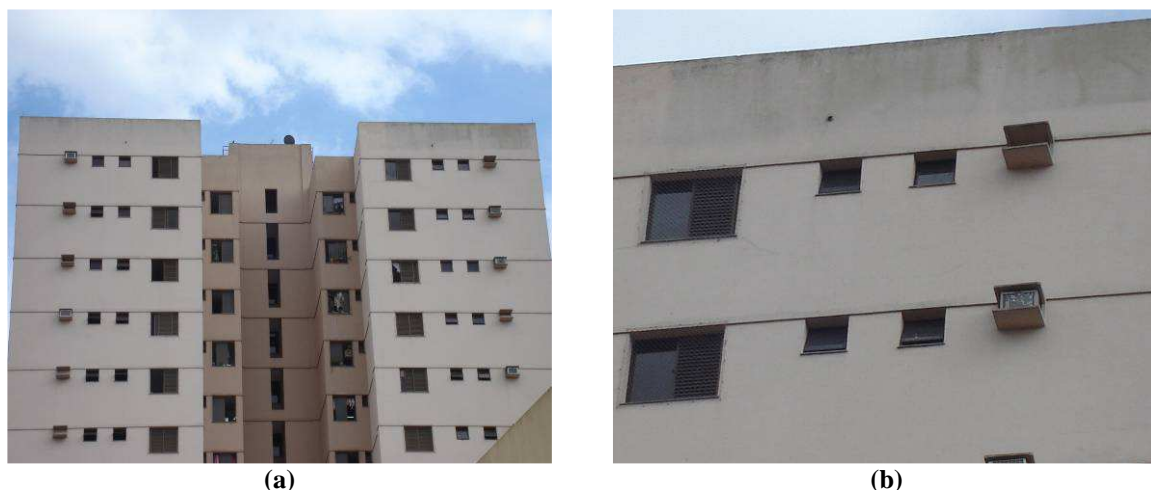


Figura 4.13 - Vista geral de fachada com orientação S (a) e vista em detalhe da fachada com orientação S (b)

4.5.3 Mapas de percentuais de manchamento

No trabalho apresentado por Gaspar e Brito (2005), os autores utilizaram-se de análises probabilísticas para a definição das ocorrências de manifestações patológicas em revestimentos de argamassa aplicados em fachadas nas cidades de Lisboa, Alcochete e Tavira, em Portugal, atribuindo valores percentuais a ocorrência de danos nas fachadas. Antunes (2010), adaptando à proposição de Gaspar e Brito (2005), realizou o mapeamento de dados de manifestações patológicas e estabeleceu oito diferentes regiões de análise tipo nas fachadas para representação esquemática das regiões de uma fachada, como ilustrado na Figura 4.14.

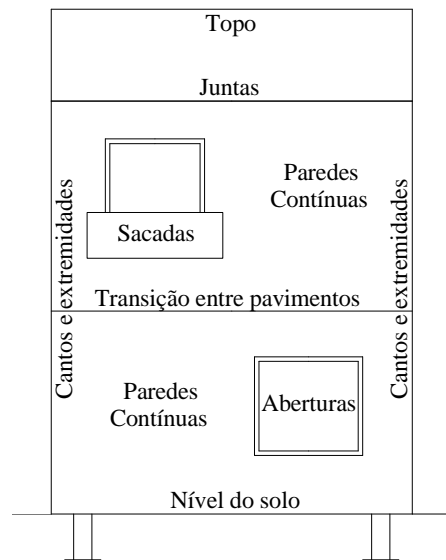


Figura 4.14 - Representação esquemática das regiões de análise tipo numa fachada, modificado de Gaspar e Brito (2005) (ANTUNES, 2010)

Adaptando-se as metodologias citadas foram criados mapas representativos das fachadas relacionando os percentuais de manchamento encontrados nos elementos das fachadas e as orientações quanto aos pontos cardeais N, S, E e O, como ilustrado na Figura 4.15. Os elementos que apresentaram com mais frequência manchas foram: platibandas, regiões próximas a peitoris de janelas, guarda-corpos de cobertura e sacadas e também as pingadeiras. Com as inspeções e registros fotográficos, passou-se a observar que em outros elementos da fachada também se formavam manchas. Diferentemente dos elementos com características de horizontalidade citados anteriormente, estas manchas não estavam associadas à forma dos elementos, mas, principalmente, ao fenômeno climático da condensação e às características e propriedades dos materiais de construção. Estes elementos são: as alvenarias de vedação de paredes contínuas, de paredes com aberturas, de sacadas e platibandas.

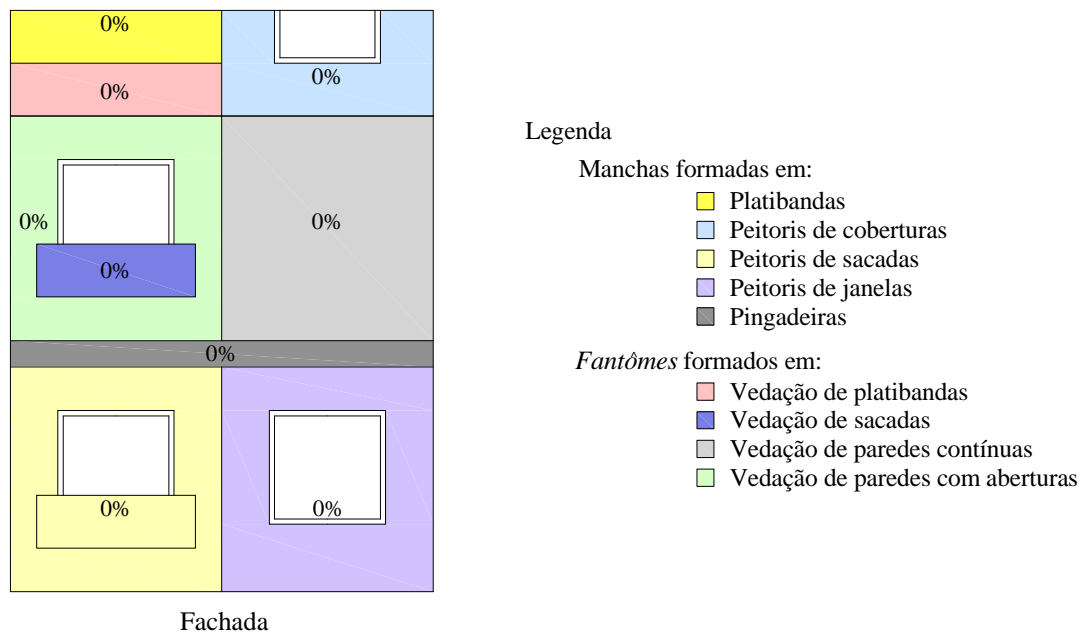


Figura 4.15 - Mapa das regiões e percentuais de manifestações patológicas (Adaptado GASPARGASPAR; BRITO, 2005; ANTUNES, 2010)

Gráficos de barra contendo os percentuais das manifestações patológicas encontrados para cada fachada é apresentado como forma de compará-las, porém, com o cuidado de observar que somente as fachadas opostas possuem características iguais e a análise e interpretação dos gráficos deve levar em consideração estas limitações.

Para as manifestações patológicas de formação de manchas em platibandas, peitoris de andares de coberturas e *fantômes* formados em vedação de platibandas, de sacadas, paredes contínuas e paredes com aberturas, o percentual foi obtido pela razão entre a área da mancha e a área total do elemento. Para as manifestações patológicas de formação de manchas em peitoris de sacadas e janelas, o percentual foi obtido pela quantidade de unidades que apresentou manchas próximas ao canto inferior da superfície vertical e as unidades totais presentes na fachada. Ressalta-se que estes valores são aproximados devida a complexidade dos fenômenos e da caracterização, tendo como objetivo imediato possibilitar ao leitor a verificação das diferenças entre as fachadas, pois o grau de percepção por imagens é bastante limitado. Para fachadas sem determinado elemento do estudo, os mapas de fachadas não apresentam nenhum valor.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos com relação ao clima da cidade de Goiânia, necessárias para compreensão dos demais resultados obtidos, bom como os índices de chuva dirigida, umidade superficial e formação de manchamentos nas fachadas.

5.1 CLIMA DA CIDADE DE GOIÂNIA

Geograficamente, a cidade de Goiânia está localizada na latitude 16° 41' sul, na longitude 49° 17' oeste e, conforme Fernandes (2006), o clima predominante é o tropical úmido. A região onde se encontra apresenta duas características significativas: a continentalidade, pela distância com o oceano Atlântico e a grande regularidade do processo cíclico dos deslocamentos de massas de ar que associado a outros aspectos cria um regime pluviométrico bem definido, apresentando uma estação chuvosa (5 meses com precipitação acima dos 200 mm mensais) e uma seca (com 3 meses praticamente secos e 4 com pouca chuva). A umidade acompanha a variação do ciclo da chuva durante o ano, mas, enquanto o índice de pluviométrico apresenta uma variação abrupta entre os meses do ano, a umidade apresenta uma variação discreta, como pode ser visto na Figura 5.1.

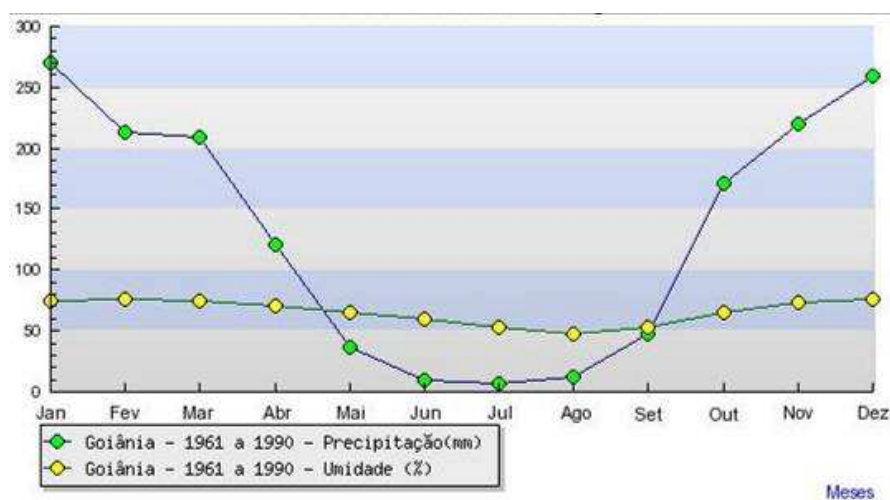


Figura 5.1 - Gráfico climatológico de precipitação (mm) e umidade (%) de Goiânia (INMET, 2010)

De acordo com a publicação EIA (2004) e pelos dados da estação meteorológica do Aeroporto Santa Genoveva no período de 1996 a 2002, a cidade apresenta predominância de vento no sentido Noroeste (NO) e Nor-Noroeste (NNO) nos meses de novembro a março e para os meses de maio a setembro, vento predominante de Su-Sudeste (SSE) e ESE (Lés-Sudeste). Fernandes (2006) apresenta na Tabela 5.1 a primeira e a segunda predominância de direção e as velocidades médias de vento para Goiânia. Importante observar que para a estação chuvosa, a primeira predominância de direção de vento é N, mudando para E durante o período seco. Segundo o autor, os dados de vento foram obtidos no aeroporto da cidade pela média de cinco anos consecutivos, numa área bastante aberta e somente com ocupação horizontal.

Tabela 5.1 - Direção e velocidade de vento durante 5 anos para a cidade de Goiânia (FERNANDES, 2006)

Predominância	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Direção	N	N	E	E	E	E	E	E	E	N	N	N
Primeira Velocidade (m/s)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,0	3,5	3,0	2,5	2,5
Direção	NNO	NNE	ENE	ENE	S	S	ESE	ENE	S	NNE	ENE	NNE
Segunda Velocidade (m/s)	3,0	3,0	3,5	2,5	2,5	2,5	3,0	4,0	2,0	2,5	3,0	2,5

Legenda: N (Norte), E (Leste), NNO (Nor-Noroeste), NNE (Nor-Nordeste), S (Sul), ESE (Lés-Sudeste) e ENE (Lés-Nordeste).

A insolação em Goiânia é maior nos meses mais secos e nos meses chuvosos a insolação é menor devido aos elevados índices de nebulosidade nos períodos de chuva. A cidade apresenta os maiores valores de temperatura média nos meses de setembro e outubro e as médias mais baixas têm ocorrido nos meses de junho e julho, conforme ilustração da Figura 5.2.

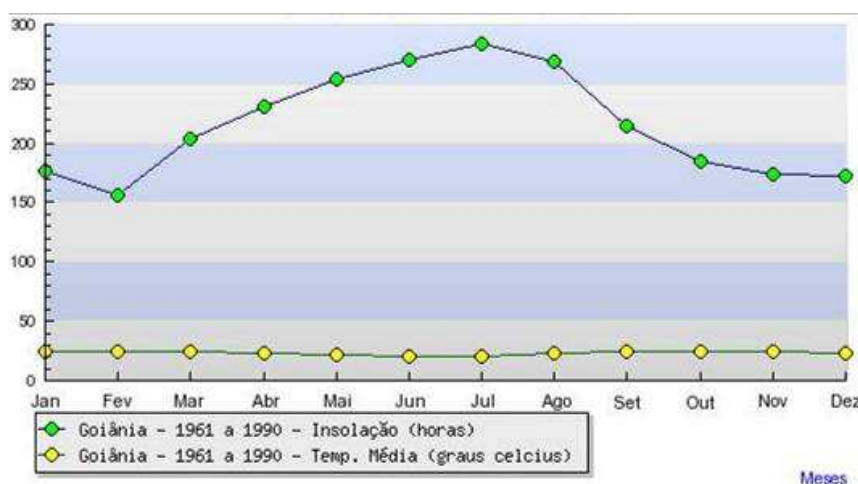


Figura 5.2 - Gráfico climatológico de insolação (horas) e temperatura média (graus Celsius) de Goiânia (INMET, 2010)

Todos estes elementos do clima, associados ou não, criam especificidades à região de Goiânia e ajudam a compreender o comportamento das fachadas locais, uma vez que o intemperismo leva à degradação das construções. Esta abordagem geral também consolida, de certa maneira, os resultados obtidos pelos índices de chuva dirigida, que serão apresentados a seguir, assim como ajudará a compreender outros aspectos do clima local e a influência na deterioração de fachadas.

5.2 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA ANUAL

A Figura 5.3 apresenta a quantidade de precipitação pluviométrica (mm) acumulada nos anos de 2002 a 2008 para cada quadrante (N, NE, E, SE, S, SO, O e NO) nos meses do ano. No mês de janeiro, destacam-se com maiores valores os quadrantes NO e N e os menores valores nos quadrantes S e SO. Para o mês de fevereiro, os quadrantes N e SE apresentam os maiores valores de precipitação, tendo-se novamente os quadrantes S e SO com os menores valores. Março também é um mês com quantidades significativas de precipitação e apresenta os quadrantes NO e SE com maiores valores e os quadrantes S e SO como os de menores valores. Para o mês de abril, apresenta-se como maior valor de precipitação o quadrante SE, sendo os demais com valores inferiores a 100 mm. Os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro são períodos do ano com baixa precipitação pluviométrica, apresentando valores inferiores a 50 mm, somatório no período de 2002 a 2008. Para o mês de outubro, o quadrante SE apresenta maior valor de precipitação e com menores valores os quadrantes S e O. Novembro apresenta com maiores valores os quadrantes NO e N e os quadrantes SO, S e NE os menores valores. O mês de dezembro apresenta com maiores valores os quadrantes NO e N e os quadrantes S e E com os menores valores.

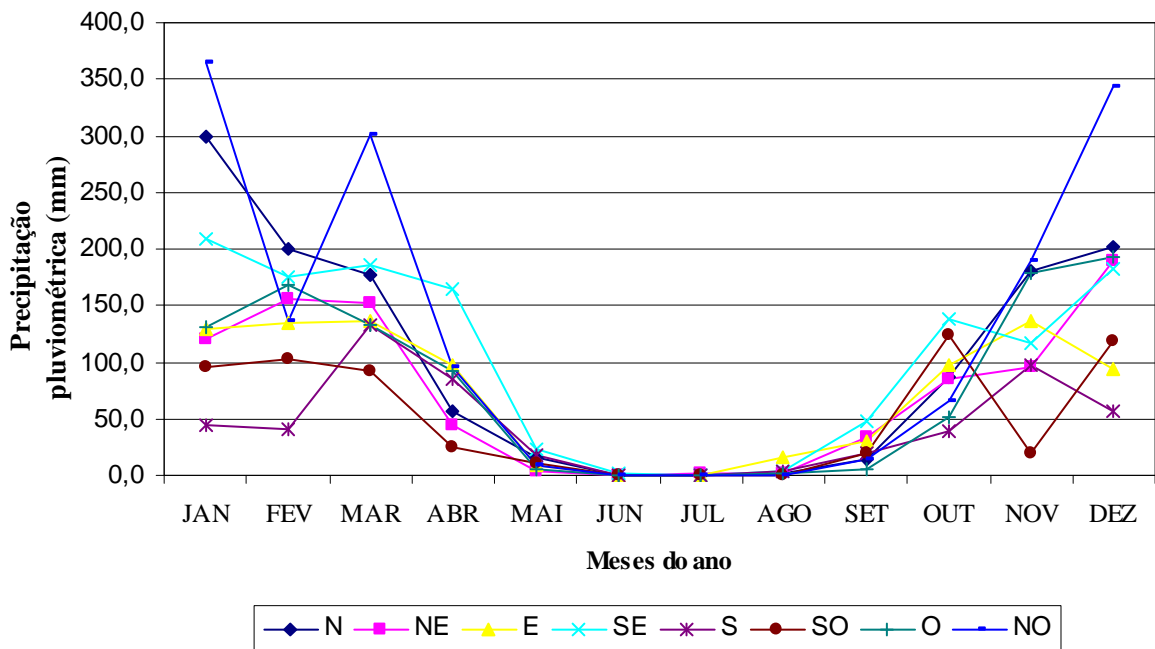


Figura 5.3 - Precipitação pluviométrica acumulada por meses do ano, para cada quadrante (Goiânia, 2002 a 2008)

A Figura 5.4 apresenta as médias de velocidade de vento (m/s) no período de 2002 a 2008 nos eventos que ocorreram precipitação, pois as velocidades de vento sem ocorrência de chuva não foram contabilizadas. Observa-se que no mês de junho houve a maior média de velocidade de vento para o quadrante S, acima de 5 m/s. De maneira geral, nota-se que as maiores médias de velocidade de vento estão nos períodos de pouca intensidade pluviométrica – junho, julho, agosto e setembro e que são justamente os ventos de quadrante S, SO, SE e E.

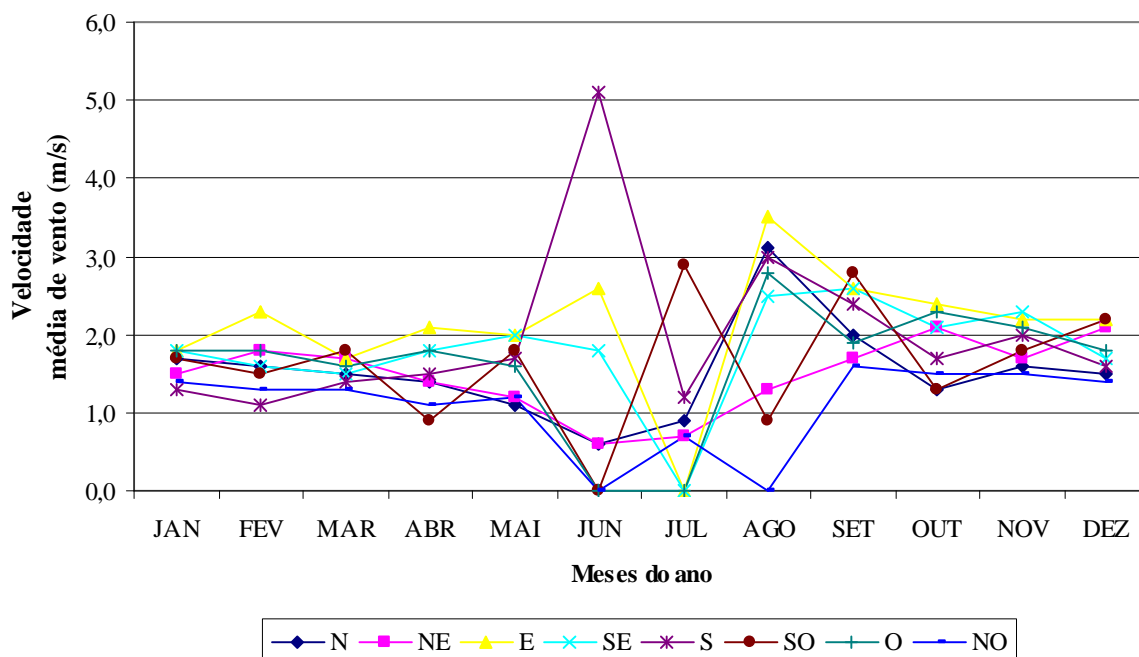


Figura 5.4 - Média de velocidade de vento por meses do ano, para cada quadrante (Goiânia, 2002 a 2008)

A Tabela 5.2 apresenta as médias dos índices de chuva dirigida anuais, o total de precipitação anual com vento e a velocidade média do vento para os anos de 2002 a 2009, assim como a classificação de exposição para cada ano de acordo com a metodologia de Chand e Bhargava (2000).

Tabela 5.2 - Índice de chuva dirigida anual

Ano	Precipitação anual com vento (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Índice de chuva dirigida anual - ICDA (m ² /s)	Nível de exposição segundo Chand e Bhargava (2002)
2002	956,7	2,1	2,01	Protegido
2003	1004,2	1,9	1,91	Protegido
2004	1236,2	1,5	1,85	Protegido
2005	1186,6	1,8	2,14	Protegido
2006	1261,9	1,7	2,15	Protegido
2007	794,6	1,7	1,35	Protegido
2008	1366,2	1,7	2,32	Protegido
Média	1115,2	1,8	2,01	Protegido

O ano de 2008 apresentou o maior ICDA, com valor igual a 2,32 m²/s e o ano de 2007 teve o menor ICDA, com valor igual a 1,35 m²/s. Todos os anos correspondem ao nível de exposição protegido.

5.3 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAL – ANUAL

As Figuras 5.5 e 5.6 apresentam os Índices de Chuva Dirigida direcional - anual (ICDd-a) no período de 2002 a 2008, período da implantação da estação automática de meteorologia até os dias atuais.

Para o ano de 2002, houve um maior ICDd-a para o quadrante NO (0,33 m²/s) e o quadrante com menor ICDd-a foi o S, com 0,15 m²/s. No ano de 2003, o quadrante N e NE apresentam os maiores valores de ICDd-a, 0,36 m²/s e o quadrante SO o menor valor de ICDd-a (0,05 m²/s). O ano de 2004 apresenta o quadrante E com o maior ICDd-a (0,37 m²/s) e o menor ICDd-a foi 0,11 m²/s, tanto para o quadrante S quanto para SO. Para o ano de 2005, o maior ICDd-a foi para o quadrante SE, com valor igual a 0,53 m²/s e o quadrante S o menor valor (0,05 m²/s). O ano de 2006 apresenta com o maior valor de ICDd-a o quadrante NO (0,35 m²/s) e o quadrante NE apresenta o menor ICDd-a, igual a 0,15 m²/s. Para o ano de 2007, o quadrante E possui o maior valor de ICDd-a, igual a 0,36 m²/s e sendo para o quadrante S o menor valor de ICDd-a (0,05 m²/s). No ano de 2008, o quadrante NO apresenta o maior valor de ICDd-a (0,46 m²/s) e o quadrante S com o menor valor (0,09 m²/s).

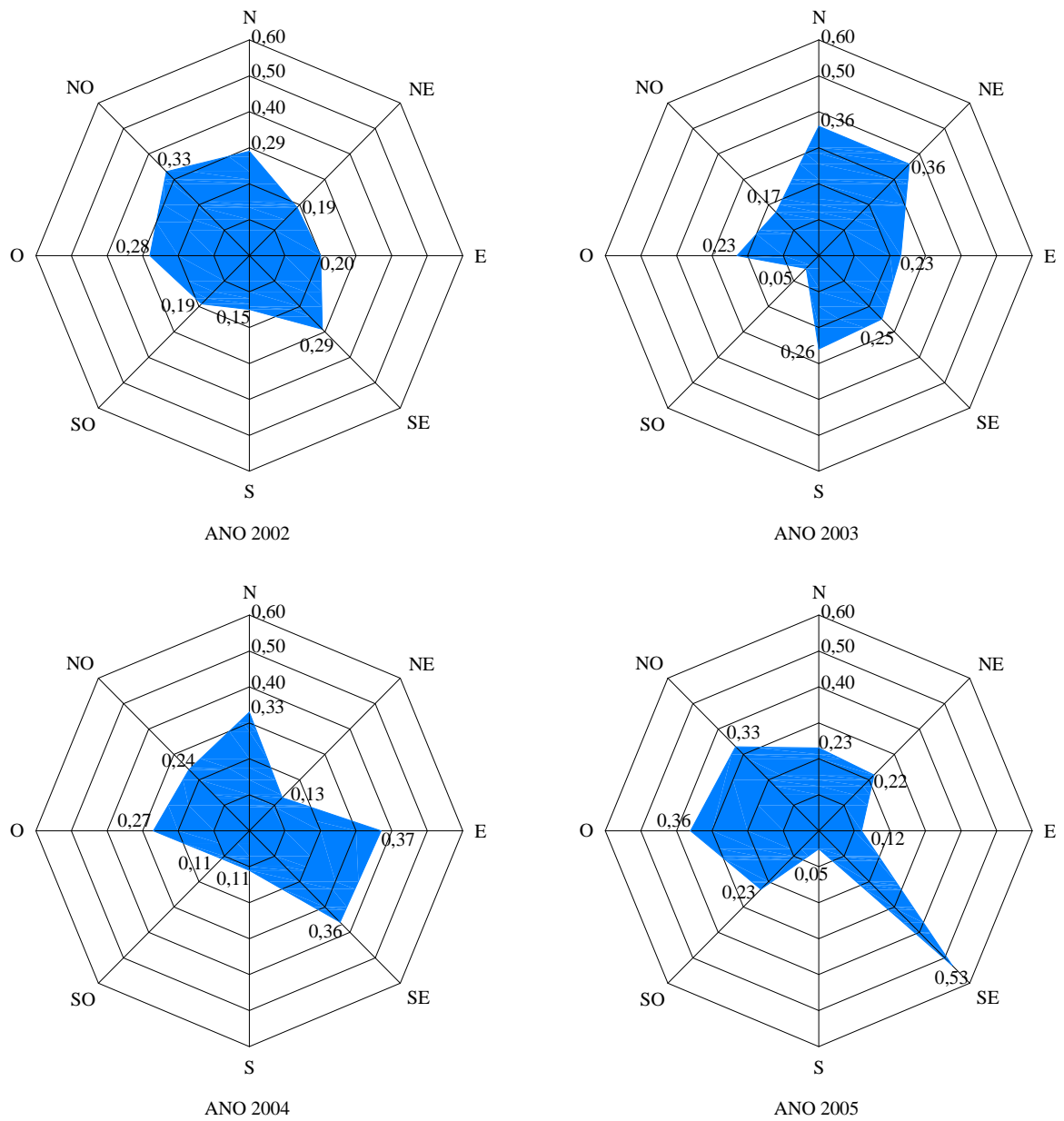


Figura 5.5 - Índices de chuva dirigida direcional anual (m²/s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2005

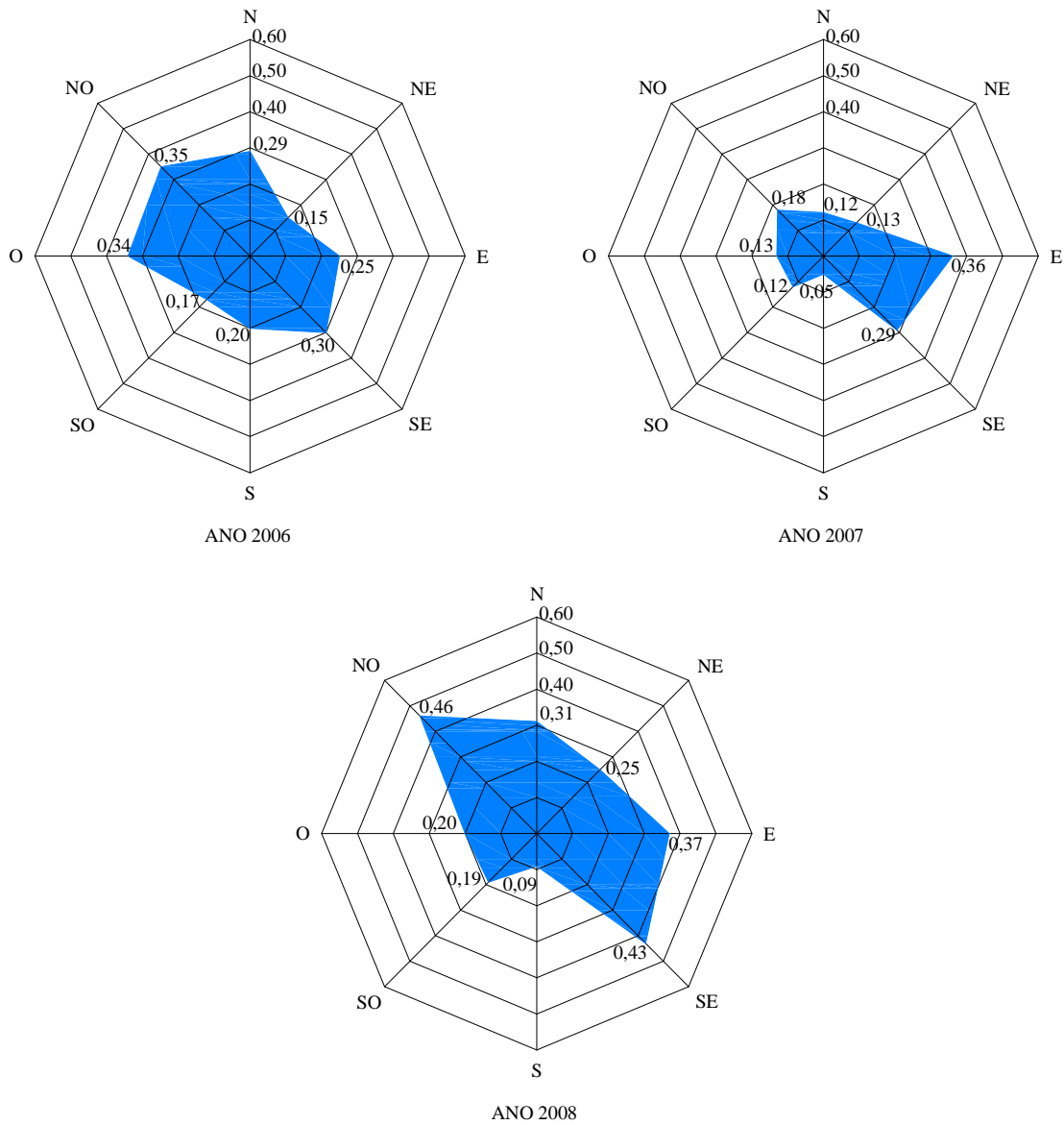


Figura 5.6 - Índices de chuva dirigida direcional anual (m²/s) para Goiânia nos anos de 2006 a 2008

A Figura 5.7 é resultante da média de ICDd-a, apresentando como maior valor o quadrante SE (0,35 m²/s), seguido do quadrante NO com valor igual a 0,29 m²/s e com menor valor o quadrante S (0,13 m²/s).

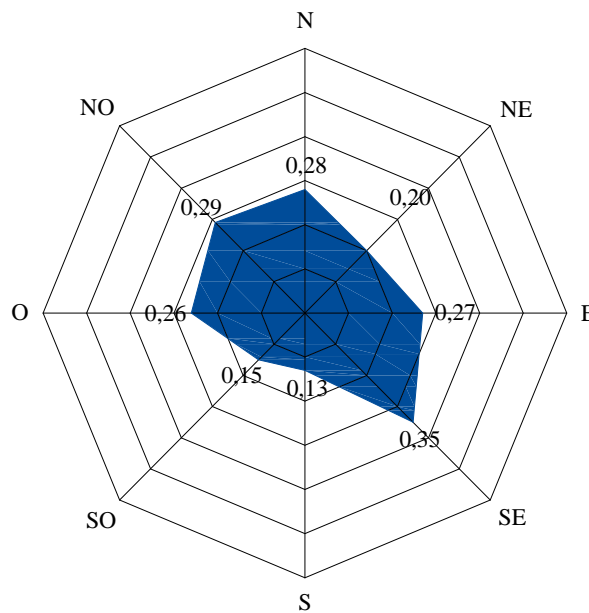


Figura 5.7 - Média dos índices de chuva dirigida direcional anual (m²/s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2008

5.4 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAL - MENSAL

As Figuras 5.8 e 5.9 apresentam os índices de chuva dirigida direcional - mensal (ICDd-m) no período de 2002 a 2009. Os gráficos referentes aos meses de maio, junho, julho e agosto não se apresentam por possuírem índices de precipitação pluviométrica próximos de zero, sendo estes não representativos para análise.

Para o mês de janeiro, os quadrantes N e NO apresentam maior valor de ICDd-m (0,50 m²/s), sendo o menor valor para o quadrante S (0,06 m²/s). Fevereiro apresenta maiores e iguais valores para os quadrantes N e E (0,31 m²/s) e menor valor para o quadrante S (0,05 m²/s). No mês de março, o quadrante NO apresenta o maior valor de ICDd-m (0,40 m²/s), tendo o quadrante SO o menor valor de ICDd-m (0,16 m²/s). Para o mês de abril, o quadrante SE apresenta valor de ICDd-m igual a 0,30 m²/s e o menor ICDd-m para o quadrante SO (0,02 m²/s). Em setembro, o maior valor de ICDd-m foi para o quadrante SE (0,12 m²/s) e o menor para o quadrante O (0,01 m²/s). O mês de outubro apresenta o quadrante SE com maior valor de ICDd-m (0,30 m²/s) e o menor valor de ICDd-m foi para o quadrante S (0,07 m²/s). No mês de novembro, o quadrante O apresenta maior ICDd-m (0,38 m²/s) e o quadrante SO apresenta o menor valor (0,03 m²/s). Em dezembro, o quadrante NO apresenta o maior valor de ICDd-m (0,49 m²/s) e o quadrante S com o menor valor de ICDd-m (0,09 m²/s).

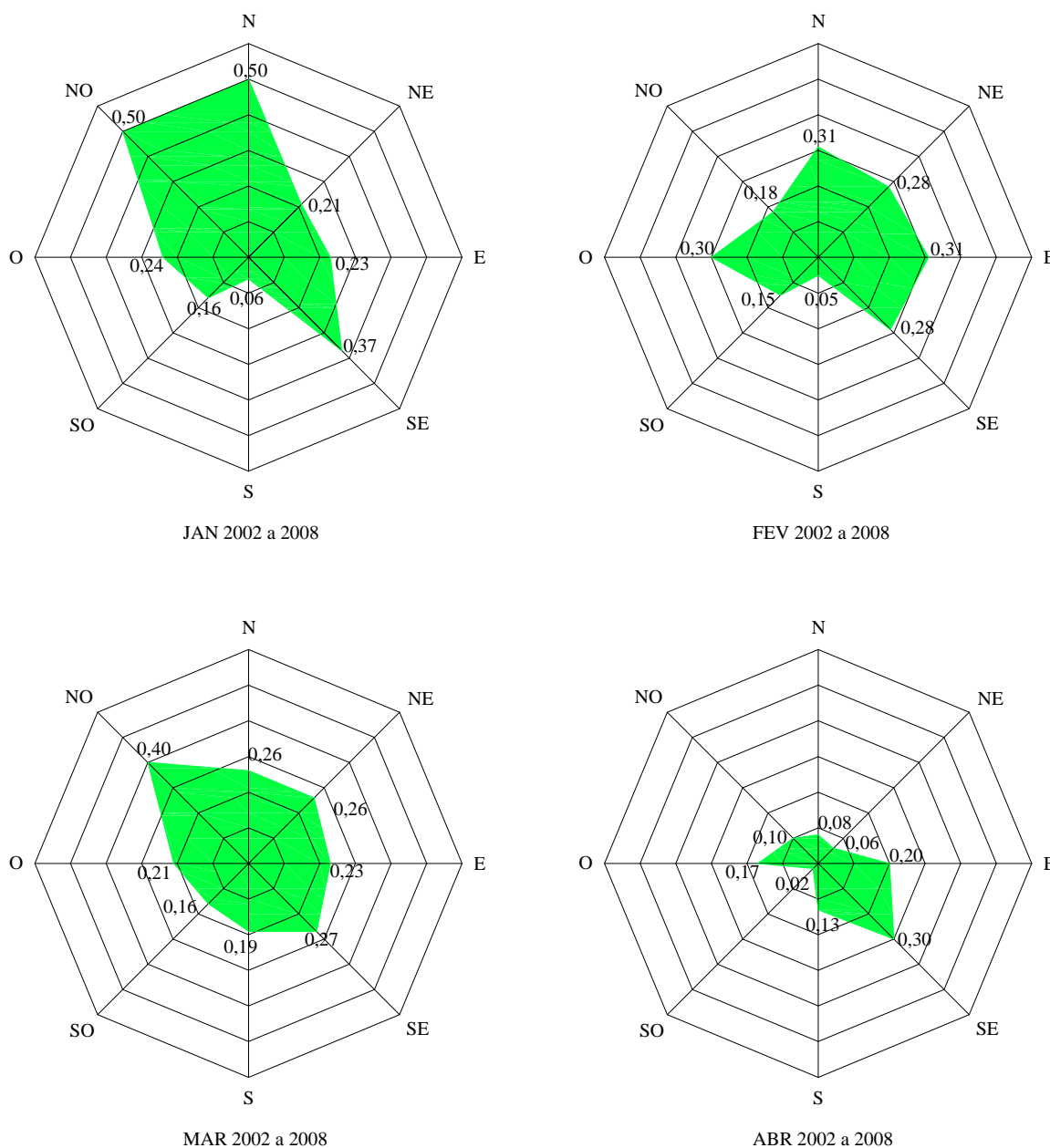


Figura 5.8 - Índices de chuva dirigida direcional mensal (m^2/s) para Goiânia nos meses de janeiro a abril no período de 2002 a 2008

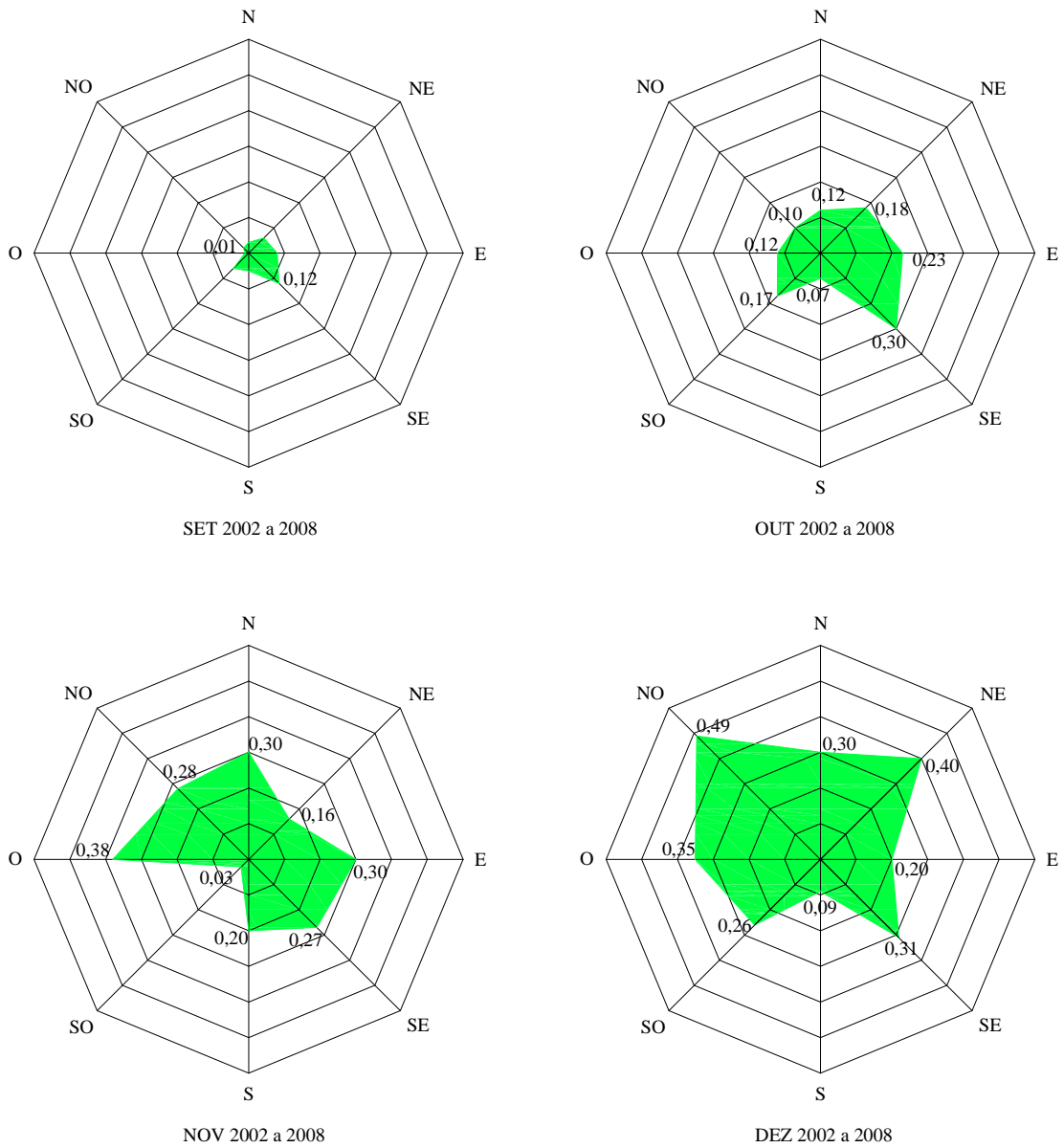
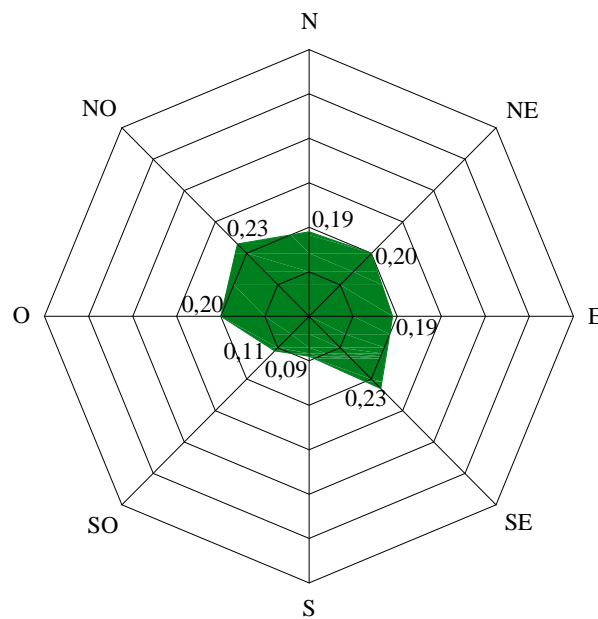


Figura 5.9 - Índices de chuva dirigida direcional mensal (m²/s) para Goiânia nos meses de setembro a dezembro no período de 2002 a 2008

A Figura 5.10 ilustra a resultante da média de ICDD-m, apresentando como maior valor o quadrante SE (0,23 m²/s), seguido do quadrante NO com valor igual a 0,23 m²/s e com menor valor o quadrante S (0,07 m²/s).



MÉDIA MENSAL - 2002 a 2008

Figura 5.10 - Média dos índices de chuva dirigida direcional anual (m^2/s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2008

5.5 MONTANTE DE CHUVA DIRIGIDA EM PAREDE VERTICAL

As Figuras 5.11, 5.12 e 5.13 apresentam os montantes de chuva dirigida em parede vertical nos anos de 2002 a 2008. Em 2002, as fachadas NO e O são as mais críticas, seguidas das fachadas N e SO. Neste período, a fachada S apresentou-se como a menos crítica. No ano de 2003, a fachada NE e N apresentam-se como as mais críticas, seguidas da fachada NO e tendo a fachada O como a menos crítica. Em 2004, a fachada NO apresenta-se como a mais crítica e as fachada S e SO como as menos críticas. O ano de 2005 apresenta a fachada O como a mais crítica, seguida da fachada NO e a fachada NE como a menos crítica. Em 2006, as fachadas NO e O são as mais críticas e a fachada NE é a menos crítica. O ano de 2007 apresenta a fachada E como a mais crítica e a fachada SO é a menos crítica. No ano de 2008, a fachada E é a mais crítica e a fachada SO e S são as menos críticas.

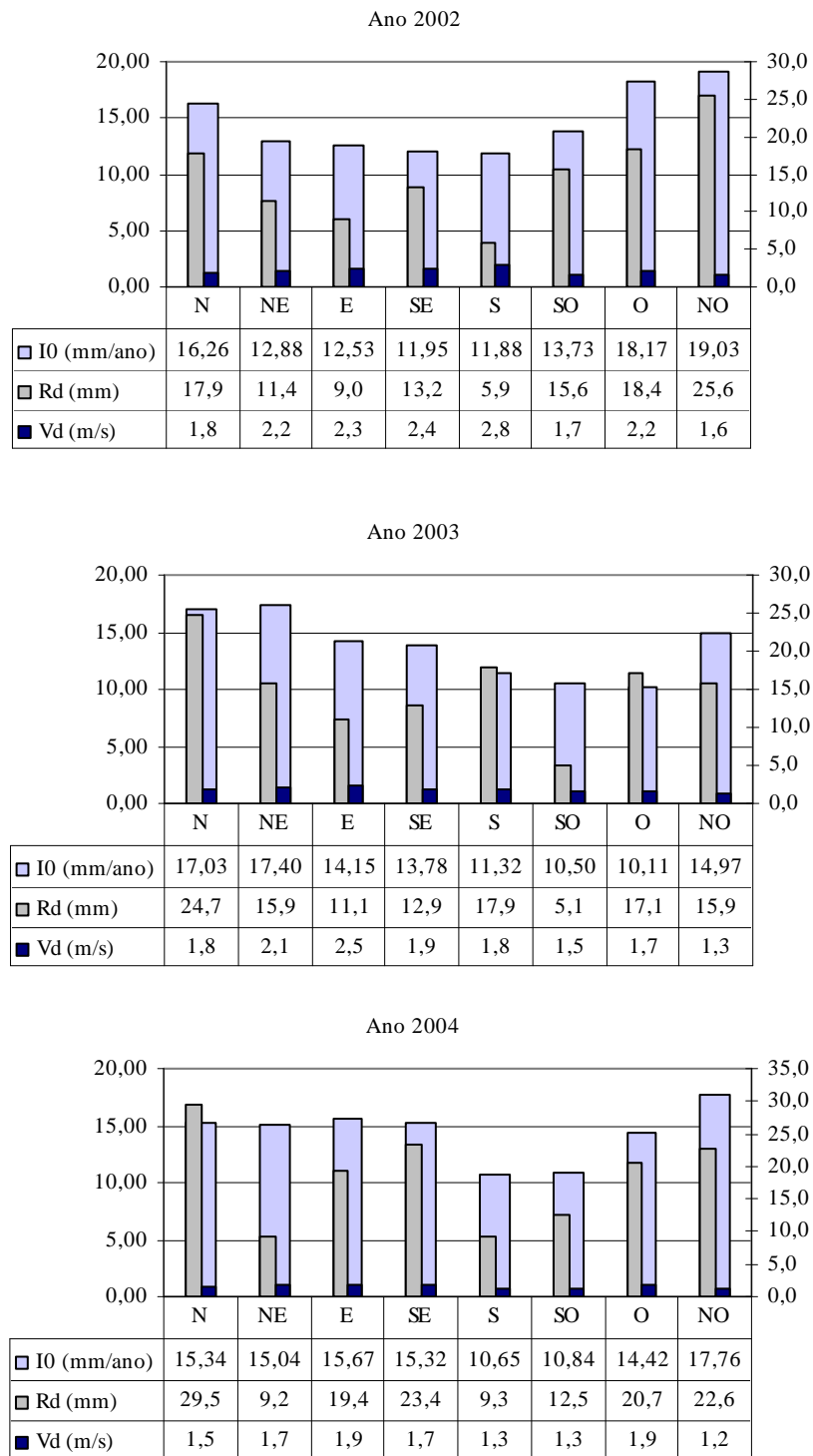


Figura 5.11 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2002 a 2004

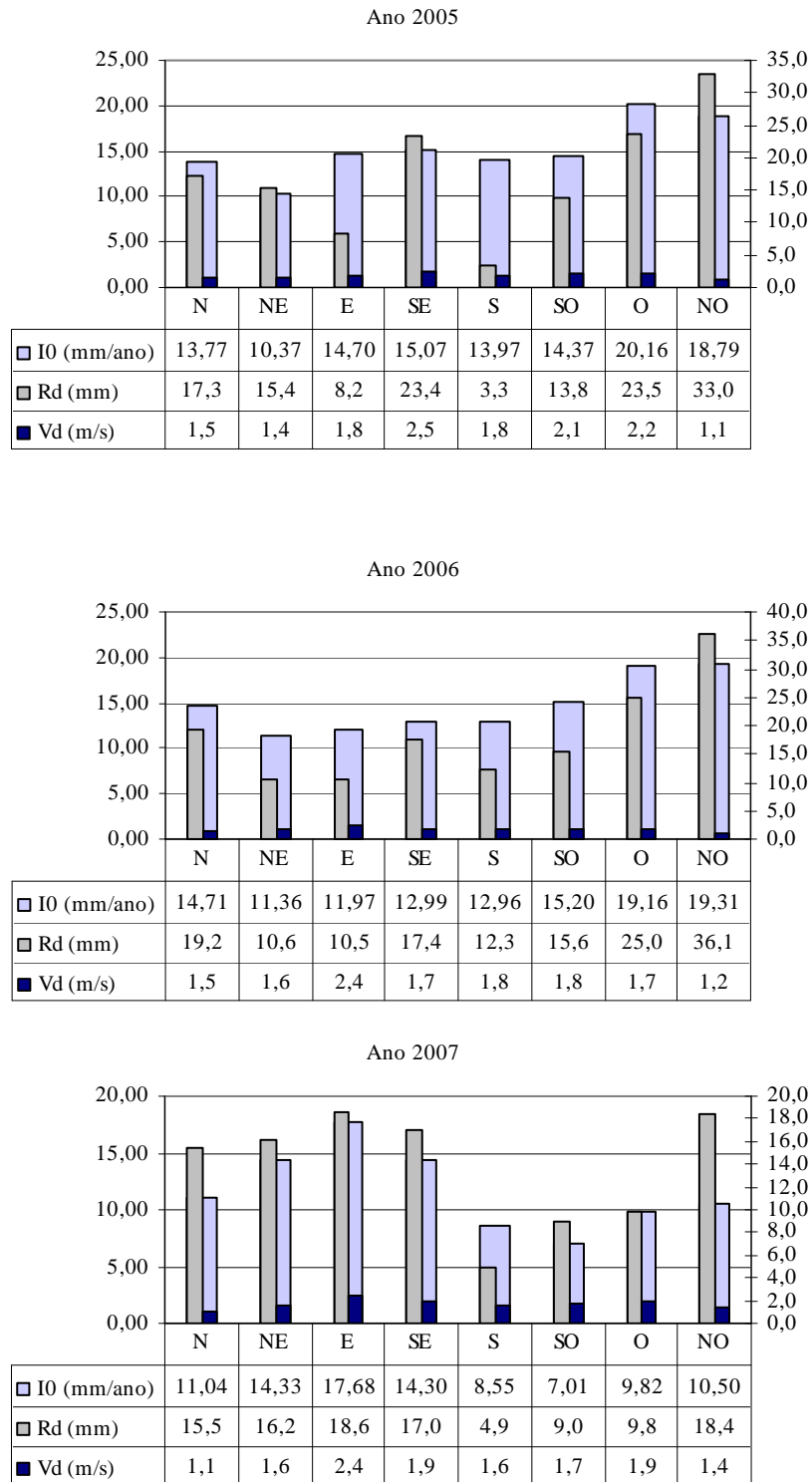


Figura 5.12 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2005 a 2007

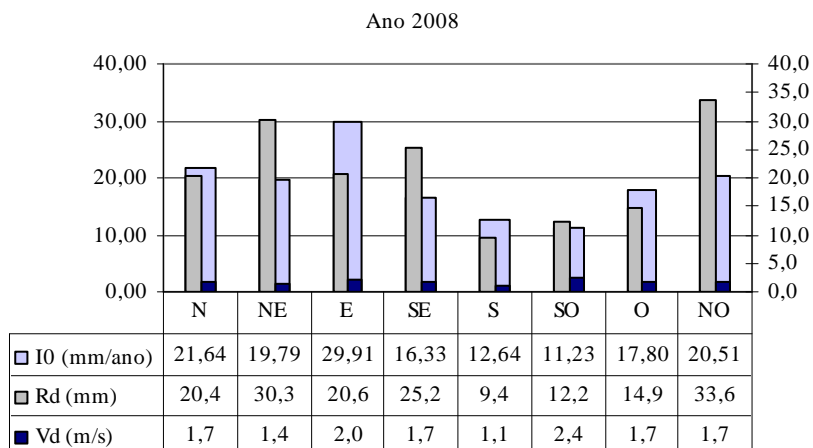


Figura 5.13 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia no ano de 2008

A Figura 5.14 apresenta a média dos montantes de chuva dirigida em parede vertical no período de 2002 a 2008. As fachadas NO, E, N e O apresentam-se como as mais críticas, seguidas das fachadas NE e SE e as fachadas S e SO são as menos críticas.

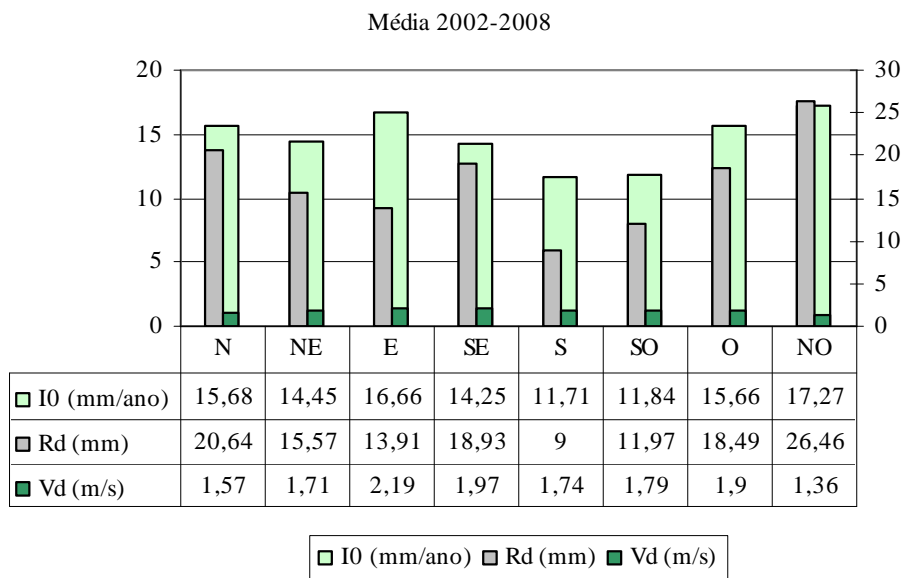


Figura 5.14 - Média dos montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2002 a 2008

A partir das figuras apresentadas, observa-se um comportamento um tanto variado entre os montantes no período de 2002 a 2008 e pelo gráfico da média uma predominância para eventos acima de 15 mm/ano para as orientações e fachadas voltadas a: N, SE, NO e O. Por outro lado, a orientação e fachada S, com exceção do ano de 2006, sempre se apresentam como as menos críticas.

5.6 MEDIÇÃO DE UMIDADE EM FACHADA DE EDIFÍCIO

A Tabela 5.3 apresenta as medições de direção e velocidade de vento além de precipitação pluviométrica realizadas pela estação automática do INMET, localizada no setor Jaó, nas últimas 24 horas antes das medições de umidade superficial nas fachadas do edifício em estudo.

Tabela 5.3 - Medições da estação automática do INMET

Data	Hora (UCT)	Vento (m/s)		Chuva (mm)
		Velocidade (m/s)	Direção em garus	
7/1/2010	15	1,6	338°	0,0
7/1/2010	16	1,2	338°	0,0
7/1/2010	17	1,6	338°	0,0
7/1/2010	18	0,5	338°	0,0
7/1/2010	19	0,8	338°	0,0
7/1/2010	20	1,8	338°	0,0
7/1/2010	21	1,5	338°	0,0
7/1/2010	22	2,9	338°	0,0
7/1/2010	23	0,8	338°	0,0
8/1/2010	0	2,1	338°	2,0
8/1/2010	1	1,6	338°	7,4
8/1/2010	2	1,3	338°	0,2
8/1/2010	3	1,2	338°	0,0
8/1/2010	4	1,8	338°	0,2
8/1/2010	5	0,8	338°	1,0
8/1/2010	6	0,2	338°	0,8
8/1/2010	7	0,0	338°	0,8
8/1/2010	8	0,2	338°	0,4
8/1/2010	9	0,4	338°	0,8
8/1/2010	10	0,0	338°	0,4
8/1/2010	11	1,1	338°	0,2
8/1/2010	12	0,9	338°	0,0
8/1/2010	13	1,5	338°	0,0
8/1/2010	14	1,3	338°	0,0
8/1/2010	15	2,2	338°	0,0

A Tabela 5.4 e a Figura 5.15 apresentam os resultados das medições de umidade por meio do aparelho *Moisture Meter*. A fachada voltada à orientação N apresenta os maiores valores, sendo que, para a medição realizada mais a oeste da mesma fachada, os valores são maiores que os valores a leste da edificação. As fachadas com orientações L e S apresentam, de maneira geral, valores próximos e a fachada voltada a O apresenta valores um pouco maiores que os das fachadas L e S, principalmente no 17º pavimento. Isto é explicado pelo fato de que a direção do vento predominou-se a 338°.

Tabela 5.4 - Medições de umidade superficial realizadas nas fachadas do edifício

Orientação da fachada	Proximidade da fachada	Pavimentos					
		2° andar		9° andar		17° andar	
		Embaixo da janela	Ao lado da janela	Embaixo da janela	Ao lado da janela	Embaixo da janela	Ao lado da janela
N	Leste	9,1	8,4	12,6	11,3	11,4	8,8
	Oeste	16,0	14,7	10,2	8,7	12,9	9,5
L	Norte	6,6	4,5	3,7	3,6	3,3	3,9
	Sul	3,5	3,8	4,3	3,1	6,0	3,9
S	Leste	4,8	3,4	4,1	3,5	3,9	3,6
	Oeste	4,9	3,7	3,1	3,0	3,6	3,4
O	Norte	4,9	3,6	4,1	3,3	10,1	5,2
	Sul	4,0	4,0	5,3	4,3	8,8	8,3

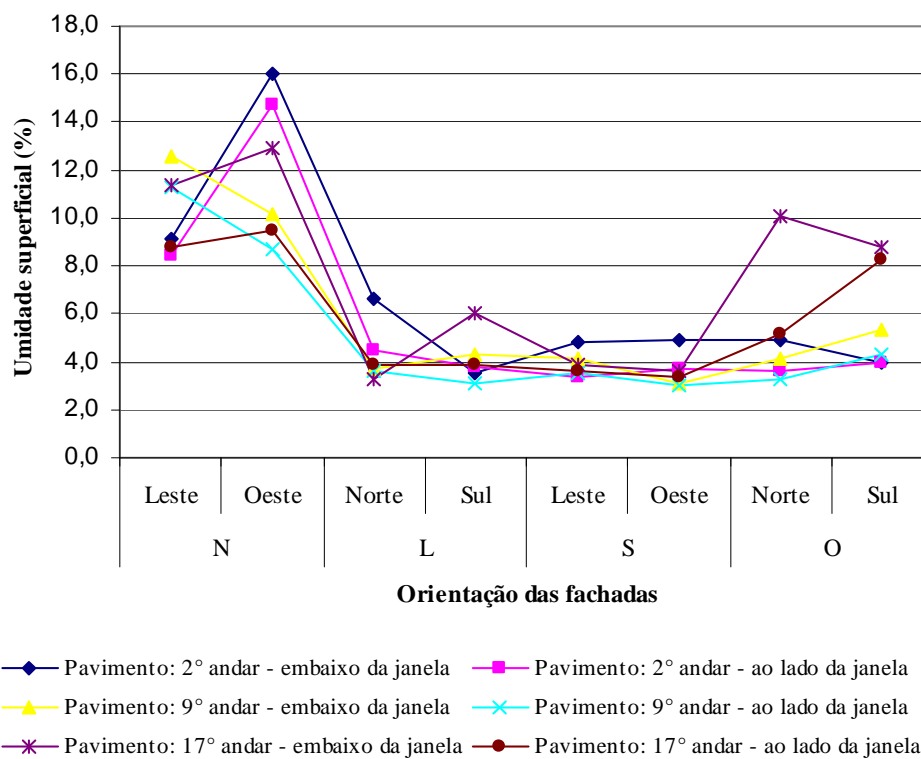
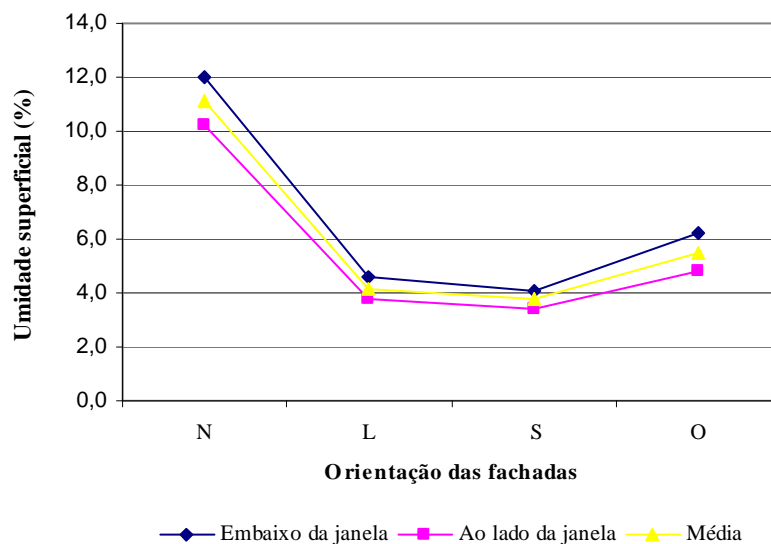


Figura 5.15 - Umidade superficial em função da orientação da fachada medida nos diversos pavimentos

Em relação à localização onde foram realizadas as medições, verificam-se maiores valores para as medições embaixo das janelas, em todas as fachadas, que nas medições realizadas ao lado das janelas, conforme Tabela 5.5 e Figura 5.16.

Tabela 5.5 - Média das medições de umidade superficial por localização

Orientação da fachada	Local da medição		Média
	Embaixo da janela	Ao lado da janela	
N	12,0	10,2	11,1
L	4,6	3,8	4,2
S	4,1	3,4	3,8
O	6,2	4,8	5,5

**Figura 5.16 - Média das medições de umidade superficial por localização**

A Tabela 5.6 e a Figura 5.17 apresentam os valores de medição de umidade por andar e por orientação da fachada. O 17º andar apresenta maior valor médio, estando o 2º andar com segundo maior valor médio e o 9º andar com menor valor médio.

Tabela 5.6 - Média das medições de umidade superficial por pavimento

Orientação da fachada	Pavimentos		
	2º andar	9º andar	17º andar
N	12,1	10,7	10,7
L	4,6	3,7	4,3
S	4,2	3,4	3,6
O	4,1	4,3	8,1
Média	6,2	5,5	6,7

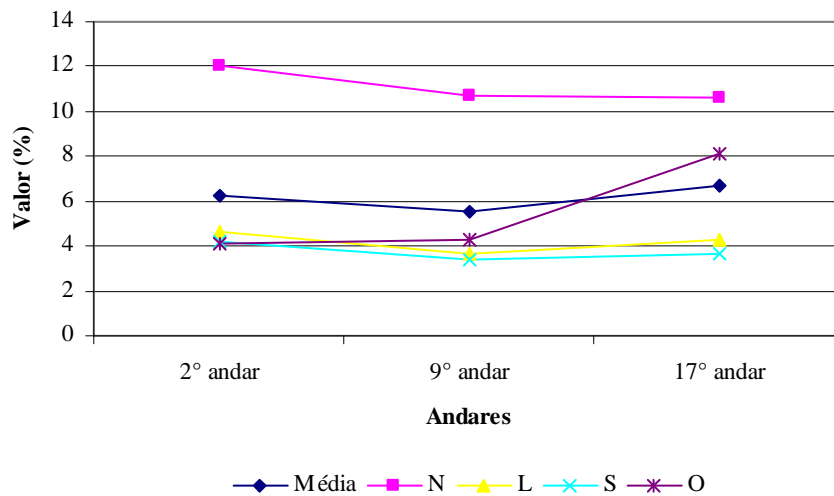


Figura 5.17 - Média das medições de umidade superficial por pavimento

5.7 INFILTRAÇÕES EM FACHADAS

Por meio de levantamento de dados sobre infiltrações em fachadas em decorrência da chuva, utilizando-se de informações das assistências técnicas das construtoras da cidade de Goiânia, foi criado o gráfico com os percentuais de infiltrações em relação às direções N, S, E e O, ilustrado na Figura 5.18.

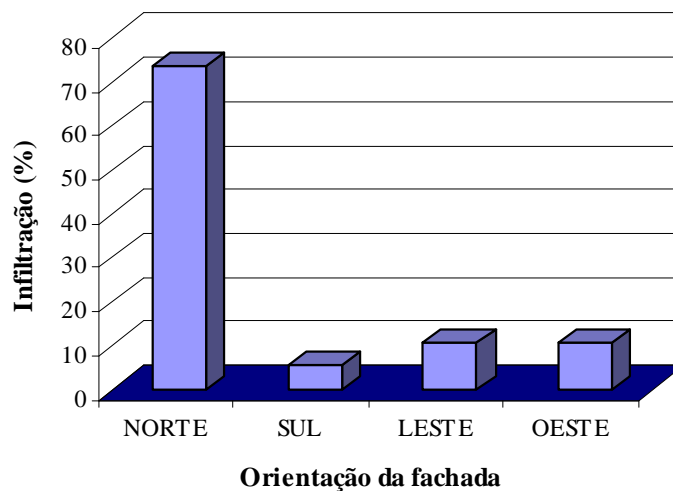


Figura 5.18 - Percentuais de orientações com infiltração em fachadas de edificações na cidade de Goiânia

A predominância de casos de infiltração ocorreu para as fachadas voltadas à direção N, com valor pouco maior que 73% de problemas com infiltração. Para as direções E e O, os valores foram os mesmos, 11%. A fachada voltada à direção S apresentou os menores valores de casos de infiltração, com valor igual a 5%.

De certa maneira, estes valores criam relações estreitas com os resultados obtidos pelo ICDD-a e ICDD-m e, também, com as medições de umidade. Fica evidenciado que a pressão exercida pelo vento é fundamental para induzir a penetração de água pelos caminhos existentes na fachada para o interior do edifício.

Pelos levantamentos, observou-se que as infiltrações ocorreram em dois principais tipos de fissuração: as fissuras ocorridas nas alvenarias e interfaces alvenarias e estruturas e as fissuras nos vértices de janelas. A maior quantidade de casos ocorreu nas fissuras presentes em vedações contínuas e interface alvenaria e estrutura, com 50%. Para as infiltrações ocorridas nos vértices de janelas, o valor foi igual a 42%. Demais ocorrências totalizaram 8%.

5.8 IDENTIFICAÇÃO DE MICROORGANISMOS

Para as análises realizadas com as suspensões ultrassonadas e fitas adesivas inoculadas em meio de cultura específico para fototróficos, os resultados obtidos foram os seguintes:

- a) na amostra 1, coletada na superfície vertical logo abaixo do peitoril em fachada com revestimento cerâmico voltada à orientação N, ocorreu pouca presença de fungos filamentosos, sendo um deles *Cladosporium sp* que é encontrado comumente em materiais de construção. Presença de actinomicetos⁷, com cerca de 89 unidades formadoras de colônia por ml de suspensão inoculada;
- b) a amostra 2, em fachada voltada à direção N, não apresentou crescimento de fungos. A quantidade de fototróficos⁸ foi significativa, apresentando $3,2 \times 10^5$ unidades formadoras de colônia por ml de suspensão inoculada;
- c) para a amostra 3, na fachada com direção S, houve maior presença de fungos filamentosos, com $4,7 \times 10^3$ unidades formadoras de colônia por ml de suspensão inoculada. Apresentou pequena presença de fototróficos e actinomicetos;

⁷ Grupo bastante heterogêneo por apresentarem características de fungos e bactérias. Assemelham-se, morfológicamente, aos fungos por possuírem micélios e produzirem esporos assexuais e citologicamente assemelham-se às bactérias por possuírem núcleo primitivo (procariótico). Disponível www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/.../eqb353_aula_05.pdf.

⁸ Organismos que se utilizam da luz solar como fonte de energia.

- d) a amostra 4 apresentou uma pequena presença de fungos filamentosos e uma grande quantidade de fototróficos ($1,14 \times 10^4$ unidades formadoras de colônia por ml de suspensão inoculada); e
- e) na região próxima ao peitoril da fachada com revestimento em pintura texturizada acrílica e orientação O, na amostra 5, ocorreu pequena presença de fungos filamentosos e grande quantidade de fototróficos com $7,1 \times 10^5$ unidades formadoras de colônia por ml de suspensão inoculada.

Nota-se que as manchas de sujidade (exemplo dos “bigodes”), atribuídas por alguns autores à deposição de poluição nos elementos de fachadas, podem conter a presença de microorganismos, como: fungos, bactérias ou cianobactérias, como visto na amostra 5, coletada da superfície vertical logo abaixo do peitoril da janela.

5.9 ESTUDO DE CASOS DE MANCHAMENTO EM FACHADAS

Antes mesmo da apresentação do Estudo de Casos, será apresentada a classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada para a cidade de Goiânia com base nas normas BSI 5262 e DIN 18550, bem como um item abordando o assunto que irá esclarecer alguns aspectos referentes aos *fantômes*, manchas formadas em alvenarias de vedação.

5.9.1 Classificação quanto às normas BSI 5262 (1976) e DIN 18550 Part 1 (1985) e condições de exposição dos revestimentos externos de fachada para a cidade de Goiânia

A norma inglesa BSI 5262 (1976) e a norma alemã DIN 18550 Part 1 (1985) apresentam a classificação das edificações quanto às condições de exposição de revestimentos de fachadas (Tabela 1.1 e a Tabela 1.2, ilustradas no Capítulo 1). Sendo assim, serão classificadas, de forma geral, as condições de exposição quanto à região de Goiânia e aos edifícios do Estudo de Casos.

Quanto à cidade e à precipitação, as condições são consideradas severas devido ao índice anual pluviométrico local que, pela média dos anos de 2002 a 2008, apresentou valor igual a 1115,2 mm, conforme apresentado anteriormente na Tabela 5.2.

Pela escala de Beaufort (http://www.lamma.ufrj.br/spo/aprenda_mais/escala_beaufort.htm; maço de 2010), apresentada na Tabela 5.7, a média de velocidade de vento seria classificada como fraco ou pouco, de acordo com as normas BSI 5262 (1976) e DIN 18550 (1985), respectivamente, o que classifica as condições de exposição como condição amena para os revestimentos externos das fachadas.

Tabela 5.7 - Escala de Beaufort para velocidade aproximada de vento

Força	Expressão descritiva	Influência em terra	Velocidade aproximada (m/s)	Tipo de vento
0	Calmo	A fumaça sobe verticalmente.	0	
1	Ar em movimento	A direção do vento é indicada pela fumaça.	1	
2	Aragem	Sente-se o vento no rosto, movem-se as folhas das árvores e a grimpã começa a funcionar.	2	Fraco
3	Brisa suave	As folhas das árvores se agitam e as bandeiras se desfraldam.	4	
4	Brisa moderada	Poeira e pequenos papéis soltos são levantados. Movem-se os galhos das árvores.	7	
5	Brisa fresca	Movem-se as pequenas árvores. Nos a água começa a ondular.	10	Moderado
6	Brisa forte	Assobios na fiação aérea. Movem-se os maiores galhos das árvores. Guarda-chuva usado com dificuldade.	13	
7	Ventania moderada	Movem-se as grandes árvores. É difícil andar contra o vento.	16	
8	Ventania fresca	Quebram-se os galhos das árvores. É difícil andar contra o vento.	19	
9	Ventania moderada	Danos nas partes salientes das árvores. Impossível andar contra o vento.	22	Forte
10	Ventania total	Arranca árvores e causa danos na estrutura dos prédios.	26	
11	Tempestade	Muito raramente observado em terra.	30	
12	Furacão	Grandes estragos.	34 a maior	

Para a edificação e em relação à altura, os edifícios do Estudo de Casos apresentam-se sob condições severas para as duas normas, uma vez que a norma estabelece que qualquer edifício sem proteção está incluso nesta classificação.

5.9.2 Edifício 1

Construído sem projeto de revestimento, este edifício possui 18 pavimentos tipo, mais um pavimento de cobertura, localizada no Setor Bueno, com idade aproximada de 10 anos, como ilustrado na Figura 5.19. Na edificação não foi realizada manutenção ou reforma das fachadas que apresentam acabamento decorativo em pintura texturizada acrílica.

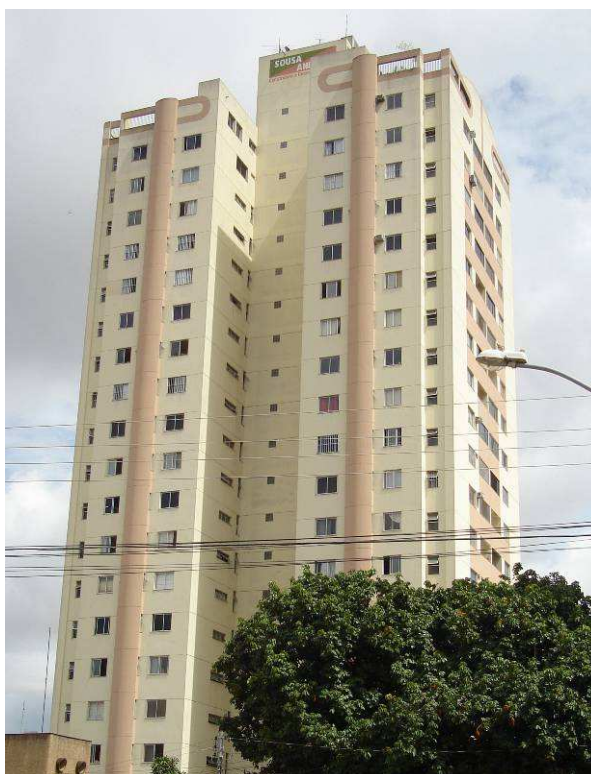


Figura 5.19 - Edifício 1

As platibandas das fachadas E e O têm formato em arco e não possuem cimalthas. As janelas apresentam peitoris e nenhuma das fachadas possui pingadeira, havendo somente juntas de trabalho no revestimento de argamassa, como ilustra a Figura 5.20. As fachadas caracterizam-se por duas cores predominantes.

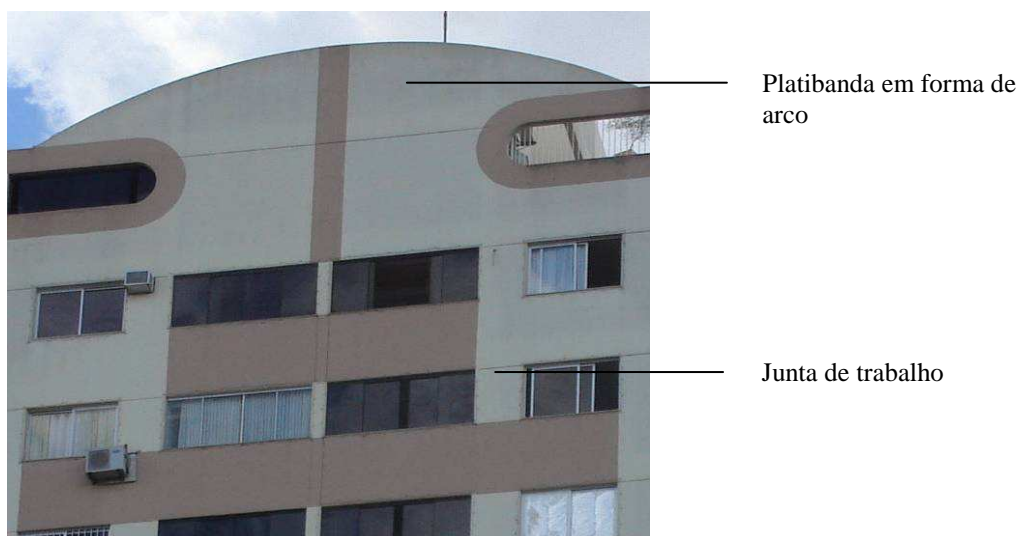


Figura 5.20 - Edifício 1: detalhes da fachada

As fachadas voltadas às direções N e S têm características e formatos semelhantes, tais como as fachadas E e O apresentam semelhanças entre si. As fachadas N e E estão mais próximas das ruas de acesso ao edifício, como ilustrado na Figura 5.21.



Figura 5.21 - Situação do Edifício 1

A seguir, nas Figuras 5.22, 5.23, 5.24 e 5.25, serão apresentadas as fachadas do Edifício 1, identificando as principais manifestações patológicas por formação de manchas.

Edifício 1

Informações

Localização: Setor Bueno

Idade: 10 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não houve

Pavimentos: 19 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica

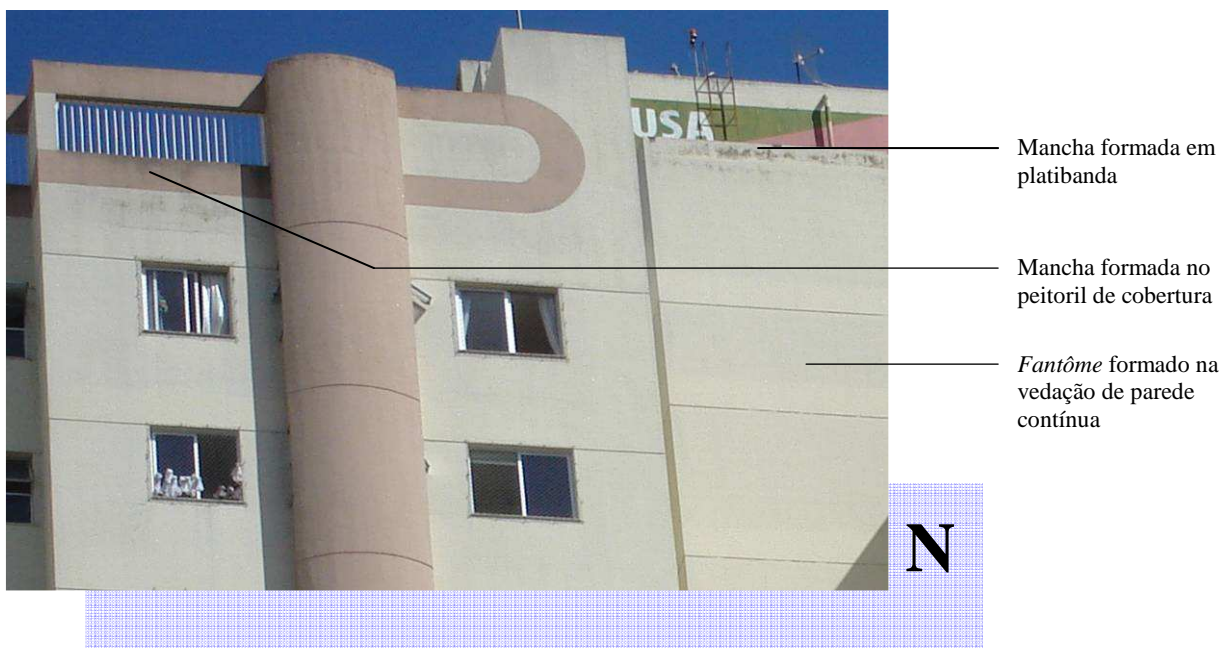


Figura 5.22 - Fachada Norte do edifício 1



Figura 5.23 - Fachada Sul do edifício 1

Edifício 1

Informações

Localização: Setor Bueno

Idade: 10 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não houve

Pavimentos: 19 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica



Figura 5.24 - Fachada Leste do edifício 1

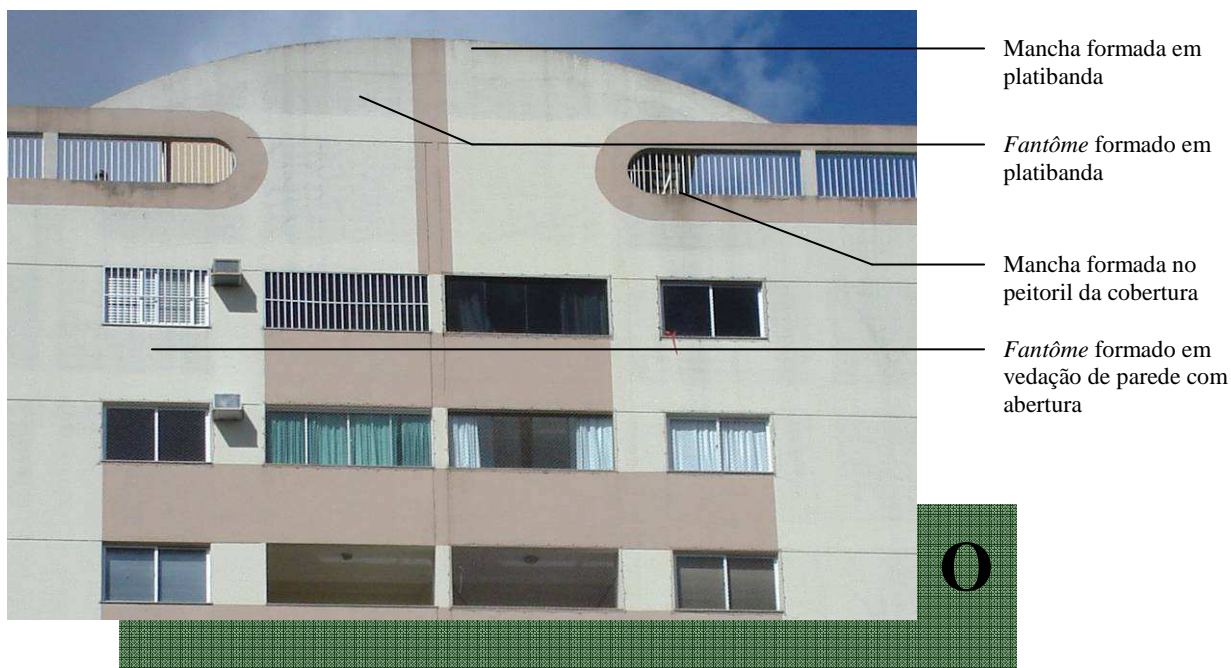


Figura 5.25 - Fachada Oeste do edifício 1

A Figura 5.26 apresenta mapas com os percentuais de manchamento e as respectivas localizações da formação de manchas do estudo de caso do Edifício 1.

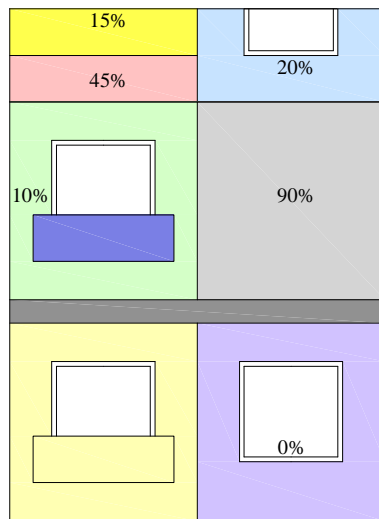
Legenda

Manchas formadas em:

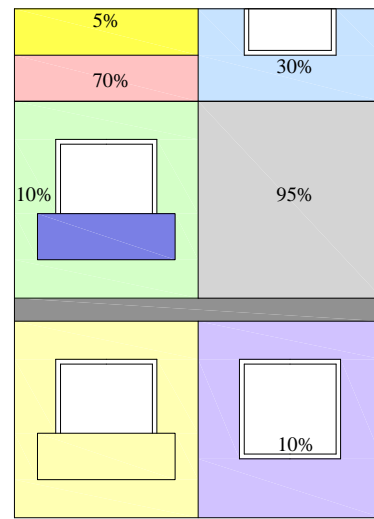
- Platibandas
- Peitoris de coberturas
- Peitoris de sacadas
- Peitoris de janelas
- Pingadeiras

Fantômes formados em:

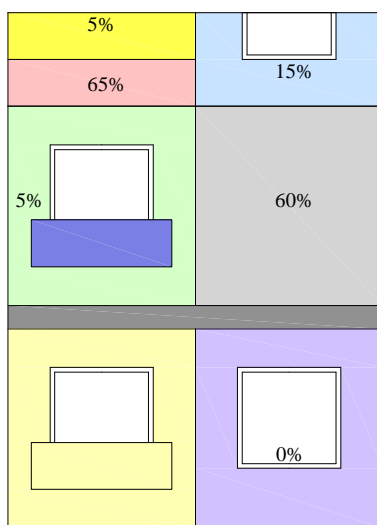
- Vedação de platibandas
- Vedação de sacadas
- Vedação de paredes contínuas
- Vedação de paredes com aberturas



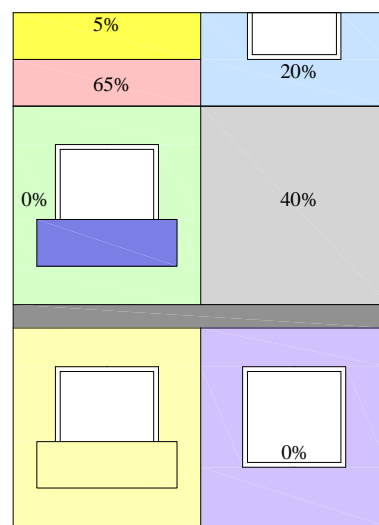
Fachada NORTE



Fachada SUL



Fachada LESTE



Fachada OESTE

Figura 5.26 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 1

A ilustração da Figura 5.27 representa os percentuais de manchamento das 4 fachadas.

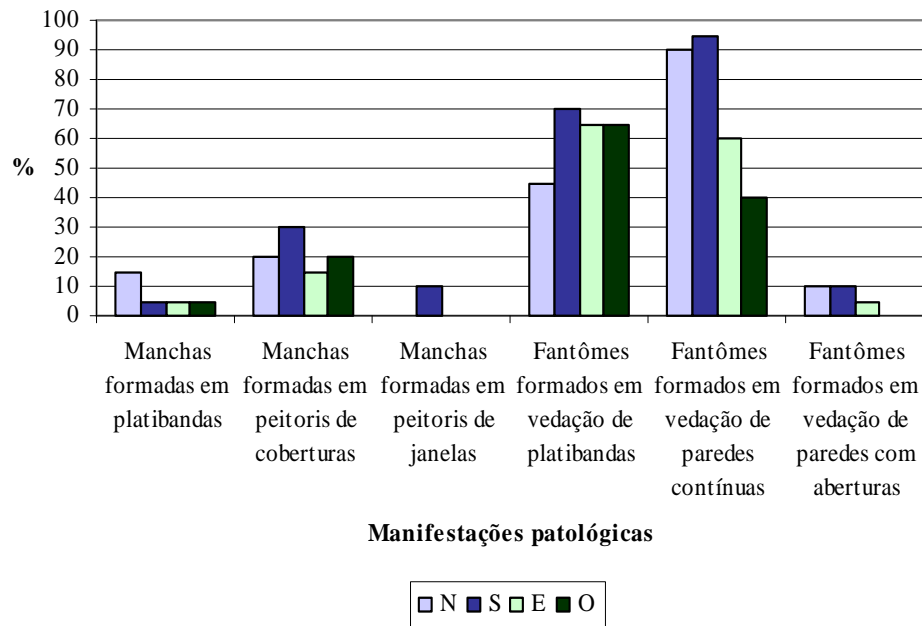


Figura 5.27 - Percentual de manchamento do Edifício 1, fachadas N, S, E e O

Para as manchas formadas em platibandas, houve valores maiores para a fachada N e valores iguais para as demais fachadas. Quanto à formação de manchas em peitoris de coberturas, a fachada voltada para S apresentou maior valor, sendo valores iguais para as fachadas N e O e valor menor para a fachada E. Para as manchas formadas em peitoris, só foi observada a manifestação na fachada voltada para S. As manchas de *fantômes* formadas na vedação de platibandas apresentaram maiores valores percentuais para a fachada S, assim como ocorreu para os formados na vedação de paredes contínuas. Para as vedações de paredes com aberturas, os valores foram iguais para as fachadas N e S, sendo menor para a fachada E.

As manchas ocorridas nas superfícies próximas a platibandas e peitoris são em decorrência do escoamento de água e podem ser descritas como lavado sujo por proporcionar a redeposição de sujeiras e, inclusive, o crescimento de microorganismos.

Destaca-se nesta edificação, o valor alto de percentual de *fantômes* formados nas vedações de paredes contínuas. Conforme Figura 5.28, justifica-se a alta incidência devido à tipologia do projeto que proporciona proteção à insolação e à ventilação, principalmente para a fachada N, que como apresentado no item 5.9.2 seria uma fachada menos condicionada a este tipo de manifestação patológica.



Região sombreada da fachada N e o alto índice de formação de *fantômes*.

Figura 5.28 - Edifício 1. Vista da fachada voltada à orientação N

5.9.3 Edifício 2

O edifício 2, referente ao segundo estudo de caso, possui 14 pavimentos tipo, sem andar de cobertura e localiza-se no Setor Nova Suíça. Sem projeto de revestimento, possui idade aproximada de 6 anos e nunca passou por manutenção nas fachadas. O acabamento utilizado na fachada é a pintura texturizada acrílica.



Figura 5.29 - Edifício 2

Para as fachadas E e O, duas cores são predominantes e para as fachadas N e S o acabamento foi feito numa única cor. Todas as fachadas do edifício possuem pingadeiras entre cada pavimento sem junta de movimentação. As platibandas não apresentam cimalha na parte

superior, aumentando a predisposição de formação de manchas nestas regiões. As janelas possuem peitoris. O edifício não possui varandas nos apartamentos e nem andar de cobertura.

O edifício possui configurações iguais entre as fachadas N e S e entre as fachadas E e O. A fachada E é a mais próxima da via pública, como ilustrado na Figura 5.30.



Figura 5.30 - Situação do edifício 2

Para visualização das formações de manchas nas fachadas, a seguir serão apresentadas pelas Figuras 5.31, 5.32, 5.33 e 5.34, as fachadas N, S, E e O do edifício 2.

Edifício 2

Informações

Local: Setor Nova Suíça

Idade: 6 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não houve

Pavimentos: 14 pavimentos

Revestimento: Pintura texturizada acrílica

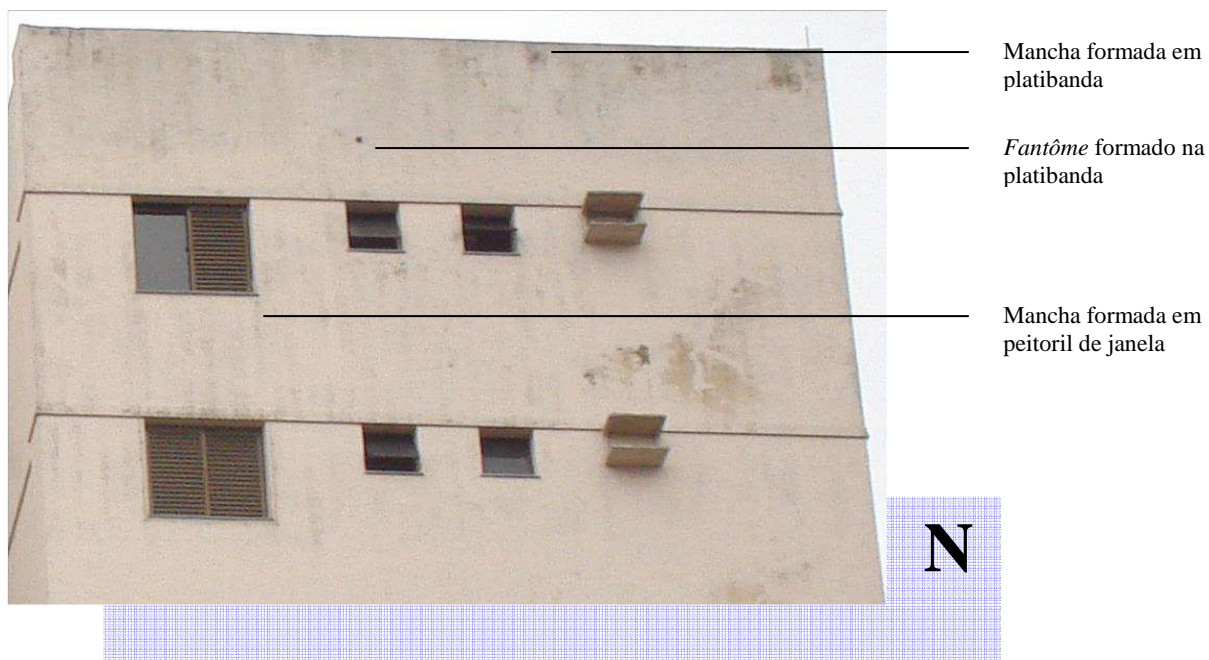


Figura 5.31 - Fachada Norte do edifício 2



Figura 5.32 - Fachada Sul do edifício 2

Edifício 2

Informações

Local: Setor Nova Suíça

Idade: 6 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não houve

Pavimentos: 14 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica



Mancha formada em platibanda

E

Figura 5.33 - Fachada Leste do edifício 2



Mancha formada em platibanda

O

Figura 5.34 - Fachada Oeste do edifício 2

Os mapas com os percentuais de manchamento e as respectivas localizações da formação de manchas do estudo de caso do Edifício 2 estão ilustrados a seguir pela Figura 5.35.

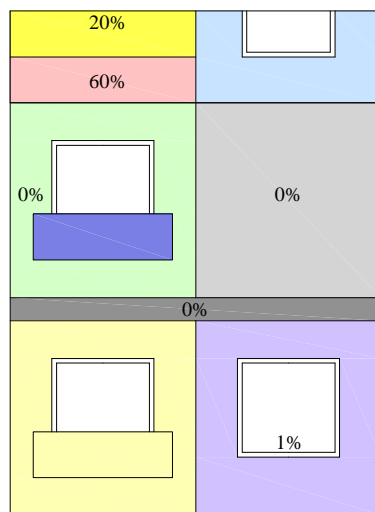
Legenda

Manchas formadas em:

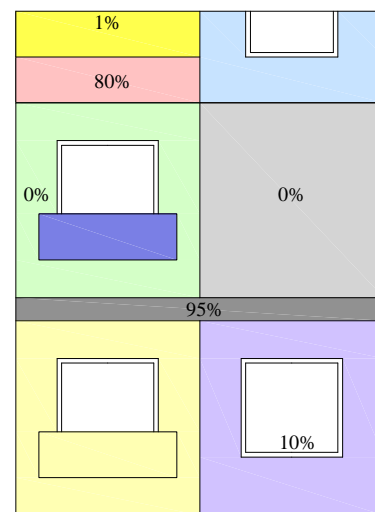
- Platibandas
- Peitoris de coberturas
- Peitoris de sacadas
- Peitoris de janelas
- Pingadeiras

Fantômes formados em:

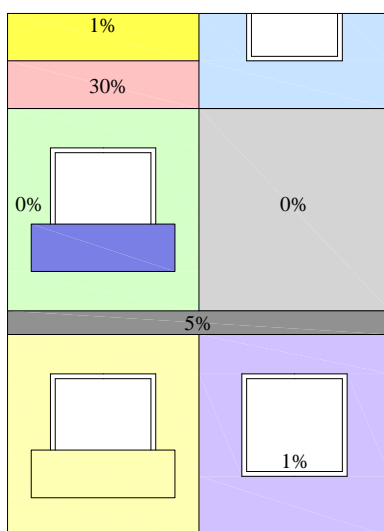
- Vedação de platibandas
- Vedação de sacadas
- Vedação de paredes contínuas
- Vedação de paredes com aberturas



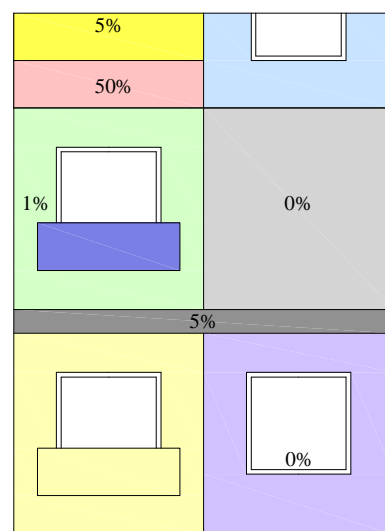
Fachada NORTE



Fachada SUL



Fachada LESTE



Fachada OESTE

Figura 5.35 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 2

Os percentuais de manchamento das 4 fachadas são representados a seguir pela Figura 5.36.

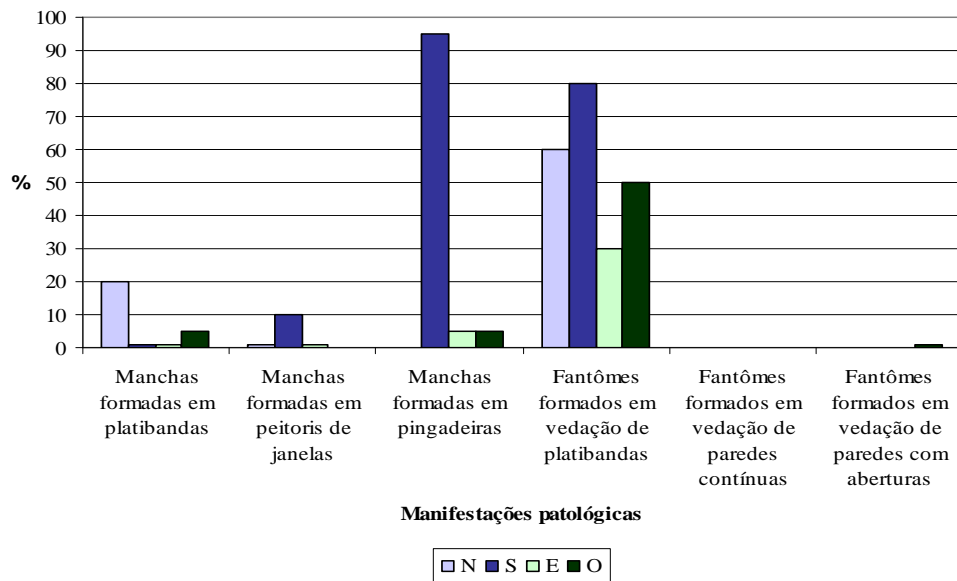


Figura 5.36 - Percentual de manchamento do Edifício 2, fachadas N, S, E e O

A fachada voltada para a direção N apresentou maior valor percentual para as manchas formadas em platibandas. Para as manchas formadas nas superfícies próximas aos peitoris, o maior valor foi para a fachada voltada a S. Para a direção S, as manchas sobre pingadeiras tiveram valor próximo de 100%, ocorrendo pouco manchamento para as fachadas E e O e 0% de manchas para a fachada N. Interessante destacar que as manchas formadas nas pingadeiras das fachadas E e O ocorreram nos elementos voltados à S, como se pode observar na Figura 5.37.



Figura 5.37 - Região da fachada onde ocorreu formação de manchas nas pingadeiras. Fachada E (a) e fachada O (b)

Para os *fantômes* formados nas platibandas, todas as fachadas apresentaram manchas, porém destacando-se a fachada S, que além de maior área de manchamento ainda apresentou manchas mais escuras. Para os *fantômes* formados em paredes contínuas, não foi observado nenhuma área com manchas e para as paredes com aberturas, houve um pequeno manchamento para a fachada O, porém pouco perceptível.

5.9.4 Edifício 3

O Estudo de Caso 3 apresenta uma edificação de 15 pavimentos tipo e sem andar de cobertura, localizada no Setor Bueno, com idade aproximada de 10 anos. O edifício nunca passou por manutenção ou reforma das fachadas, tem acabamento decorativo em pintura texturizada acrílica e revestimento cerâmico em partes da platibanda e sob peitoris de janelas em forma de ornamentação nas fachadas E e O. Para sua construção, não foi utilizado projeto de revestimento para fachadas.



Figura 5.38 - Edifício 3

As platibandas também não possuem cimalthas, favorecendo a formação de manchas nas áreas próximas e as janelas possuem peitoris. Pode-se observar a grande presença de panos cegos nas fachadas N e S. As fachadas E e O apresentam três cores, sendo duas cores para o revestimento em pintura e uma cor para o revestimento cerâmico, como ilustrado na Figura 5.39. O edifício possui pingadeiras para as fachadas N e S e não possui junta de movimentação no revestimento.

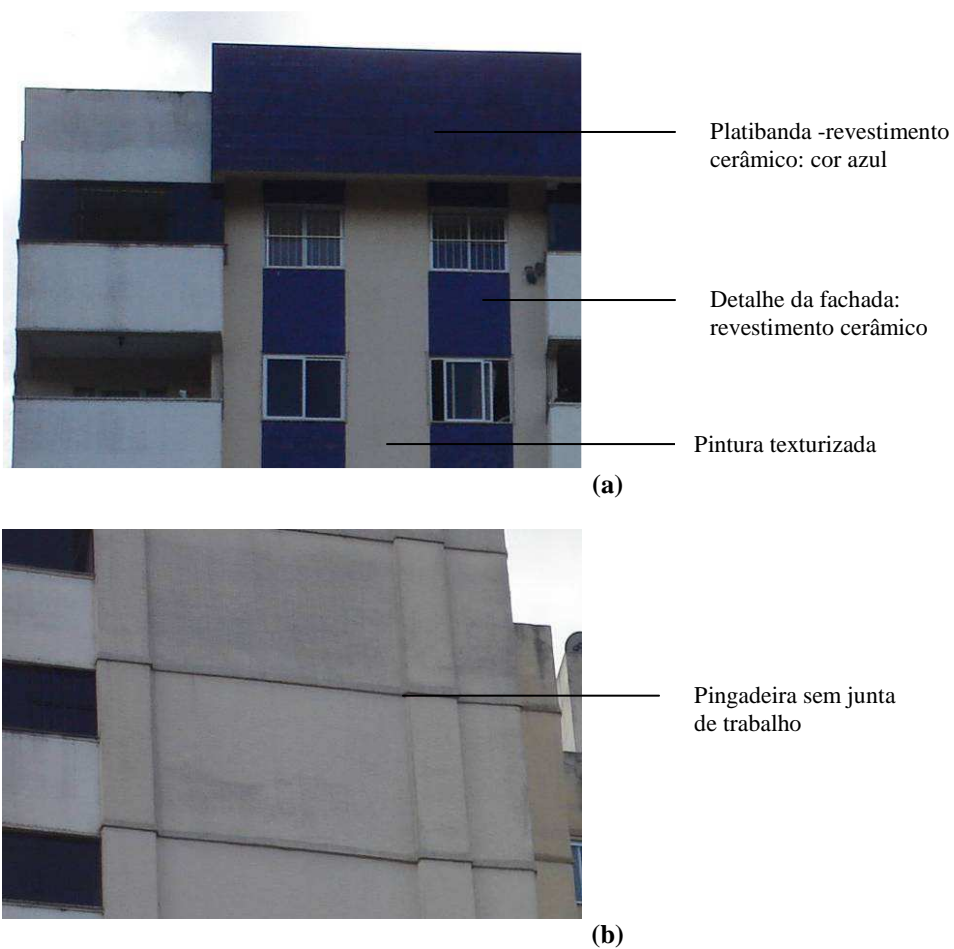


Figura 5.39 - Edifício 3. Detalhes das fachadas. Leste e Oeste (a); Norte e Sul (b)

As fachadas N e E do edifício estão voltadas diretamente para ruas, conforme ilustrado na Figura 5.40. O edifício tem características semelhantes entre as fachadas N e S e as fachadas E e O.

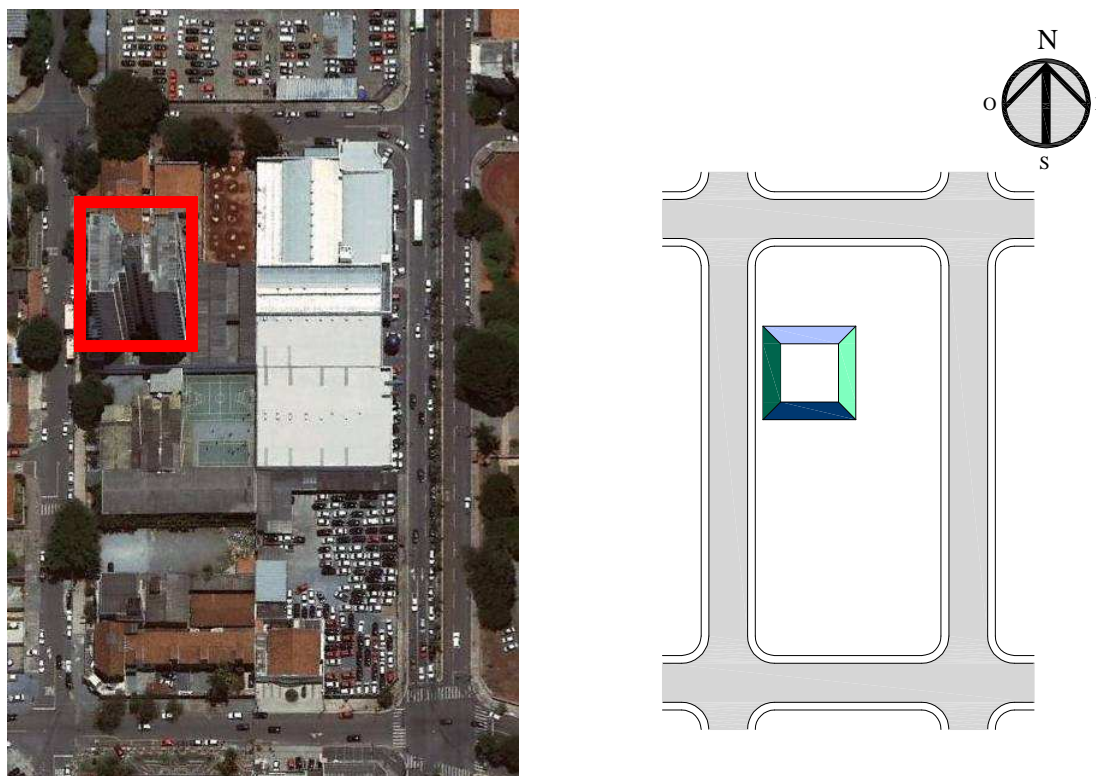


Figura 5.40 - Situação do Edifício 3

A seguir, nas Figuras 5.41, 5.42, 5.43 e 5.44, serão apresentadas as fachadas do Edifício 3, identificando as formações de manchas.

Edifício 3

Informações

Localização: Setor Bueno

Idade: 10 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não houve

Pavimentos: 15 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica e cerâmico

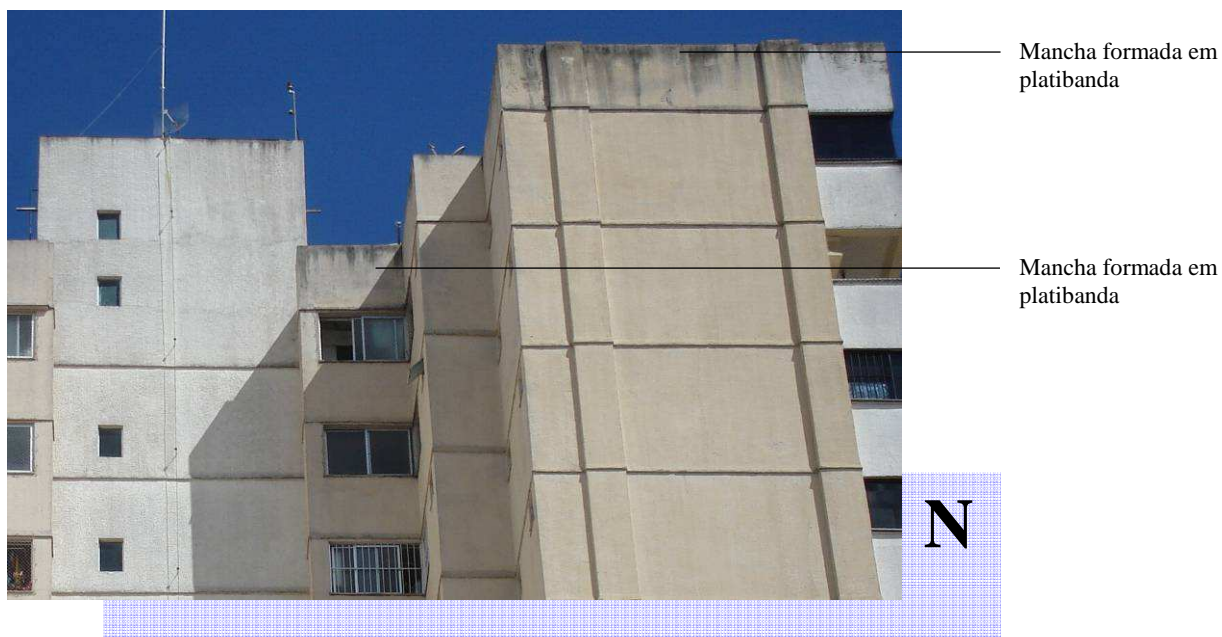


Figura 5.41 - Fachada Norte do edifício 3

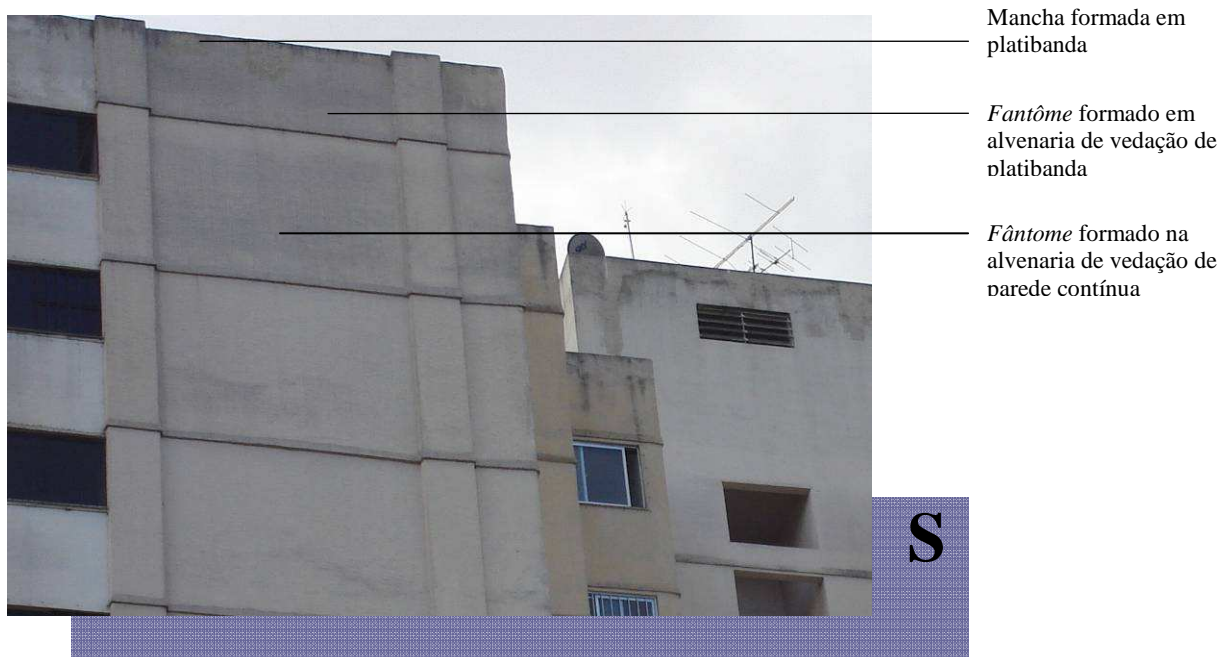


Figura 5.42 - Fachada Sul do edifício 3

Edifício 3

Informações

Localização: Setor Bueno

Idade: 10 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não houve

Pavimentos: 15 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica e cerâmico



Figura 5.43 - Fachada Leste do edifício 3

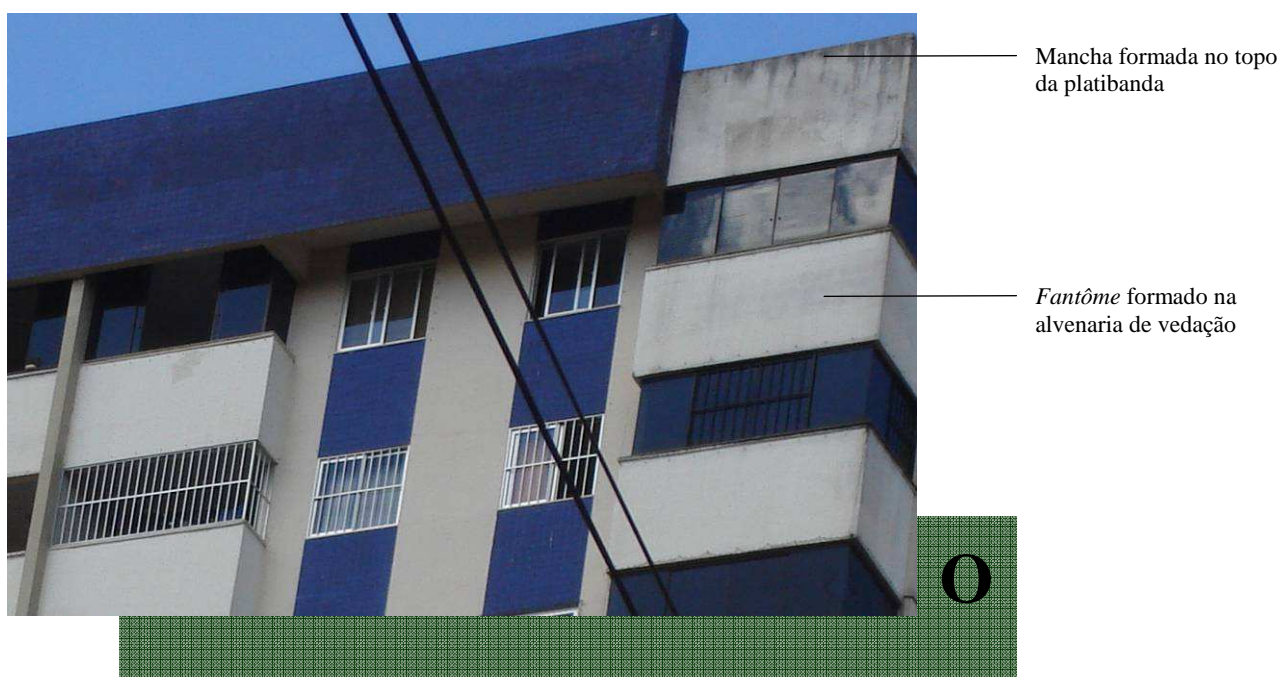


Figura 5.44 - Fachada Oeste do edifício 3

A figura 5.45 apresenta mapas com os percentuais de manchamento e as respectivas localizações da formação de manchas do estudo de caso do Edifício 3.

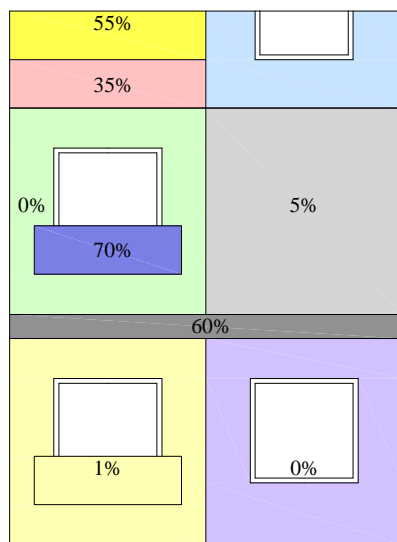
Legenda

Manchas formadas em:

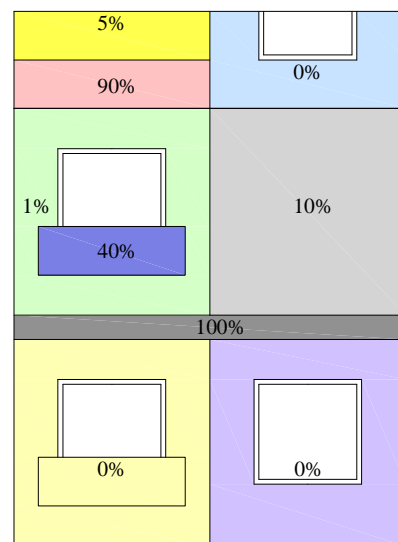
- Platibandas
- Peitoris de coberturas
- Peitoris de sacadas
- Peitoris de janelas
- Pingadeiras

Fantômes formados em:

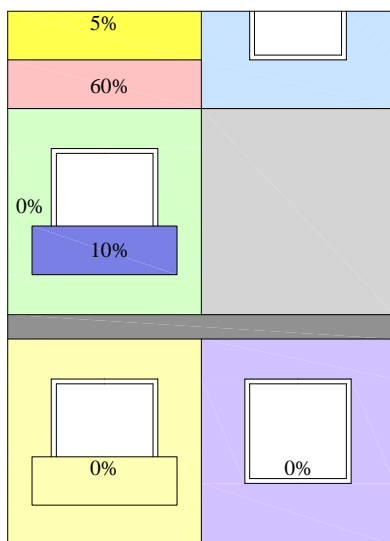
- Vedação de platibandas
- Vedação de sacadas
- Vedação de paredes contínuas
- Vedação de paredes com aberturas



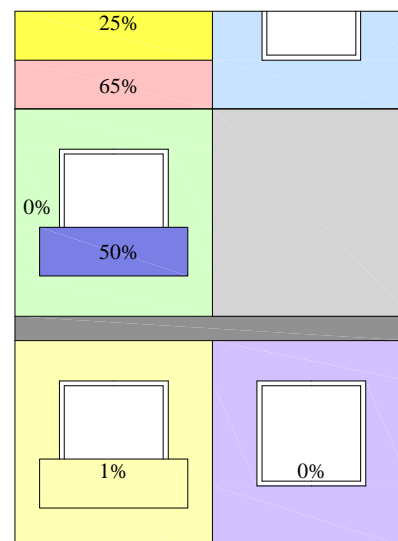
Fachada NORTE



Fachada SUL



Fachada LESTE



Fachada OESTE

Figura 5.45 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 3

A seguir, na Figura 5.46, são apresentados os percentuais de manchamento das 4 fachadas.

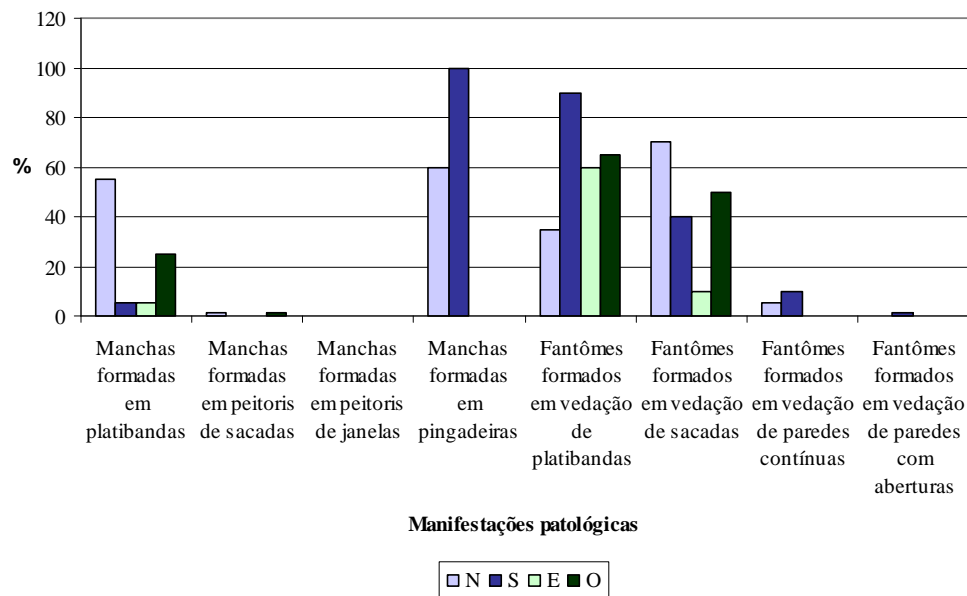


Figura 5.46 - Percentual de manchamento do Edifício 3, fachadas N, S, E e O

Para os valores de manchas formadas em platibandas, o maior foi para a fachada com direção N e a direção O apresentou o segundo maior valor e valores iguais para as fachadas S e E. As manchas formadas em peitoris de sacadas das fachadas N e O apresentaram valores baixos e nenhum registro para as manchas formadas pelos peitoris para as fachadas N, S, E e O. Para as manchas formadas em pingadeiras, registrou-se maior valor para a fachada S em relação à fachada N (as fachadas E e O não possuem pingadeiras). Para as manchas de *fantômes* formados em vedação de platibanda, ocorreu maior valor para a fachada S, com segundo maior valor para a fachada O, terceiro maior valor para E e o menor valor para N. Porém, para os *fantômes* formados em vedação de sacadas, o maior valor foi para a fachada voltada a N, seguida da fachada O, a fachada S com o terceiro maior valor e a fachada E com o menor valor. A formação de *fantômes* nas vedações de paredes contínuas apresentou maior valor para a fachada S, seguido da fachada N e as fachadas E e O não possuíam paredes contínuas. Para a formação de *fantômes* em paredes com aberturas, houve um pequeno valor para a fachada com orientação para S.

5.9.5 Edifício 4

O edifício possui 15 pavimentos tipo e localizada-se no Setor Universitário. Sem utilização de projeto de revestimento, tem idade de 5 anos, nunca passou por manutenção ou reforma das fachadas e apresenta acabamento decorativo em pintura texturizada acrílica.



Figura 5.47 - Edifício 4

Todas as fachadas apresentam pingadeiras entre os pavimentos e não possuem juntas de trabalho. As platibandas possuem um elemento de projeção, tipo de cimalha. Todas as janelas possuem peitoris e o edifício não possui sacadas nos apartamentos e nem andar de cobertura. O edifício possui características semelhantes entre as fachadas N e S e entre as fachadas E e O e a fachada S está voltada diretamente para a rua, como ilustrado na Figura 5.48.

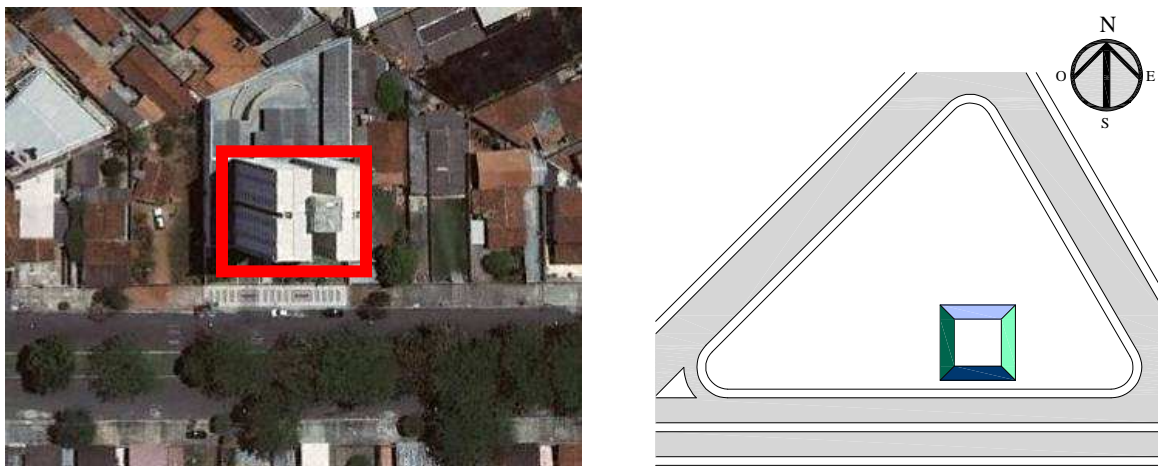


Figura 5.48 - Situação do Edifício 4.

Para visualização das manchas nas fachadas, a seguir serão apresentadas pelas Figuras 5.49, 5.50, 5.51 e 5.52, as fachadas N, S, E e O do edifício 4.

Edifício 4

Informações

Local: Setor universitário

Idade: 5 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não Houve

Pavimentos: 15 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica



Figura 5.49 - Fachada Norte do edifício 4



Figura 5.50 - Fachada Sul do edifício 4

Edifício 4

Informações

Local: Setor universitário

Idade: 5 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não Houve

Pavimentos: 15 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica

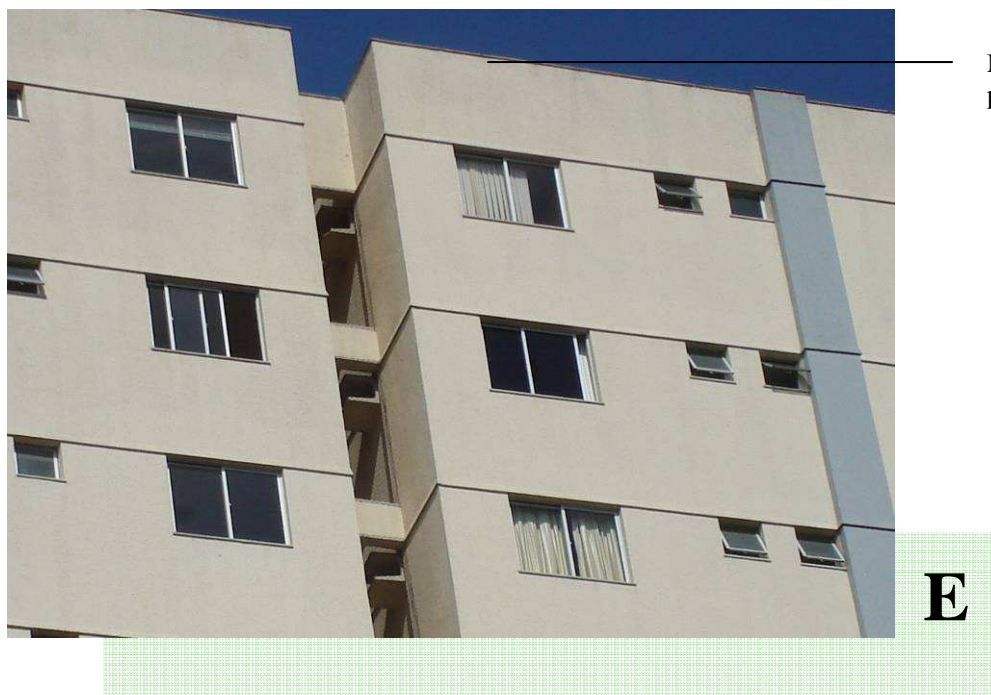


Figura 5.51 - Fachada Leste do edifício 4



Figura 5.52 - Fachada Oeste do edifício 4

Os mapas com os percentuais de manchamento e as respectivas localizações da formação de manchas do estudo de caso do Edifício 4 estão ilustrados na Figura 5.53.

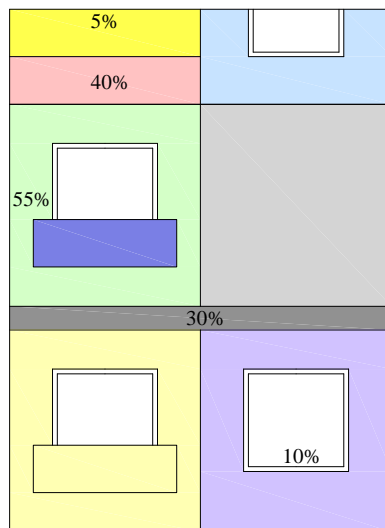
Legenda

Manchas formadas em:

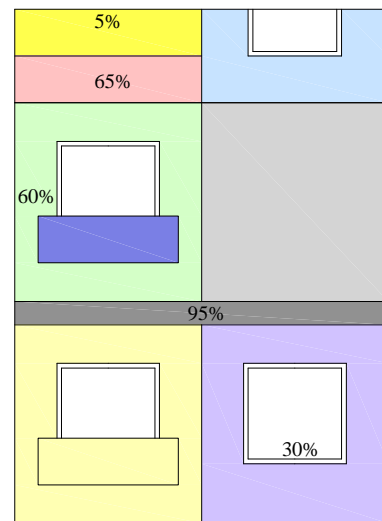
- Platibandas
- Peitoris de coberturas
- Peitoris de sacadas
- Peitoris de janelas
- Pingadeiras

Fantômes formados em:

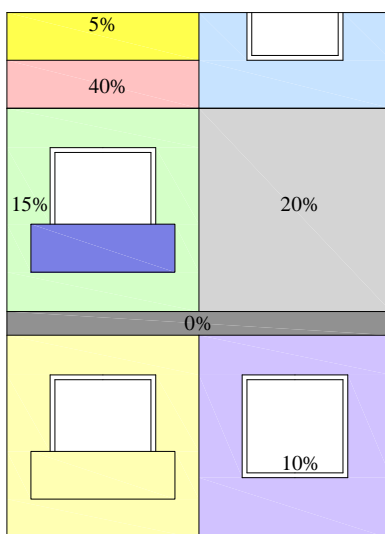
- Vedação de platibandas
- Vedação de sacadas
- Vedação de paredes contínuas
- Vedação de paredes com aberturas



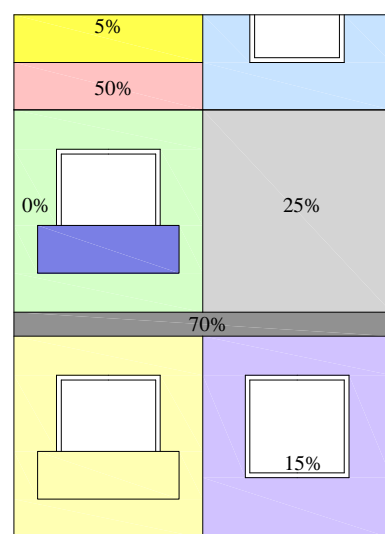
Fachada NORTE



Fachada SUL



Fachada LESTE



Fachada OESTE

Figura 5.53 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 4

A Figura 5.54 apresenta os percentuais de manchamento das 4 fachadas do Edifício 4.

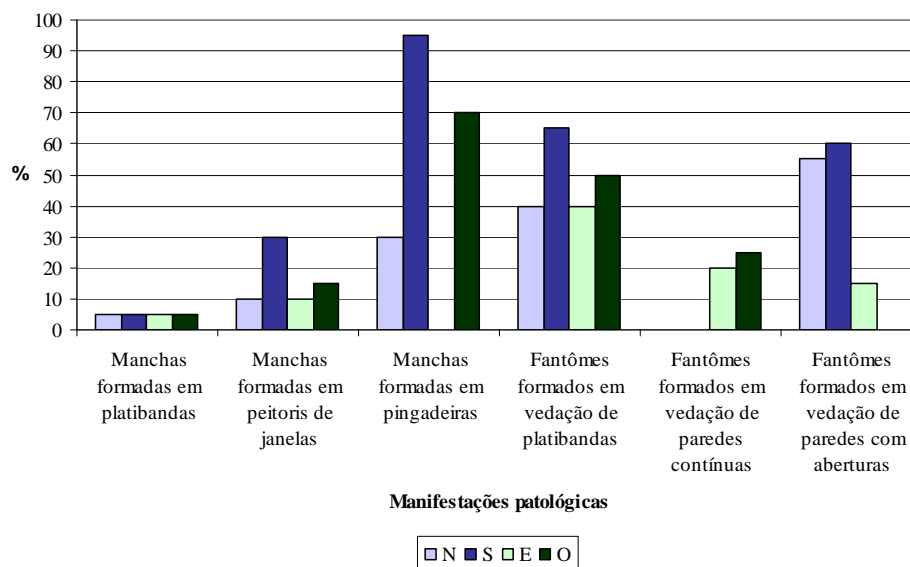


Figura 5.54 - Percentual de manchamento do Edifício 4, fachadas N, S, E e O

Para as manchas formadas em platibandas, todas as 4 fachadas apresentaram valores iguais. A fachada com orientação S apresentou maior percentual de manchas formadas em peitoris de janelas, seguida da fachada O e valores iguais para as fachadas N e E. As pingadeiras apresentaram maior manchas para a fachada voltada a S e em seguida ara O; a fachada N apresentou percentual de manchas inferior a estas duas e nenhuma mancha para a fachada E. Para *fantômes* formados em vedação de platibandas, o maior valor foi para a fachada S; a fachada O apresentou o segundo maior valor e as fachadas N e E valores iguais. Os *fantômes* formados em vedação de paredes contínuas apresentaram maior valor percentual para a fachada O e seguidamente da fachada E; as fachadas N e S não possuíam vedações de paredes contínuas. Para as vedações de paredes com aberturas, a fachada S apresentou maior valor percentual, a fachada N com o segundo maior valor, a fachada E com o menor valor e na fachada O nenhum percentual.

5.9.6 Edifício 5

O Edifício 5, localizado no Setor Bueno, possui 10 anos de construído, 16 pavimentos e não possui andar de cobertura (Figura 5.55). Não foram realizadas reformas ou manutenções das fachadas e também não foi utilizado para a construção projetos de revestimento.



Figura 5.55 - Edifício 5

Possui dois tipos de revestimento nas fachadas: cerâmico (na cor azul e amarela) e pintura texturizada acrílica (tonalidades de cinza escuro e claro). As janelas possuem peitoris e as platibandas de todas as fachadas possuem um elemento de acabamento tipo cimalha, como ilustrado na Figura 5.56.



Figura 5.56 - Detalhe da platibanda

O edifício possui sacadas nos apartamentos e características semelhantes entre as fachadas N e S e entre as fachadas E e O. A fachada S é a mais próxima à via pública, como ilustrado na Figura 5.57.

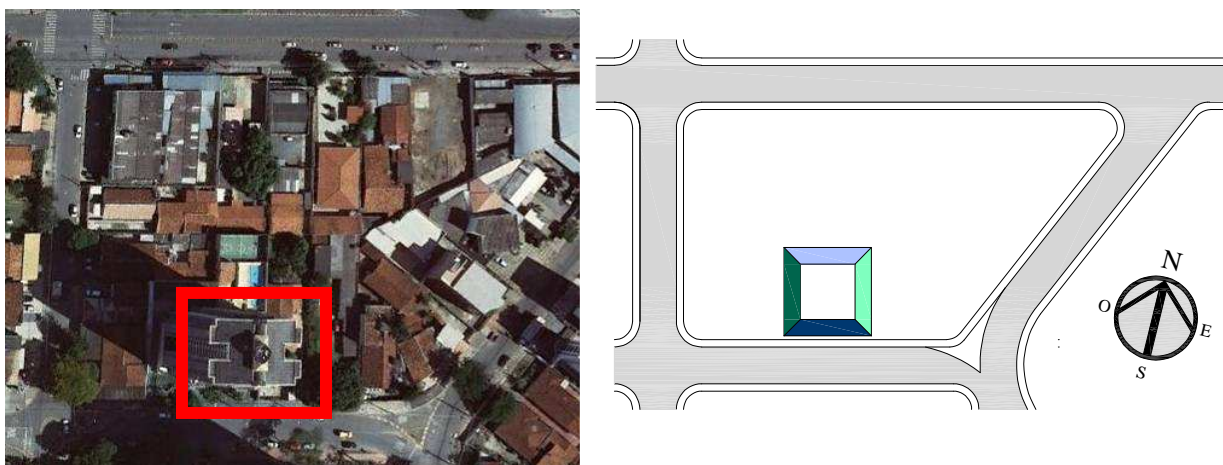


Figura 5.57 - Situação do Edifício 5

A seguir, nas Figuras 5.58, 5.59, 5.60 e 5.61, serão apresentadas as fachadas do Edifício 5, identificando as formações de manchas.

Edifício 5

Informações

Local: Setor Bueno

Idade: 10 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não Houve

Pavimentos: 16 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica e cerâmico

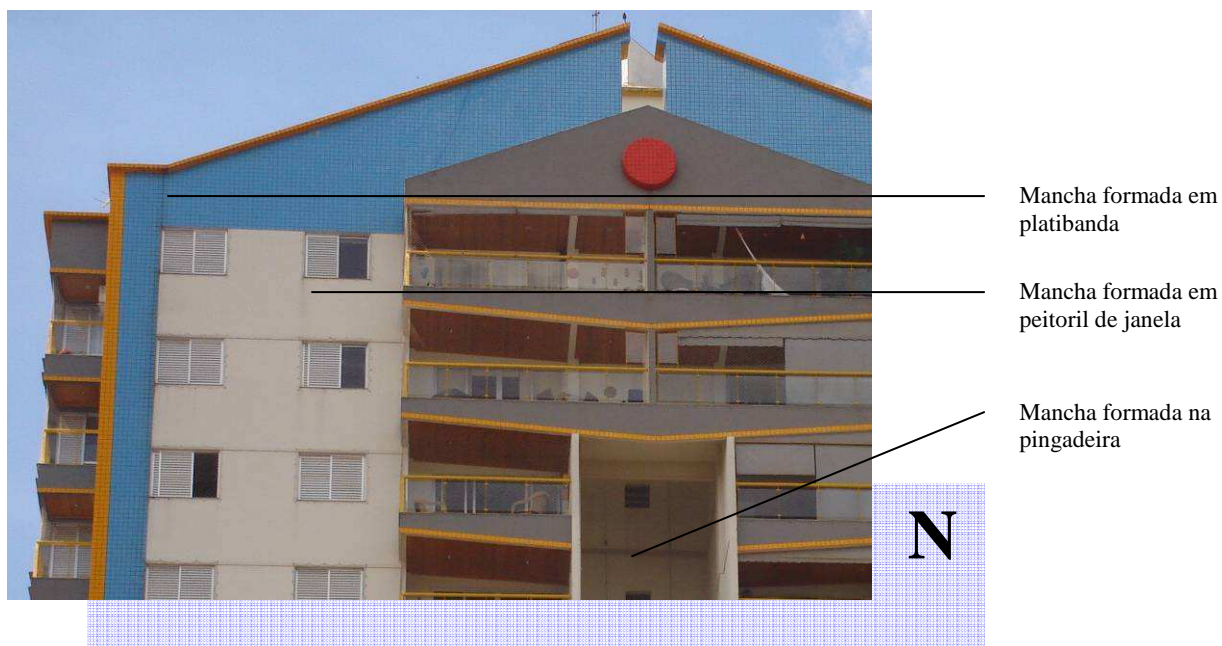


Figura 5.58 - Fachada Norte do edifício 5

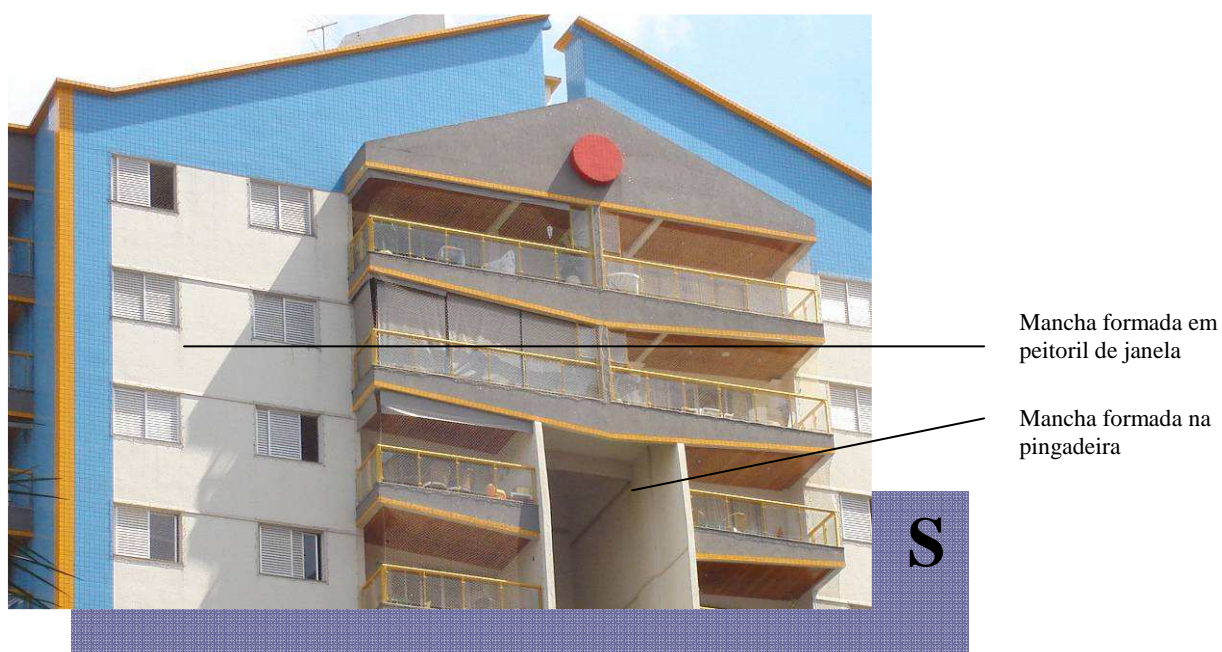


Figura 5.59 - Fachada Sul do edifício 5

Edifício 5

Informações

Local: Setor Bueno

Idade: 10 anos

Período de última manutenção ou reforma: Não Houve

Pavimentos: 16 andares

Revestimento: Pintura texturizada acrílica e cerâmico



Mancha formada em peitoril de janela.

Figura 5.60 - Fachada Leste do edifício 5



Mancha formada em peitoril de janela.

Mancha formada em peitoril de janela.

Figura 5.61 - Fachada Oeste do edifício 5

Os mapas com os percentuais de manchamento e as respectivas localizações da formação de manchas do estudo de caso do Edifício 4 estão ilustrados na Figura 5.62.

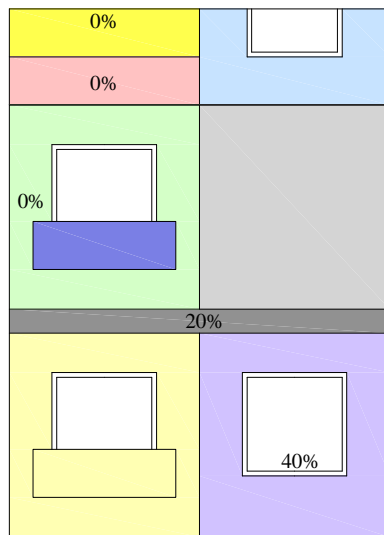
Legenda

Manchas formadas em:

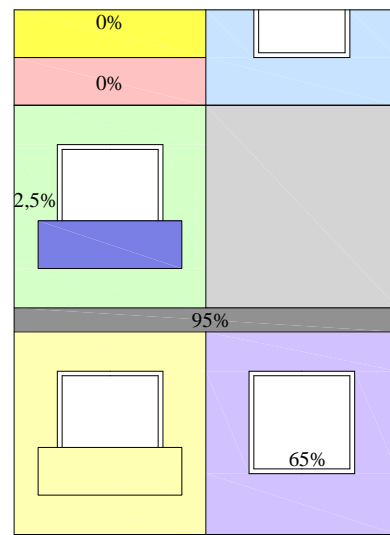
- Platibandas
- Peitoris de coberturas
- Peitoris de sacadas
- Peitoris de janelas
- Pingadeiras

Fantômes formados em:

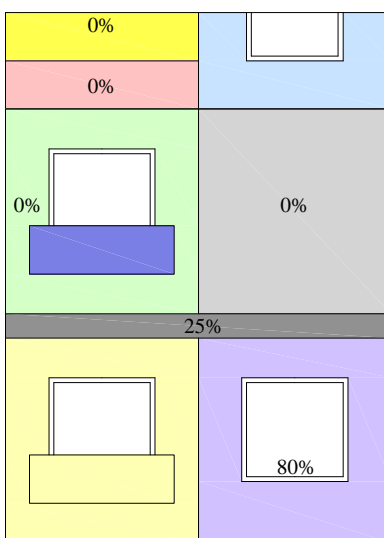
- Vedação de platibandas
- Vedação de sacadas
- Vedação de paredes contínuas
- Vedação de paredes com aberturas



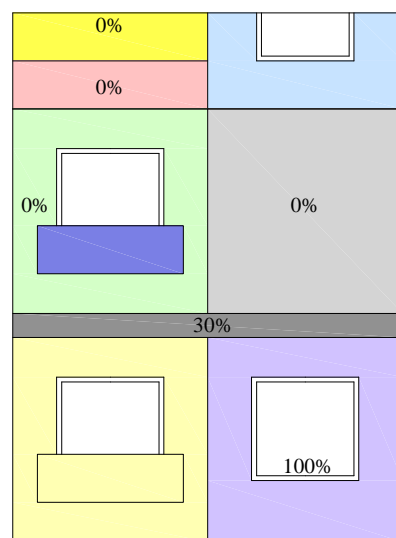
Fachada NORTE



Fachada SUL



Fachada LESTE



Fachada OESTE

Figura 5.62 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 5

A seguir, na Figura 5.63, são apresentados os percentuais de manchamento das 4 fachadas.

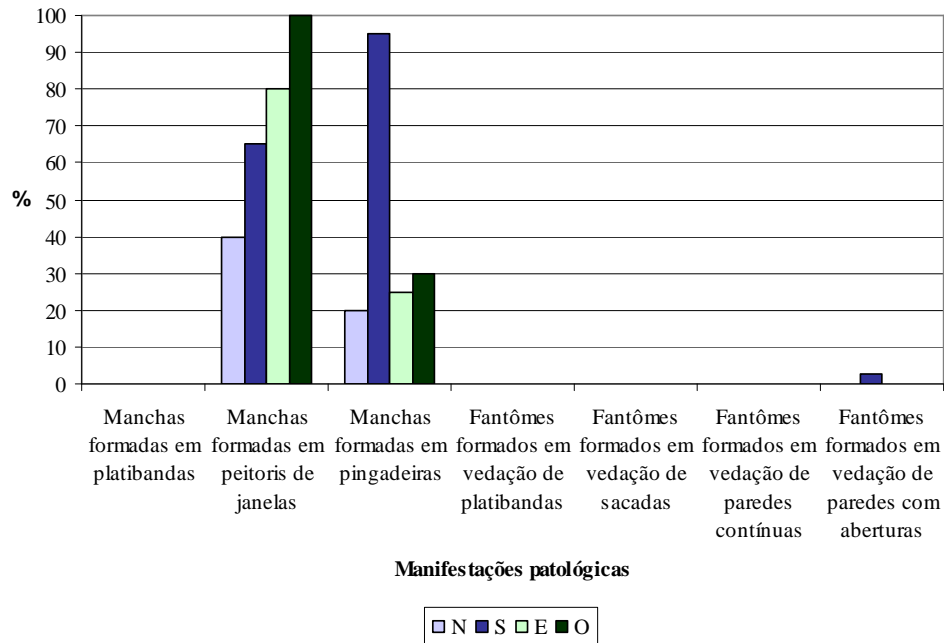


Figura 5.63 - Percentual de manchamento do Edifício 5, fachadas N, S, E e O

Devido ao elemento construído e ao tipo de revestimento empregado sobre as platibandas, a presença de manchas nestes elementos foi praticamente nula, apresentando apenas um ponto de mancha ocasionado por um escoamento direcionado de água, como se pode observar na Figura 5.64. A fachada O foi a que apresentou maior manchamento nas vedações sob os peitoris, seguidamente da fachada E. Correlacionando a fachada N com a fachada S, esta apresentou maior percentual de manchamento. Porém, para as manchas formadas em pingadeiras, a fachada S apresentou maior percentual de manchamento, sendo a fachada O a segunda a apresentar maior percentual de manchas, seguidas da fachada E e N. Para as manchas de *fantômes*, só foi observado na vedação de paredes com aberturas na fachada S.



Figura 5.64 - Mancha formada por escoamento de água em platibanda de fachada do Edifício 5

Outro aspecto observado foram as manchas formadas abaixo das caixas de ar condicionado localizadas nas fachadas E e O. Possivelmente, as manchas devem-se ao acúmulo de material particulado aderido sob a projeção destes elementos e que por criarem uma proteção contra a chuva e seu escoamento sobre a fachada não permitem a lavagem da sujeira, como se pode observar na Figura 5.65. As manchas também possuíam outra característica: o tamanho da formação das manchas nos pavimentos inferiores foi maior que para os pavimentos superiores, devido ao ângulo de incidência da chuva.



Figura 5.65 - Manchas formadas sob as caixas de ar condicionado no Edifício 5, 14º pavimento (a) e 2º pavimento (b)

5.9.7 Aspectos gerais dos elementos das fachadas

As pingadeiras são elementos horizontais e, assim como todas as saliências e projeções, permitem que a água que escorre pela fachada seja afastada desta superfície. O surgimento deste elemento na construção de edifícios vem com a função de proteger o pano da fachada contra a ação deletéria da água. Segundo publicação CPqDCC-EPUSP (1995), as pingadeiras devem estar associadas a juntas de trabalho na parte inferior, de acordo com ilustração da Figura 5.66.

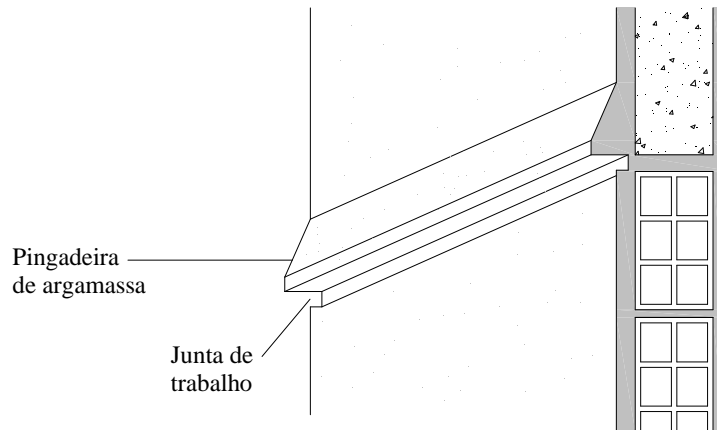


Figura 5.66 - Detalhe da pingadeira e da junta de trabalho

As juntas de trabalho funcionam como regiões de alívio de tensão para o revestimento da fachada e podem fissurar em caso de grandes solicitações do sistema de vedação. Para tanto, as pingadeiras, nesta solução sistêmica, têm a função de proteger as juntas contra o escorrimento da água e evitar a penetração de umidade no caso de presença de fissuras.

Algumas construtoras têm feito variações no uso deste detalhe e utilizam as pingadeiras isoladamente ou somente as juntas de trabalho, como ilustrado na Figura 5.67 (a) e (b). Contudo, quando utilizam as juntas sem pingadeiras, têm realizado inclinações na parte inferior da junta para evitar o acúmulo de água e uma possível penetração de umidade por fissuras que tendem a surgir nestes locais, conforme se pode observar na Figura 5.68.

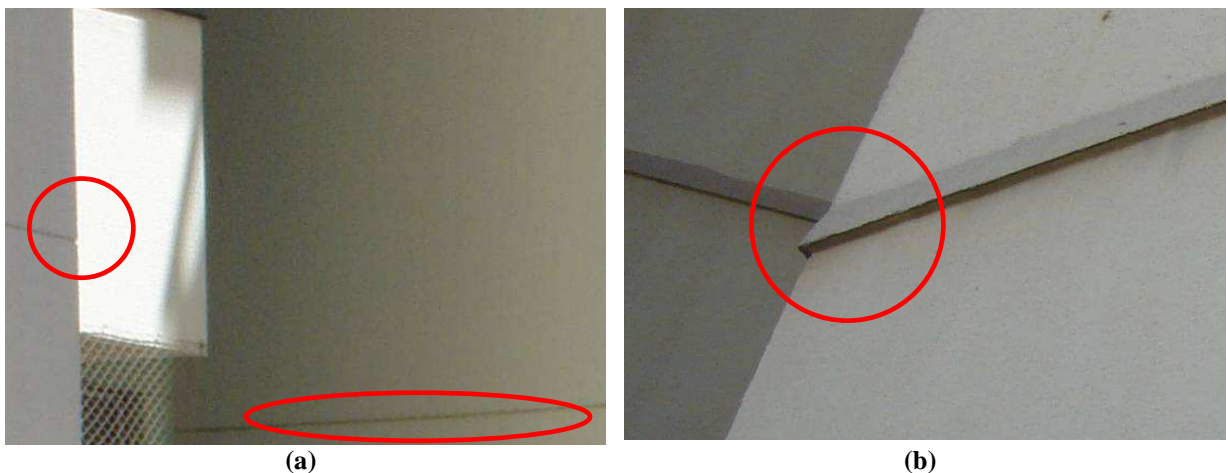


Figura 5.67 - Junta de trabalho sem pingadeira (a) e pingadeira sem junta de trabalho (b)

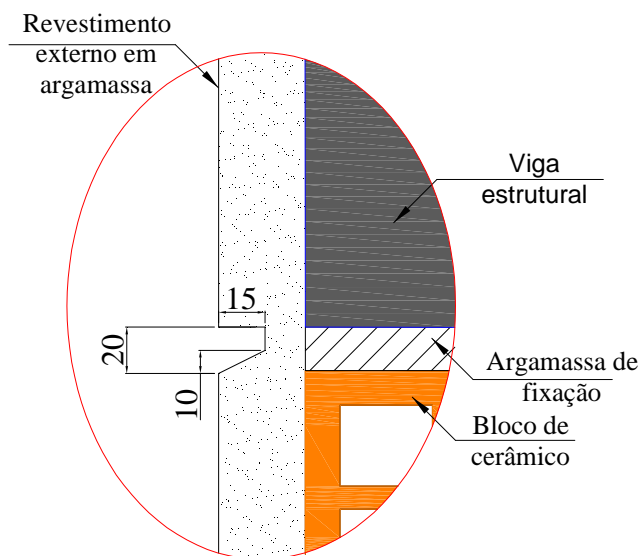


Figura 5.68 - Perfil de junta de trabalho no revestimento de argamassa (NUTEA, 2008)

Um caso prático do efeito proporcionado pela pingadeira no descolamento da água de fachadas pode ser notado na Figura 5.69. Em alguns casos, a água não atinge os peitoris de janelas e evita as manchas nas superfícies verticais pela ação do lavado sujo. Assim, pode-se afirmar que as pingadeiras, de certa forma, cumprem a função de proteção dos elementos do sistema de fachada contra a ação da água que escorre pela superfície externa dos edifícios.



Figura 5.69 - Proteção proporcionada por pingadeiras no escoamento da água sobre a fachada

Do ponto de vista da estética das edificações, as pingadeiras podem propiciar o acúmulo de material particulado propiciado pela inclinação e pela textura rugosa dos acabamentos de pintura que permitem uma maior aderência de sujeiras. O problema é agravado pela insuficiência de água da chuva na ação natural de limpeza em determinadas fachadas, como nas voltadas para a orientação S, conforme Figura 5.70. Ressalta-se que a fonte de emissão de poluição tem papel preponderante no efeito de manchamento e que, a depender da localização

da fonte, das características físicas da edificação e da proteção proporcionada por outras edificações, a formação de sujidades pode acontecer sem um critério pré-estabelecido.



Figura 5.70 - Fachadas com orientação S com manchas formadas nas pingadeiras por acúmulo de sujeira

Outros elementos em projeção também expulsam ou interrompem o fluxo de água descendente na fachada, como os elementos de ornamentação. Porém, estes elementos podem proporcionar o acúmulo de umidade, permitindo a aderência de partículas, assim como o desenvolvimento de microorganismos sobre estas superfícies, acelerando o processo de deterioração da fachada, como ilustrado na Figura 5.71.

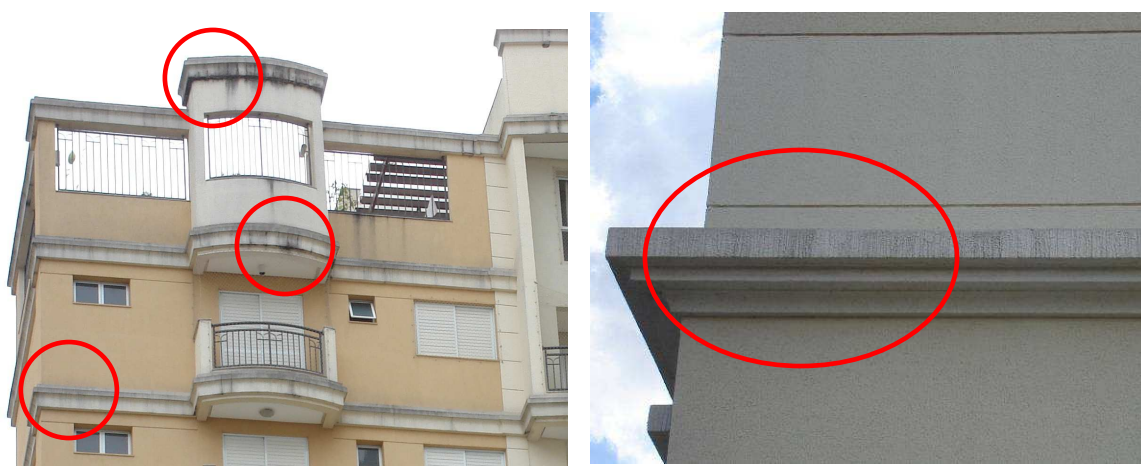


Figura 5.71 - Manchas nos elementos de ornamentação

As regiões próximas aos peitoris têm apresentado frequentemente manchas, que podem estar associadas à execução, aos materiais ou ao projeto. Como tratado na metodologia da medição de umidade nas fachadas, as regiões abaixo das janelas apresentam maiores valores de umidade, o que pode contribuir com a deterioração do revestimento nestas áreas. Algumas construtoras nem sempre têm utilizado os peitoris com pedras naturais (granitos e mármore),

utilizando o acabamento em textura nos vãos das janelas, como apresentado na Figura 5.72. Estas superfícies são extremamente rugosas, propícias à adesão de material particulado que pode ser lavado pela água e ser redepositado sobre as superfícies verticais. Por outro aspecto, pela rugosidade da superfície, este material pode ficar aderido e possuir uma maior resistência na remoção para as superfícies visíveis pela ação do escoamento da água ao longo da fachada.

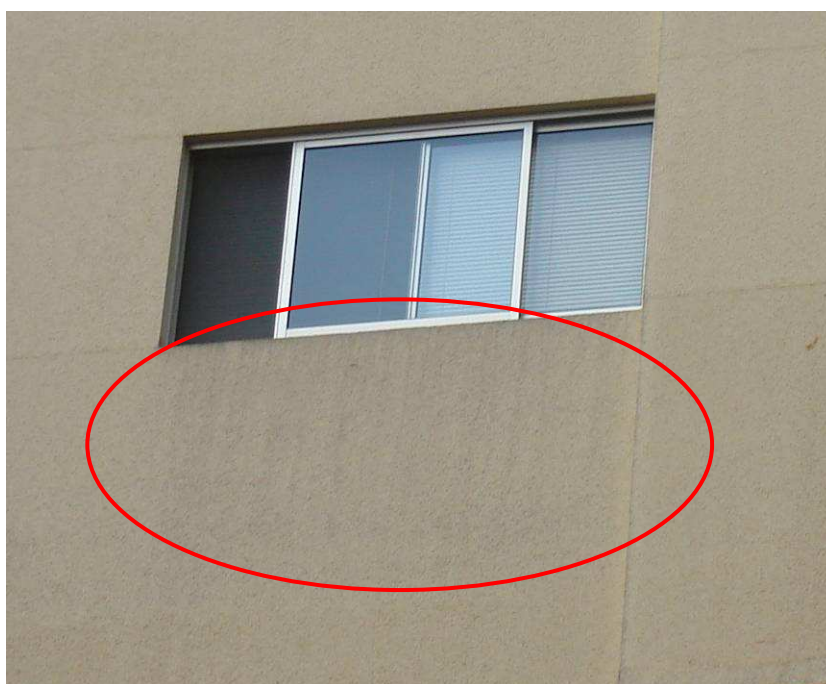


Figura 5.72 - Vão da janela sem peitoril de pedra natural (granito ou mármore)

No entanto, os vãos de janelas com peitoris de pedra natural e concreto pré-moldado também vêm ocasionando sinais de deterioração nas superfícies verticais logo abaixo destes elementos, conforme verifica-se na Figura 5.73.



Figura 5.73 - Manchas nas fachadas ocasionadas por peitoris

As manchas próximas aos peitoris podem ser decorrentes de sujidades, crescimento de microorganismos ou até da perda de pintura pelo constante escoamento de água por caminhos preferenciais. Nota-se que nas regiões da fachada menos expostas à ação da água pela influência do formato do edifício no comportamento da chuva dirigida, a presença de manchas é mais visível, o que pode ser explicado pela quantidade insuficiente de água para proporcionar um lavado limpo, conforme Figura 5.74.



Figura 5.74 - Vista geral da fachada do edifício (a) e as manchas próximas à janela (b). Vista geral da fachada do edifício (c) e as manchas próximas à janela (d)

As platibandas, elementos responsáveis pelo coroamento dos edifícios, são superfícies que também apresentam manchas freqüentemente, porém de maneira mais acentuada, que podem ser explicadas pela formação de microorganismos, conforme ilustração da Figura 5.75.



Figura 5.75 - Manchas escuras, provavelmente oriundas da formação de microorganismos

A parte superior destes elementos proporciona o depósito de material particulado, que normalmente possui em sua composição microorganismos. Estas regiões estão expostas à umidade excessiva e à constante radiação solar que é essencial para o desenvolvimento de cianobactérias e bactérias. A formação de microorganismos também é encontrada em outros elementos de edifícios, como guarda-corpos localizados nas coberturas e é explicada pelos mesmos aspectos, como se pode observar na Figura 5.76.



Figura 5.76 - Manchas de microorganismos em guarda-corpos de coberturas

Demais superfícies horizontais ou pouco inclinadas que possibilitem a adesão de material particulado e que não possuam eficiência no escoamento de água estarão sujeitas ao efeito de manchamento e conseqüentemente à proliferação de microorganismos, conforme ilustra a Figura 5.77.



Figura 5.77 - Manchas em elemento da fachada

Detalhes arquitetônicos que visam à estética, além da função de proteção, devem ser idealizados e projetados atentando-se a todos os aspectos que os envolvem, pois, quando planejados ou executados incorretamente, podem criar caminhos preferenciais no escoamento da água e deteriorar a fachada pela formação de manchas, como se pode observar na Figura 5.78.



Figura 5.78 - Formação de manchas pelo escoamento preferencial da água

5.10 DISCUSSÃO GLOBAL DOS RESULTADOS

Os índices de chuva dirigida direcional anual (ICDd-a) no período 2002 a 2008 apontam comportamentos distintos para as oito orientações. O mesmo pode ser observado nos índices de chuva dirigida direcional mensal (ICDd-m). Analisando-se somente os quadrantes N, S, E e O, observam-se menores valores médios de índices para a orientação S e fazendo uma analogia com o levantamento de casos de infiltração, a menor percentagem de penetração de umidade nas fachadas voltadas a esta direção justifica-se pelos baixos índices de ICDd-a e ICDD-m.

As medições superficiais de umidade realizadas nas fachadas também apontam o comportamento diferenciado da chuva associada ao vento, apesar dessas medições terem sido realizadas somente em um determinado dia do ano. Por este estudo, pode-se afirmar que, além das fachadas estarem submetidas a intensidades de umidade distintas, os pavimentos superiores dos edifícios estão mais expostos ao umedecimento causado pela chuva.

De certa forma, todas as fachadas estão condicionadas a ficarem umedecidas pela chuva, sendo umas mais que as outras. Por este motivo, observa-se o crescimento de

microorganismos em todas as direções. Porém, outro aspecto é fundamental para o crescimento de determinado tipo de microorganismo, seja este fungo, bactéria ou líquen, que é a incidência solar. A Figura 5.79, também apresentada no item 4.4.1, ilustra a formação de manchas que visualmente não são possíveis de diferenciação quanto ao tipo de microorganismos. Porém, trata-se de desenvolvimento de microorganismos de natureza distinta: na fachada Norte o crescimento de fototróficos e na fachada Sul o crescimento de fungos filamentosos.



Figura 5.79 - Fachada Norte (a) e fachada Sul

Verificou-se que as superfícies verticais próximas aos elementos horizontais das fachadas sempre apresentaram algum tipo de formação de manchas devido ao desempenho ineficiente do escoamento de água ou pela capacidade de manterem-se umedecidas. Platibandas, peitoris, guarda-corpos e pingadeiras foram os principais elementos de fachadas causadores de manchamento. No entanto, constataram-se percentuais diferentes de manchamento em relação às fachadas e suas respectivas orientações, inclusive quanto a formação de *fantômes*.

Para as manchas formadas próximas às platibandas, os maiores valores percentuais foram para as fachadas voltadas à orientação Norte. Somado a maior exposição de umidade e incidência solar (característica do clima da cidade de Goiânia), estas formações devem ser devidas ao crescimento de fototróficos, como identificado pela análise microbiológica da amostra 2 (item 5.8).

Por sua vez, as manchas formadas próximas aos peitoris apresentaram maiores percentuais para as fachadas voltadas à orientação Sul. Este fator pode ser explicado uma vez que no período do ano de poucas chuvas, prevaleça os ventos nos sentidos S, SE e SO que depositam sobre estas fachadas o material particulado. Pela condensação passível das fachadas voltadas à direção Sul, os poluentes encontram superfícies favoráveis à adesão e no período de chuva estas fachadas recebem menor quantidade de água, como comprovado pelos índices de chuva

dirigida, o que causa o lavado sujo pela insuficiência de água na ação de lavagem das superfícies. As manchas formadas em maior parte nas fachadas Sul também podem ser explicadas pelo mesmo princípio. Salienta-se que estas manchas, como observado nos resultados obtidos pela identificação de microorganismos, também são decorrentes do crescimento de fungos e fototróficos.

Para os *fantômes*, de forma abrangente, para todos os elementos de vedação das fachadas, houve uma maior incidência para as fachadas voltadas à orientação S. Acredita-se que pelas fachadas receberem menor incidência solar e de vento, a condensação proporcione um maior umedecimento destas fachadas, principalmente no período seco. Apesar do maior índice de chuva dirigida no sentido N, E e O (comparando com o sentido S), acredita-se que pela maior incidência solar estas superfícies percam com maior facilidade a umidade, reduzindo, de certa forma, as condições propícias à formação de manchas por *fantômes*.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo abordará a finalização do trabalho, apresentando, nesta seqüência, conclusões, considerações sobre a pesquisa e algumas sugestões que poderão ser aplicadas no desenvolvimento de trabalhos e pesquisas futuras relacionadas com o tema desta dissertação.

6.1 CONCLUSÕES

Por meio desta pesquisa, puderam-se apresentar alguns aspectos que influenciam na durabilidade de fachadas de edifícios, tendo como aspectos relevantes a influência dos elementos do clima: chuva, vento, condensação e umidade e dos elementos da edificação que se apresentam em forma de detalhes arquitetônicos e construtivos.

Analisando os resultados obtidos pelo ICDA, verificou-se que a cidade de Goiânia está situada numa região protegida, diferente da classificação de estabelecida por Lima e Morelli (2005), nível de exposição alto. Os índices de ICDD-a, ICDD-m e I_0 demonstraram que as fachadas de edifícios localizados na cidade de Goiânia estão expostas a níveis diferentes de umidade oriunda da chuva devida à predominância de ventos N e NO no período chuvoso.

Com propósito semelhante à obtenção dos índices, as medições de umidade superficial confirmaram que fachadas de um mesmo edifício estão realmente expostas a níveis diferentes de umidade originada da chuva. Por esta metodologia, constatou-se que o último pavimento teve os maiores valores percentuais de umidade, assim como as superfícies logo abaixo das janelas em relação às laterais também apresentaram umidade superior.

Desta maneira, os índices de chuva dirigida e as medições de umidade comprovaram que os casos de infiltração de água originada da chuva ocorrerão, na presença de fissuras ou aberturas, de forma diferenciada para as fachadas de um mesmo edifício, uma vez que a influência do vento é fundamental para a ocorrência desta manifestação patológica. Pelo levantamento de casos de infiltração obtidos com as assistências técnicas das construtoras,

constatou-se uma maior ocorrência de penetração de umidade nas fachadas voltadas à orientação Norte e uma menor nas fachadas voltadas a orientação Sul.

A presença de umidade também é fundamental para a formação de manchas em fachadas. Além da presença de água, os elementos que permitem a deposição e a adesão de material orgânico e inorgânico em suspensão na atmosfera, como também na ineficiência em afastar o escoamento da água das superfícies verticais, têm contribuído de maneira indiscutível com estas manifestações patológicas na cidade de Goiânia. As edificações apresentaram o reflexo dos aspectos comentados e observou-se um comportamento diferenciado entre as fachadas e, principalmente, em alguns dos elementos com características de horizontalidade ou levemente inclinados, que foram: as platibandas, peitoris, guarda-corpos e pingadeiras.

Para manchas formadas nas platibandas, as fachadas com orientação N foram as que apresentaram maiores percentuais. Fazendo uma analogia com os resultados obtidos pela identificação de microorganismos, esta maior formação de manchas pode ser explicada pelo aspecto favorável ao crescimento de fototróficos que necessitam da umidade e da insolação para desenvolverem-se. Estas fachadas estão expostas a maiores índices de umidade pela chuva dirigida, assim como à radiação solar mais intensa que auxilia na produção de alimentos destes organismos, no caso específico para a cidade de Goiânia. Também por este aspecto, a incidência solar, não houve formação de fungos como comprovou a identificação de microorganismos.

As manchas formadas em superfícies verticais abaixo de peitoris (“bigodes”) apresentaram maiores valores para as fachadas voltadas à direção S. Este fato pode ser explicado pela seguinte seqüência: nos períodos mais secos, sem chuvas, as predominâncias de ventos são E, S e SE, sendo estes responsáveis pelo transporte de poluição pelo ar. Principalmente, as fachadas com orientação S, pela menor radiação solar recebida e, conseqüentemente, temperatura mais fria, estão propícias à condensação que permitem uma maior aderência de material particulado pela umidade presente na superfície. Desta maneira, como estas fachadas estão expostas à menor incidência de chuva dirigida, a ação do lavado não é suficiente para proporcionar uma lavagem limpa. Pela ineficiência dos peitoris na expulsão do escoamento da chuva e devida à característica de absorção capilar dos revestimentos, parte da lâmina de água que escorre pela fachada é absorvida, assim como partículas de poeira que estão contidas neste escoamento.

Pode-se observar, também, pelos resultados da identificação de microorganismos, que as manchas citadas por autores como sujidades em superfícies próximas a peitoris e outros elementos possuem também a presença de microorganismos, uma vez que, na atmosfera estão presentes todos os tipos de partículas, incluindo os organismos de origem animal e vegetal. Desta forma, deve-se ter cautela quanto ao tratamento do termo “mancha de sujidade”, já que esta manifestação patológica não está somente associada à poluição presente na atmosfera.

Para as formações de *fantômes*, de forma abrangente, houve maior presença para as fachadas com orientação S e em alguns casos outras fachadas apresentaram valores maiores, porém quando as fachadas voltadas para S não possuíam elementos comuns às demais, como, por exemplo, vedações contínuas. Pela menor incidência de radiação solar e por trabalhos realizados por outros pesquisadores, acredita-se que estas manchas sejam formadas, principalmente, por fungos, pois estes organismos necessitam de regiões com baixa incidência de radiação solar para crescerem, assim como da presença de umidade, que para a orientação S tem-se a condensação como a maior fonte. Verificou-se, também, que as paredes contínuas e superfícies protegidas do sol de qualquer direção são elementos de fachada propícios à formação de *fantômes*.

Apesar do pequeno número de amostras pesquisado, bactérias e cianobactérias foram os microorganismos mais identificados nos elementos de fachadas na cidade de Goiânia. Diferentemente de fungos que necessitam da ausência da insolação para o crescimento, estes organismos necessitam de radiação solar para realizar a fotossíntese, fonte de alimento, e por isso estão propícios a desenvolverem-se nas fachadas que recebem maior incidência do sol, que no caso específico de Goiânia é a fachada direcionada ao N, seguida, posteriormente, das fachadas com orientação O e E. Na amostra coletada na fachada S, houve uma predominância de fungos e nas manchas tidas como sujidades pôde-se constatar a presença tanto de fungos quanto de fototróficos.

As fachadas voltadas à direção S são as que menos recebem incidência solar, assim como àquelas protegidas por outras edificações. Como a percepção da manifestação patológica dos *fantômes* nas fachadas voltadas, principalmente, à orientação S foi observada posteriormente às coletas de microorganismos, não se pôde verificar a sua composição microbiológica. Por serem regiões de sombra, acredita-se que a presença de fungos seja a principal formação de microorganismos nestas áreas.

Finalizando, os edifícios estudados apresentaram formação de manchas em períodos menores ou iguais a dez anos e alguns casos igual a cinco anos. Difícil afirmar se este é um período aceitável para o surgimento destas manifestações ou se é precoce. Porém, é notório que soluções de projeto podem ser aplicadas com intuito de se atingir um melhor desempenho das fachadas visando assim uma maior durabilidade e uma das ferramentas adequadas pode ser o projeto de revestimento de fachada.

6.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Do ponto de vista da obtenção dos índices de chuva dirigida, a maior dificuldade é conseguir os dados meteorológicos. O acesso às informações por meio de órgãos que registram os fenômenos climáticos é dificultado pelas políticas de proteção, mesmo que estes dados tenham interesse simplesmente acadêmico. Por vezes, alguns órgãos comprometem-se a fornecer mediante pagamento os dados brutos ou horários, mas, apesar das solicitações por escrito, não deram prosseguimento às ações para a cessão.

Apesar das dificuldades, os dados da estação automática do 10º DISME foram conseguidos e trabalhados para obtenção dos índices de chuva dirigida. Os resultados, pelas características climáticas de Goiânia, não foram amplamente satisfatórios. Em diálogo com responsáveis pela implantação e gerenciamento da estação automática, foi comentado que o entorno onde está inserida esta estação, de certa maneira, influencia os dados registrados, pois, neste local, encontram-se edificações, árvores e até plantações, que alteram o comportamento dos ventos, principalmente da direção N e NO.

As fissuras são os principais caminhos para a penetração da umidade nas fachadas de edifícios e surgem, principalmente, devidas às tensões oriundas de várias fontes (movimentações estruturais, variações higro-térmicas, etc.). Um relativamente novo tipo de projeto construtivo vem sendo aplicado à construção de edifícios: o projeto de revestimento de fachada. Grupos de trabalho, como o Núcleo de Tecnologia em Revestimentos e Argamassas (NUTEA), da Universidade Federal de Goiás (UFG), desenvolvem estes projetos para fachadas objetivando reduzir as soluções empiricamente tomadas em canteiro de obra, minimizando, assim, dentre os vários aspectos, os riscos de fissuração em revestimentos de argamassa. Para a cidade de Goiânia, é interessante um maior cuidado com as fachadas voltadas à Norte, uma vez que a utilização de juntas de trabalho, que possuem tendências à fissurarem para alívio de tensão do

revestimento, criam caminhos para a penetração de água, principalmente se não forem utilizadas pingadeiras.

O estudo de casos em edifícios abrange também fatores que aumentam a complexidade da metodologia, pois existem aspectos intrínsecos que fogem ao controle das variáveis, principalmente para edificações antigas, que são: os materiais utilizados, a mão-de-obra, controle e métodos de execução, além de aspectos referentes a especificidades, como a espessura do revestimento de argamassa que pode influenciar em diversos tipos de manifestações patológicas, como as fissuras e os *fantômes*.

6.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como recomendações para trabalhos futuros e, especialmente, para compreensão de aspectos que envolvem a durabilidade das fachadas com revestimento em argamassa, propõem-se:

- implantar coletores de chuva dirigida em fachadas para consolidar os resultados obtidos pelos índices deste trabalho na cidade de Goiânia, durante o período de um ano;
- calcular novos índices (ICDa, ICDD-a, ICDD-m e I_0) com dados de outras estações automáticas localizadas na cidade de Goiânia, como: a estação da INFRAERO, situada no Aeroporto Santa Genoveva e a estação do INMET, situada na av. Paranaíba;
- realizar medições de umidade sobre todas as fachadas, de 2 em 2 pavimentos de determinada edificação, para obter mais clareza sobre o fenômeno da chuva dirigida;
- estudar a manifestação patológica da fissuração e a sua permeabilidade à umidade originada da chuva dirigida;
- identificar a composição das manchas surgidas em decorrência da manifestação patológica descrita como *fantôme*, principalmente das fachadas voltadas à direção S;
- estudar a relação da radiação solar e da umidade na formação de fissuras em fachadas de edifícios pelos mecanismos de movimentação higroscópica e térmica; e
- desenvolver novos elementos para fachadas na forma de detalhes arquitetônicos e construtivos, executá-los e submetê-los a níveis de exposição de umidade e poluição

com o objetivo de compreender os seus comportamentos e apontar as melhores soluções para a construção civil.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 632-82 (1996). **Standard Practice for Developing Accelerated Test to Air Prediction of Service Life of Building Components and Materials**. Annual Book of standards, section 14, v. 1402, Philadelphia, 1998.

ANDRADY, A. L.; HAMID, S. H.; HU, X.; TORIKAI, A. Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 46, n. 8, p. 96-103, 1998. Disponível em: <www.gcrio.org/ozone/chapter3.pdf> Acesso em: mar/2009.

ANTUNES, George de Barcellos Sá. **Estudo da manutenção de edifícios: percepções dos projetistas e gerentes/administradores**. Vitória, 2004. 245 p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. 2004.

ANTUNES, Giselle Reis. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos**. Brasília, 2010. 166 p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Brasília. 2010.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. Tradução de Marai Juraci Zani dos Santos. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 2: Sistema de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 3: Sistema de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 4: Sistema de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15575**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 5: Sistema de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 6123**. Forças devido ao vento. Rio de Janeiro, 1988.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosphere, weather and climate**. British Library Cataloguing in Publication Data. Routledge. Taylor and Francis Group. London and New York. 8ª ed. 2003. 421 p.

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

BAUER, Elton (Editor) (2005). **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB; SINDUSCON, 2005. v. 001. 92 p.

BAUER, R. J. Falcão. **Falhas em revestimentos: simpósio sobre argamassas industriais, usos e desempenhos**. São Paulo, 1993.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. A review of wind-driven rain research in building science. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 92, n. 13, p. 1079-1130, Nov/2004. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: fevereiro de 2009.

BOYD, D. W. Weather and Building. **National Research Council Canada**. CBD 14, 5p, 1961. Disponível em: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd014-print_e.html> Acesso em: fev/2009.

BORGES, C. A. de M.; SABBATINI, F. H. O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil. **Texto Técnico: BT/PCC/515**. São Paulo: EPUSP, 2008.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BSI 5262: External rendered finishes**. London, BSI, 1976, p.21.

CARASEK, H. **Patologia das argamassas de revestimento**. In: Isaia, G.C. (Org.). **Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 1, p. 1-11.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Projeto de revestimento, ferramenta para evitar problemas em fachadas**. Informativo Sinduscon-GO, Goiânia, p. 6 - 7, 01 nov. 2007.

CARRIÉ, C.; MOREL, D. **Salissures de Façades**. Paris: Eyrolles, 1975.

CEOTTO, Luiz Henrique; BANDUK, Ragueb C.; NAKAKURA, Elza Hissae. **Revestimentos de argamassa. Boas práticas em projeto, execução e avaliação**. Volume 1. Porto Alegre, 2005. Disponível em: www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/capitulos_rt_1.pdf. Acesso em: agosto de 2007.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e método de ensaio**. São Paulo: PINI, IPT, Boletim 68, 1988.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações** – Publicação 1.801. 2ed. São Paulo: IPT, 1989.

CHAND, I.; BHARGAVA, P.K. Estimation of driving rain index for India. **Building and Environment**, v. 37, n. 5, p. 549-554, mai/2002. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: fevereiro de 2009.

CHEW, M. Y. L.; TAN, P. P. Façade staining from designers features. **Construction and building materials**. v. 17, p. 181-187, ago/2003. Disponível em: www.sciencedirect.com Acesso em: fevereiro de 2009.

CHOI, E. C. C. Wind-driven rain on building faces and the driving-rain index. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 79, n. 1 e 2, p.105-122, Jan/1999. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: fevereiro de 2009.

CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes de fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico.** Florianópolis, 2006. 208 p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

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 PATOLOGIAS DAS EDIFICAÇÕES: prevenção e recuperação, 1989. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: UFRGS, 1989. p. 251-262.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia.** São Paulo. Edgard Blücher, 1988. 291 p.

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.

GARDEN, G.K. **Rain Penetration and its Control.** National Research Council Canada. CBD 40, 5 p., 1963. Disponível em: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd040-print_e.html> Acesso em: fevereiro de 2009.

GASPAR, Pedro; BRITO, Jorge de. Mapping defect sensitivity in external mortar renders. **Construction and building materials**, v. 19, p. 571-578, mar/2005. <www.sciencedirect.com>. Acesso em: novembro de 2008.

GASPAR, Pedro; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. de. **Técnicas de diagnóstico e classificação de fissuração em fachadas rebocadas.** In: 2º ENCONTRO SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2006, Porto. PATORREB, 2006. p. 541-550.

GIONGO, Michele. **Análise do nível de exposição das edificações à chuva dirigida para Florianópolis.** Florianópolis, 2007. 107 p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

GRIMM, C. T. **A driving rain index for masonry walls.** In: *Masonry: materials, properties and performance.* ASTM STP 778, J. G. Borchelt, Ed., American Society for Testing and Materials, 1982, p. 171-177.

GUIMARÃES, Leonardo E; PEREIRA, Cláudio H. de A. F.; OLIVEIRA, Kelia R. B. de;

CARASEK, Helena. **Acompanhamento das variações das temperaturas superficiais dos principais materiais utilizados em fachadas na cidade de Goiânia.** In: II ENCONTRO SOBRE PESQUISAS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 2002, Goiânia. CD-ROM do II Encontro sobre Pesquisas em Materiais de Construção, 2002.

GAYLARDE, P.M.; GAYLARDE, C.C. Algae and cyanobacteria on painted surfaces in southern Brazil. *Revista de Microbiologia*, 30: 209-213. 1999.

HOPPESTAD, S. Slagregn i Norge in Norwegian. Norwegian Building Research Institute, rapport Nr. 13, Oslo, 1995.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Climatologia.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: abril de 2009.

JOHANSSON, S.; LI, Y.; WADSÖ, L. **Biological organisms on building façades**. 2005. Disponível em: http://web.byv.kth.se/bphys/reykjavik/pdf/art_116.pdf. Acesso em: novembro de 2009.

KARAGIOZIS, Achilles; HADJISOPHOCLEOUS, George; CAO, Shu. Wind-driven rain distributions on two buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 67 & 68, p. 559-572, abr-jun/1997. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: fevereiro de 2009.

KAZMIERCZAK, C. de S. **Desempenho de alvenarias de materiais cerâmicos à penetração de água da chuva: uma análise de fatores condicionantes**. 1989. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

LACY, R. E. **Climate and building in Britain**. Building Research Establishment. Her Majesty's Stationery Office, London, 1977, 185 p.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986. Boletim técnico n. 06, 1986.

LIMA, M.G.; MORELLI, F. **Mapa Brasileiro de “Chuva Dirigida”**: Algumas Considerações. Florianópolis, SC. 2005. p. 620-634. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA, 6, 2005, FLORIANÓPOLIS E INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. Artigo Técnico. Disponível em: <www.infohab.org.br>. Acesso em: abr/2009.

LNEC, Manchas de vegetação parasitária em paramentos rebocados de alvenaria, Lisboa, Setembro 1954, 10 p.

MACIEL, Luciana Leone. **O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada**. São Paulo, 1997. 372p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

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

MARTÍNEZ, Alfonso Corona. **Ensaio sobre o projeto**. A. L. Spaltemberg (Trad.); S. Fisher (Ver. Téc.). – Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2000.

MEDEIROS, J. S. **O desempenho das vedações frente à ação da água**. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS. Vedações Verticais, 1., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP/PCC, 1998. p. 125-168.

MEDEIROS, J. S.; FRANCO, S. L. Prevenção de trincas em alvenarias através do emprego de telas soldadas como armadura e ancoragem. **Texto Técnico**: TT/PCC/22. São Paulo: EPUSP, 1999.

MOURA, Yolanda Montenegro de. **Revestimento cerâmico em fachadas. Estudo das causas das patologias**. Comunidade da construção, Programa de melhoria da comunidade da construção revestimento cerâmico em fachadas. Fortaleza, 2004. Disponível em: www.abcp.org.br/comunidades/fortaleza/arquivos/03_PesquisaPatologia.pdf. Acesso em: outubro de 2007.

NAKAMURA, Juliana. Projeto de fachadas. **Revista Techné**, 92. 2004. Disponível em: <http://pcc2436.pcc.usp.br/Textost%C3%A9cnicos/Revest%20verticais/projeto%20de%20fachadas>. PDF. Acesso em: agosto de 2007.

PETRUCCI, Helena Maria Cabeda. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída, 2000**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre: UFRGS, 2000.

PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (1ª parte)**. Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988a. p. 571-574.

PINTO, Nelson L. de Souza; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. **Hidrologia Básica**. São Paulo. Edgard Blücher, 1976. 278 p.

PIRES, D. O. **Inventário de emissões atmosféricas de fontes estacionárias e sua contribuição para a poluição do ar na região metropolitana do Rio de Janeiro**. 2005, 194p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RECOMENDACIONES Y MANUALES TÉCNICOS. **Durabilidad de estructuras de Hormigón. Guia de Diseño CEB**. Grupo Español Del Hormigón. Hórmigon. Outubro. 1993.

RESENDE, Maurício Marques. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos**. São Paulo, 2004. 215 p.

RESENDE, M. M.; BARROS, M. M. S. B.; MEDEIROS, J. S. **A influência da manutenção na durabilidade dos revestimentos de fachada de edifícios**.

RIBEIRO, Antonio Clélio; PERES, Mauro Pedro; IZIDORO, Nacir. **Leitura e interpretação de desenho técnico**. Disponível em: http://www.eel.usp.br/na_apostila/pdf/capitulo1.pdf. Acessado em: janeiro de 2008.

RYDOCK, J. P. A look at driving rain intensities at five cities. **Building and Environment**, v.41, n. 12, p. 1860-1866, 2006. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: fevereiro de 2009.

RYDOCK, J. P.; LISO, K. R.; FORLAND, E. J.; NORE, K.; THUE, J. V. A driving rain exposure index for Norway. **Building and Environment**, v. 40, n. 11, p. 1450-1458, 2005. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: fevereiro de 2009.

SABBATINI, F. N. **Tecnologia de execução de revestimentos de argamassas**. In: 13º SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO. São Paulo, 1990.

SAHB, C. A. S. **Contribuição ao estudo da interface estrutura – alvenaria externa de edifícios residenciais**. 2005. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFG, Goiânia: UFG, 2005.

SELMO, Sílvia Maria de Souza. **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.

SILVA, Armando Felipe da. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados: estudo de caso em edifícios em Florianópolis.** Florianópolis, 2007. 190 p.

SILVA, J. Mendes; TORRES, M. Isabel. **Deficiências do desempenho dos peitoris na proteção das fachadas contra a ação da água.** 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios (PATORREB-2003), FEUP, Porto, 18-19 Março 2003.

SHIRAKAWA, M. A.; MONTEIRO, M. B. B.; SELMO, S. M. S.; CINCOTTO, M. A. **Identificação de fungos filamentosos em revestimentos de argamassa com bolor evidente.** In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1995. p. 402-410.

SHIRAKAWA, M. A.; CINCOTTO, M. A.; GAMBALE, W. **Atividade de água e biodeterioração de argamassas por fungos filamentosos.** In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1997, Bahia, 1997. p. 373-384.

SHIRAKAWA, M. A.; CINCOTTO, M. A.; GAMBALE, W. **Teste comparativo do crescimento de fungos em argamassas de revestimento industrializadas e convencionais.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2001, Brasília. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília, 2001. Anais, 2001.

SHIRAKAWA, M. A.; GAYLARDE, C. C.; Peter Gaylarde; JOHN, V. M.; GAMBALE, W. **Fungal colonization in the paint interfaces.** In: 9th DBMC INTERNATIONAL DURABILITY ON BUILDING MATERIAL AND COMPONENTS 9TH, Brisbane, 2002.

SHIRAKAWA, M. A. ; JOHN, V. M. ; GAYLARDE, C. C.; GAYLARDE, Peter M.; GAMBALE, W. . **Mould and phototroph growth on masonry façades after repainting.** Materials and Structures, Paris, v. 37, n. 271, p. 472-479, 2004.

SHIRAKAWA, M. A.; VIEIRA, E. N.; TANACA, H.; CESAR, R. T.; BRUM, F; JOHN, V. M. **Avaliação do crescimento de fungos após um ano de envelhecimento natural de argamassa de revestimento aditivadas e com pintura.** VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Curitiba, 2009.

SOUZA, Regina H. F.de; ALMEIDA, Ivan R.; VERÇOSA Daniela Karina. **Fachadas prediais: considerações sobre o projeto, os materiais, a execução, a utilização, a manutenção e a deterioração.** v vol. 3 n° 8, 2005. Revista Internacional Construlink. Disponível em: www.construlink.com.br. Acessado em: novembro de 2008.

STRAUBE, J. F. **Moisture in buildings.** ASHRAE Journal. 2002. Disponível em: http://energydesignsystems.com/ASHRAE_Journal_Jan_2002_Moisture.pdf. Acesso em: mar/2009.

STRAUBE, J. F.; BURNETT, E. F. P. **Simplified prediction of driving rain on buildings.** Proceedings of the International Building Physics Conference, Eindhoven, The Netherlands, 18-21 Setembro 2000, p. 375-382.

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

_____. **Trincas em edifício: causas, prevenção e recuperação.** 1. ed. São Paulo: Pini/EPUSP/IPT, 1989.

UEMOTO, Kai L.; AGOPYAN, Vahan; BRAZOLIN, Sergio. **Degradação de pinturas e elementos de fachada por organismos biológicos.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. v. 2. p. 723-728.

UEMOTO, L. K.; SATO, N. M.; SHIRAKAWA, M. A.; JOHN, V. M. **Metodologia para previsão de vida útil de tintas para construção civil.** In: 10º CONGRESSO INTERNACIONAL DE TINTAS, 2007, São Paulo. Anais do 10º Congresso Internacional de Tintas, 2007.

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

Van MOOK, F. J. R. **Driving rain on Building envelopes.** 2002. 198 p. Disponível em: <http://sts.bwk.tue.nl/drivingrain/fjrvanmook2002.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2009. Ph. D. thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Netherlands, 2002.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e climatologia.** Versão digital 2. Recife, Pernambuco. Brasil. Março de 2006. Disponível em: http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso em: abril 2009.

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa. Editora UFV. 2000. 449 p.

VIEIRA, Adriana de Andrade. **Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro histórico de Porto Alegre: estudo de caso.** Porto Alegre, 2005. 163 p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)