

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES À
CHUVA DIRIGIDA PARA FLORIANÓPOLIS**

MICHELE GIONGO

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGECC, para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil

Área de Concentração: Construção Civil

Professor orientador: Prof. Ivo José Padaratz

Florianópolis
Maio/2007

**ANÁLISE DO NÍVEL DE EXPOSIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES À CHUVA DIRIGIDA
PARA FLORIANÓPOLIS**

Michele Giongo

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Glicério Trichês - Coordenador do PPGEC

Prof. Ivo José Padaratz, PhD. - Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Ivo José Padaratz, PhD. - Moderador - ECV/UFSC

Prof^a. Dra. Maryangela Geimba de Lima - ITA

Prof. Roberto Lamberts, PhD. - ECV/UFSC

Prof. Enedir Ghisi, PhD. - ECV/UFSC

*A Deus e sua mãe.
Aos meus pais.
Ao meu amado.*

AGRADECIMENTOS

- ♦ Ao prof. Ivo Padaratz pela orientação, apoio e sugestões.
- ♦ Ao prof. Roberto Lamberts pelas sugestões e pelo apoio através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE.
- ♦ À prof^ª. Angela Masuero e à Adriana Viera pelo fornecimento de material bibliográfico.
- ♦ Ao LAHIMAR, na pessoa do prof. Davide Franco, pelo fornecimento dos dados da estação da Barra da Lagoa.
- ♦ À EPAGRI, nas pessoas da Vera e do Maurici, pelo fornecimento dos dados meteorológicos e pelas informações prestadas.
- ♦ Às colegas Juliana, Joyce, Solange e aos demais colegas do LabEEE pelas sugestões, dicas, fornecimento de dados e de material.
- ♦ Ao Patrick pelo programa desenvolvido para as correções dos arquivos climáticos.
- ♦ Aos funcionários dos Comutes e bibliotecas da UFSC e da Engenharia Civil da UFRGS pela atenção, pelas dicas e pelo empenho.
- ♦ Aos meus pais pelo seu amor e apoio incondicional.
- ♦ Ao Ayres por toda a atenção, sugestões, troca de experiências científicas, ajuda com o computador e sobretudo por seu amor.
- ♦ Ao Frei Justino, ao Frei Moacir, à Ir. Petronila pelo acompanhamento espiritual, pela amizade e pelo carinho.
- ♦ Ao amigos e irmãos na fé do ministério de música Dom de Deus pelo carinho, pelas orações e pela compreensão quanto à minha ausência.
- ♦ À Vera pela sua amizade, pela ajuda com o excel e com a estatística e pelo seu exemplo de fé.
- ♦ Ao Rafael pela nossa relação de amizade, companhia em muitos momentos difíceis.
- ♦ A todas as pessoas que de uma forma ou de outra ajudaram para que este trabalho fosse feito e concluído.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral.....	18
1.2.2	Objetivos específicos.....	18
1.3	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	19
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	NOMENCLATURA.....	20
2.2	CONCEITO DE CHUVA DIRIGIDA	20
2.3	CHUVA E VENTO	21
2.4	A CHUVA DIRIGIDA E A EDIFICAÇÃO	23
2.5	MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE ESTUDO DE CHUVA DIRIGIDA.....	24
2.5.1	Índice de chuva dirigida.....	26
2.5.2	Mapas de chuva dirigida.....	28
2.5.3	Índice de chuva dirigida em paredes verticais.....	30
2.6	NORMAS RELACIONADAS COM O TEMA.....	37
2.7	ESCALAS DE CLIMA NOS ESTUDOS RELACIONADOS AO AMBIENTE CONSTRUÍDO	38
2.8	CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DA REGIÃO DE FLORIANÓPOLIS	39
2.9	CONCLUSÃO DA REVISÃO DE LITERATURA	41
3	DADOS E MÉTODO	43
3.1	ÁREA DE ESTUDO	43
3.2	FONTES DE DADOS	47
3.3	MÉTODO DE ANÁLISE.....	52
3.3.1	Dados da estação Aeroporto Hercílio Luz, Florianópolis 1961-1970.....	52
3.3.2	Dados da estação Hercílio Luz e da Estação de São José, Florianópolis, 1991, 1993-1996.....	54
3.3.3	Dados da estação Barra da Lagoa, Florianópolis, setembro/2005 a agosto/2006	55
4	RESULTADOS	56

4.1	COMPORTAMENTO DO VENTO E DA CHUVA EM FLORIANÓPOLIS NOS PERÍODOS ANALISADOS	56
4.1.1	Período de 1961 a 1970.....	56
4.1.2	Período de 1991, 1993 a 1996.....	62
4.1.3	Período de setembro/2005 a agosto/2006.....	67
4.1.4	Precipitações anuais e médias anuais de velocidade do vento.....	73
4.1.5	Discussão a respeito das análises do comportamento do vento e da precipitação pluviométrica nos períodos analisados	74
4.2	ÍNDICES DE CHUVA DIRIGIDA ANUAIS E ÍNDICES DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAIS ANUAIS.....	76
4.3	ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA MENSAIS E ÍNDICES DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAIS MENSAIS	82
4.4	ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA SAZONAIS E ÍNDICES DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAIS SAZONAIS.....	88
4.5	ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA EM PAREDE VERTICAL.....	91
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	96
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	97
6	REFERÊNCIAS	98
	ANEXO A - Tabelas com exemplos dos dados utilizados	105

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Vetor intensidade de chuva R e suas componentes: Intensidade de chuva dirigida R_{cd} e Intensidade de precipitação no plano horizontal R_h	21
FIGURA 2 – Coletores de chuva dirigida: (a) Coletor para medir a água aderida equipado com um limpador automático. Esquerda: prato frontal com área de coleta circular (0,492m ²). Direita: prato aos fundos com visão interna do aparelho. (b) Coletor desenvolvido pela <i>Chalmers University of Technology</i> : área de coleta pequena (0,032m ²), feito em acrílico (<i>perspex</i>) com sistema de medição “ <i>tipping bucket</i> ”	25
FIGURA 3 - Mapas de chuva dirigida para o Reino Unido. Esquerda: Mapa de índice de chuva dirigida anual médio com grau de exposição (branco = protegido, cinza claro = exposição moderada, cinza escuro = exposição severa). Direita: Mapa de índice de chuva dirigida direcional.	28
FIGURA 4 - Mapa brasileiro de chuva dirigida (verde = protegido; amarelo = exposição moderada; rosa =exposição alta; vermelho = exposição severa).....	30
FIGURA 5 - Orientação da fachada do edifício e da direção do vento.....	34
FIGURA 6 – Valores sugeridos para C_ϕ para variados tipos de terreno	35
FIGURA 7 – Classificação Climática Braga e Ghellere (1999), azul = 1B – Litoral de Florianópolis e Laguna; verde = 2B – Carbonífera, Extremo Sul e Colonial Serrana	43
FIGURA 8 – Localização das estações meteorológicas (E1-Estação Aeroporto Hercílio Luz; E2-Estação Barra da Lagoa - LAHIMAR; E3-Estação São José – EPAGRI/INMET) e suas áreas de cobertura (20km de raio)	44
FIGURA 9 – Aeroporto Internacional Hercílio Luz e distrito de Carianos. Ao norte está a Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé e a oeste a Baía Sul. A seta preta indica a localização da antiga torre de comando.....	45
FIGURA 10 – Distrito da Barra da Lagoa. A localização da estação meteorológica do Laboratório de Hidráulica Marinha - LAHIMAR está indicada pela seta branca. À esquerda está a Lagoa da Conceição, à direita o Oceano Atlântico.....	45
FIGURA 11 – Bairro Praia Comprida na cidade de São José. A localização da estação São José está indicada pela seta preta. Abaixo aparece a Baía Sul.	46
FIGURA 12 – Antiga torre de comando do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, foto tirada em 17/07/2007.....	48
FIGURA 13 – Atual estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, foto tirada do terminal de passageiros do aeroporto em 17/07/2007.	49
FIGURA 14 – Hidrômetro da estação de São José, foto de 16/07/2007.....	50
FIGURA 15 – Estação meteorológica do LAHIMAR; Fachada do prédio do Laboratório de Camarões Marinhos – LCM – sobre o qual está instalada a estação meteorológica; vista aérea da Estação de Maricultura da Barra da Lagoa da UFSC.....	51
FIGURA 16 – Transformação das direções de vento medidas em graus para oito direções (N, E, S,O abrangendo uma faixa de 40°; NE, SE, SO, NO abrangendo uma faixa de 50°).....	53
FIGURA 17 – Distribuição de direção do vento de todos os eventos do período por faixa de velocidade (Florianópolis, 1961-1970).	57

FIGURA 18 – Distribuição de direção de vento com chuva por faixa de velocidade (Florianópolis, 1961-1970).....	58
FIGURA 19 – Distribuição de velocidade do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, 1961 -1970).....	59
FIGURA 20 – Distribuição de direção do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, 1961 – 1970).....	60
FIGURA 21 - Precipitação anual por direção e faixas de velocidade (Florianópolis, 1961 – 1970).....	61
FIGURA 22 – Distribuição de precipitação por faixas de velocidade (Florianópolis, 1961-1970).	61
FIGURA 23 – Distribuição de precipitação por direção do vento (Florianópolis, 1961-1970)....	62
FIGURA 24 – Distribuição de direção do vento de todos os eventos do período por faixa de velocidade (Florianópolis, 1991/1993-1996).	63
FIGURA 25 – Distribuição de direção de vento com chuva por faixa de velocidade (Florianópolis, 1991/1993-1996).....	64
FIGURA 26 – Distribuição de velocidade do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, 1991/1993-1996).....	64
FIGURA 27 – Distribuição da precipitação anual média por direção e faixas de velocidade (Florianópolis, 1991/1993-1996).....	65
FIGURA 28 – Distribuição de direção do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, 1991/1993-1996).....	65
FIGURA 29 – Distribuição da precipitação por faixas de velocidade (Florianópolis, 1991/1993-1996).....	66
FIGURA 30 – Distribuição de precipitação por direção do vento (Florianópolis, 1991/1993-1996).....	66
FIGURA 31 – Distribuição de direção do vento de todos os eventos do período por faixa de velocidade (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006).	68
FIGURA 32 – Distribuição de direção de vento com chuva por faixa de velocidade (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006).	69
FIGURA 33 – Distribuição da velocidade do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006).	70
FIGURA 34 – Distribuição de direção do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006).	70
FIGURA 35 – Distribuição da Precipitação anual média por direção e faixas de velocidade (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006)	71
FIGURA 36 – Distribuição da precipitação por faixas de velocidade (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006)	72
FIGURA 37 – Distribuição de precipitação por direção do vento (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006)	72
FIGURA 38 – Índice de Chuva Dirigida direcional (m ² /s) – Florianópolis, 1961-1970; 1991/1993-1996 e setembro/2005-agosto/2006.	78

FIGURA 39 - Índices de Chuva Dirigida direcionais anuais (m ² /s), Florianópolis 1961-1970...	81
FIGURA 40 - Índices de Chuva Dirigida direcionais anuais, Florianópolis 1991/1993-1996. ...	82
FIGURA 41 - Índices de Chuva Dirigida direcionais mensais (m ² /s), Florianópolis 1961-1970.	86
FIGURA 42 - Índices de Chuva Dirigida direcionais mensais (m ² /s), Florianópolis 1991/1993-1996.	87
FIGURA 43 - Índices de Chuva Dirigida direcionais sazonais (m ² /s), Florianópolis 1961-1970.	88
FIGURA 44 - Índices de Chuva Dirigida direcionais sazonais (m ² /s), Florianópolis 1991/1993-1996.	89
FIGURA 45 - Índices de Chuva Dirigida direcionais sazonais (m ² /s), Florianópolis setembro/05-agosto/06.....	90
FIGURA 46 – Índice de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis 1961-1970	92
FIGURA 47 – Índices de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis anos de 1961 a 1966.	92
FIGURA 48 – Índices de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis anos de 1967 a 1970.	93
FIGURA 49 – Índice de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis 1991/1993-1996 ..	94
FIGURA 50 – Índices de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis, anos de 1991 e 1993 a 1996.	94
FIGURA 51 - Índice de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis, set/2005 a ago/2006	95
FIGURA 52 - Índices de Chuva Dirigida em parede vertical (mm/ano), Florianópolis 1961-1970, 1991/1993-1996 e setembro/05-agosto/06.	95

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Faixas de exposição à chuva dirigida	29
TABELA 2 - Escalas de clima	38
TABELA 3 - Valores das precipitações anuais e da velocidade média do vento. Florianópolis, 1961-1970, 1991/1993-1996 e setembro/05-agosto/06.	74
TABELA 4 - Valores dos ICDA e classificação da exposição à chuva dirigida. Florianópolis, 1961-1970, 1991/1993-1996 e setembro/05-agosto/06.	76
TABELA 5 - Valores dos ICDA para os anos de 1961-1970, em Florianópolis, e classificação da exposição à chuva dirigida.	80
TABELA 6 - Valores dos ICDA para os anos de 1991, 1993-1996, em Florianópolis, e classificação da exposição à chuva dirigida.	80
TABELA 7 - Índices de chuva dirigida mensais e índice de chuva dirigida anual (m ² /s), Florianópolis, 1961-1970, 1991/1993-1996 e set/05 a ago/06.	83
TABELA 8 - Valores dos ICD mensais para o período de 1961 a 1970.....	84
TABELA 9 - Valores dos ICD mensais para o período de 1991, 1993-1996.	84
TABELA 10 - Índices de chuva dirigida sazonais e índice de chuva dirigida anual (m ² /s), Florianópolis, 1961-1970, 1991/1993-1996 e set/05 a ago/06.	91
TABELA 11 – Dados da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz com transformação das medidas de vento de acordo com o número de medições diárias de precipitação (Florianópolis, 01 a 03/01/1961).....	105
TABELA 12 – Dados de vento da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz e de precipitação da estação meteorológica de São José, com transformação das medidas de vento de acordo com o número de medições diárias de precipitação (Florianópolis, 01 a 03/01/1993).....	106
TABELA 13 - Dados de vento e de precipitação da estação meteorológica do LAHIMAR (Florianópolis, 01 a 02/09/2005).	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVA/IBF – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento/Instituto Brasileiro do Frio

BRE - *Building Research Establishment*

BRS - *Building Research Standards*

CFD - *Computational Fluid Dynamics*

CIB – *Conseil International du Bâtiment*

CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

CTA/IAE – Centro Técnico Aeroespacial/ Instituto da Aeronáutica e Espaço

DRF - *Driving Rain Factor*

DRI – *Driving Rain Index*

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural e Santa Catarina S.A

FAC - Fator de Admitância de Chuva

FCD - Fator de Chuva Dirigida

I_0 – Montante de Chuva Dirigida em Parede Vertical

ICD – Índice de Chuva Dirigida

ICDa – Índice de Chuva Dirigida anual

ICDd – Índice de Chuva Dirigida direcional

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LAHIMAR – Laboratório de Hidráulica Marítima

mEc - Massa Equatorial Continental

mTa - Massa tropical Atlântica

NCDC - *National Climatic Data Center*

RAF - *Rain Admittance Factor*

WDR – *Wind Driven Rain*

RESUMO

A umidade é um dos principais agentes causadores de manifestações patológicas no ambiente construído. A chuva dirigida, ou seja, a chuva que cai obliquamente com uma componente horizontal de velocidade do vento e incide com um ângulo em relação a um plano vertical, é uma grande fonte de umidade que afeta o desempenho higrotérmico e a durabilidade das fachadas das edificações. O presente trabalho analisa, com o auxílio de índices de chuva dirigida e de índices de chuva dirigida em parede vertical, o nível de exposição aos eventos de chuva dirigida de edificações em Florianópolis-SC. Para tanto, são aplicadas fórmulas empíricas existentes na literatura internacional e dados de precipitação, de velocidade e de direção do vento de três estações meteorológicas, duas localizadas na ilha de Santa Catarina e uma na cidade de São José-SC. As análises foram feitas para três períodos distintos: 1961-1970 com dados da estação do Aeroporto Hercílio Luz; 1991, 1993-1996 com dados da estação do Aeroporto Hercílio Luz e da estação São José; e o período de setembro/2005-agosto/2006 com os dados da estação do LAHIMAR – Laboratório de Hidráulica Marítima. Delimitou-se como área de estudo do presente trabalho a área do litoral de Florianópolis definida pelo Atlas de Santa Catarina coberta pelas três estações meteorológicas citadas acima. De acordo com os resultados dos índices anuais de chuva dirigida médios em cada período analisado, a exposição da área de estudo à chuva dirigida variou de local protegido a exposição alta, demonstrando diferenças nos resultados de cada período. Por outro lado, a avaliação dos índices direcionais de chuva dirigida indicou que as direções que mais contribuíram para a composição dos índices anuais foram as direções sudeste, sul e sudoeste, direções que compõem o quadrante sul. Isso despertou a suspeita de que estas seriam as direções mais críticas quanto ao estudo de durabilidade de fachadas das edificações, o que foi confirmado com a avaliação dos índices de chuva dirigida em superfícies verticais que também indicou essas três direções como mais críticas. Os resultados deste trabalho poderão servir como auxílio para projetistas na concepção de novas edificações principalmente no que se relaciona à escolha de materiais componentes das fachadas, além de auxiliar nos estudos de durabilidade das fachadas de edifícios.

Palavras-chave: Chuva dirigida; índice de chuva dirigida; fachada; edificação; durabilidade.

ABSTRACT

Moisture is one of the most important weather agents responsible for deterioration of buildings. Driving rain, that is, the oblique rain with a wind speed horizontal component and that occurs with an angle in relation to a vertical plan, is a great moisture source that affects hygrothermal performance and durability building façades. The present study analyzes the exposure level of buildings to the related event with driving rain indices and driving rain indices on a wall calculation. Semi-empirical formulas from the driving rain international literature were used to process rainfall, wind speed and wind direction data from three meteorological stations located in Santa Catarina island and São José, near the South Bay. The analysis considered three periods: 1961-1970 with data from Aeroporto Internacional Hercílio Luz station; 1991, 1993-1996 with data from Aeroporto Internacional Hercílio Luz station and São José station; and 2005/September-2006/August with data from LAHIMAR – Laboratório de Hidráulica Marinha station. According to the average driving rain index results for each period analyzed, the exposure level of the area studied varied from moderate to high, demonstrating differences in each period. On the other hand, the assessment of the directional driving rain indexes indicated that the directions contributing more to annual indexes were the Southeast, South and Southwest ones, that is, the ones composing the South Quadrant. This result led to the hypothesis that those might be the most critical directions regarding the study of building façade durability. This hypothesis was confirmed by the evaluation of the amount of the driving rain indexes in a wall, which also indicated those three directions as being the most critical. The results of this research may both aid project designers in the conception of new buildings, mainly with regard to façade material, and shed light upon studies carried out on building façade durability.

Keywords: Driving rain; driving rain index; façade; building; durability.

1 INTRODUÇÃO

Baseado em conceitos de diversos autores, pode-se dizer que a chuva dirigida é a chuva que cai obliquamente e possui uma componente horizontal dada pela velocidade do vento. A pesquisa da chuva dirigida é importante para muitas áreas de estudo como as ciências da terra, a hidrologia, a meteorologia e a ciência da construção.

A chuva dirigida é a maior fonte de umidade que afeta a performance higrotérmica e a durabilidade das fachadas dos edifícios. Ela é a origem de muitas manifestações patológicas de umidade como infiltrações, eflorescências, bolores, goteiras, manchas e deterioração de componentes das fachadas.

Segundo Bauer (1989), as manifestações patológicas relacionadas à chuva são essencialmente a própria infiltração, os efeitos de movimentação devido a variações de umidade e a deterioração devido à ação de sais.

Quando a chuva vem associada ao vento, as superfícies cujas faces fazem frente a esse vento ficam mais expostas à chuva. De acordo com Robinson e Baker (1975), o depósito de chuva e sua migração pelas fachadas estão vinculados à exposição à chuva dirigida e a sua variação direcional com o tempo.

A quantidade de chuva dirigida que incide nas fachadas dos edifícios é influenciada por uma série de parâmetros como a geometria do edifício, a topografia, a posição das fachadas, a velocidade e a direção do vento, a intensidade da precipitação, o tamanho das gotas e a duração do evento de chuva. Devido ao grande número de parâmetros e as suas variações, a quantificação da chuva dirigida é um problema complexo.

Pesquisadores de vários países têm estudado a interação entre chuva dirigida e o ambiente construído. Dentre os países que apresentam pesquisas sobre o assunto estão os Estados Unidos, a Bélgica, a Noruega, o Reino Unido, o Canadá, a França, a Singapura, a Índia, a Turquia, a China e a Austrália. No Brasil, as pesquisas foram iniciadas por Silva e Giralt (1995) que estimaram um índice de chuva dirigida e as intensidades de chuva dirigida em plano vertical para a cidade de Porto Alegre. Recentemente, Lima e Morelli (2005) montaram o primeiro mapa brasileiro de chuva dirigida, baseado apenas em médias anuais de 2004 de precipitação e de velocidade do vento.

Medições da chuva dirigida livre e nas fachadas de edificações têm sido feitas, e equações semi-empíricas e simulações computacionais têm sido aplicadas em vários países para o estudo sobre a chuva dirigida e as edificações. Um exemplo do avanço das pesquisas em

alguns países é o trabalho que vem sendo desenvolvido por pesquisadores de algumas universidades na Noruega. Este trabalho é apresentado por Nore *et al.* (2007) e consiste na coleta de uma série de dados de medidas de chuva dirigida em um edifício experimental que serão utilizados na validação de modelos de simulação. Estão sendo feitas medidas de chuva dirigida em condições de campo aberto e nas fachadas do edifício teste, de velocidade e de direção do vento, de precipitação, de temperatura e de umidade relativa.

1.1 JUSTIFICATIVA

O ambiente construído, cuja primeira função é proteger o homem e seus bens das intempéries climáticas (BOYD,1961; BAUER, 1989), está sempre exposto à ação nociva dos agentes presentes no meio ambiente como a umidade relativa do ar, a chuva, o vento, a temperatura, a insolação e a névoa salina para o caso de edificações próximas ao mar ou grandes estuários. A ação desses agentes nas construções é complexa e muitos pesquisadores vêm procurando estabelecer relações dessa ação para mensurar os efeitos de cada agente nas edificações através de equações empíricas, ensaios, envelhecimento em laboratório, medições e simulações entre outras formas.

Um dos problemas mais frequentes nas edificações é a umidade. É também um dos problemas mais observados pelo usuário, como indica um estudo de caso desenvolvido por Meira e Padaratz (1999) em um condomínio residencial multifamiliar situado na cidade de Florianópolis - SC. Neste estudo, a presença de umidade representa 72,30% das manifestações patológicas apontadas pelos moradores.

Um estudo feito no IPT em edificações habitacionais (casas térreas e apartamentos) verificou que a maior parte das manifestações de umidade observadas foi devido à infiltração, independentemente da idade da construção (IOSHIMOTO, 1988). Segundo Perez (1988), estudos feitos no IPT e em institutos de pesquisas de outros países mostram que, dentre os problemas de umidade, as infiltrações aparecem com uma frequência de 60% a 70% e se originam principalmente nas fachadas (janelas, portas e paredes).

O problema de umidade está intimamente ligado ao desempenho da edificação e a sua vida útil. É um problema que causa incômodo ao usuário e é também uma questão de saúde, já que a presença de água pode propiciar a formação de bolores. Soma-se a essa questão, a dificuldade de se tratar deste problema devido à complexidade dos fenômenos envolvidos e aos altos custos de correção.

Entre os vários fatores climáticos que participam do fenômeno da penetração de água nas edificações os mais importantes são a precipitação e o vento. Fatores construtivos tais como a forma, a rugosidade e a porosidade dos materiais, a existência ou não de frisos, os detalhes, os acabamentos e a posição de juntas de dilatação também influenciam na ação da água da chuva nas edificações.

O projeto arquitetônico pode ser utilizado como prevenção do aparecimento de manifestações patológicas devido à ação da chuva. Os materiais constituintes das fachadas, bem como a forma e os detalhes construtivos podem ser usados como aliados na prevenção da entrada de água. Entretanto, para que se possa fazer um projeto adequado, é necessário conhecer os mecanismos determinantes no comportamento das fachadas em relação ao agente (VALLEJO, 1990 *apud* PETRUTI *et al.*, 2004).

Segundo Marsh (1977), a resistência à umidade é um dos requisitos de uma longa lista de performances que o envelope do edifício precisa ter em vários níveis para garantir um ambiente interno com limites toleráveis para seus ocupantes. A correção de falhas na proteção contra a umidade, devido muitas vezes à imperícia do projetista em avaliar o problema no estágio de projeto, pode ser excessivamente custosa e difícil para o edifício finalizado. Depois da segurança estrutural, a estanqueidade é a característica mais importante que a edificação deve apresentar.

Mesmo que a chuva dirigida não seja medida, pode-se fazer seu cálculo utilizando dados de chuva e de vento através de equações que relacionam essas variáveis e que já são consagradas na literatura internacional. O conhecimento do nível de exposição à chuva dirigida de uma determinada localidade ajuda a compreender o processo de degradação das edificações e auxilia os projetistas na escolha de soluções construtivas adequadas. Segundo Bauer (1989), a infiltração de água pelas alvenarias está relacionada a dois fatores, sendo um deles a falta de avaliação do grau de exposição da parede ou agressividade do meio externo, além dos erros de concepção da parede.

De acordo com Davidson (1979), o projeto de qualquer edificação reflete as condições a que esta vai estar submetida. O bom detalhamento pode ser um fator positivo no controle de infiltração de chuva em paredes de alvenaria e o desenvolvimento do projeto de detalhamento exige o conhecimento apurado do ambiente no qual o edifício estará exposto e das propriedades dos materiais que serão utilizados na sua construção.

A análise de vento e chuva coincidentes e a tentativa de apresentar a informação graficamente é um primeiro passo a ser tomado. Com essas informações o projetista pode decidir sobre a utilização de diferentes materiais e métodos de acordo com o nível de exposição. Além

disso, a variação de exposição indicada nos gráficos de chuva dirigida pode auxiliar na avaliação da necessidade ou não de se criarem áreas protegidas para o desenvolvimento de certas atividades como espaço para jogos. A informação pode também servir de orientação para pesquisadores na determinação de condições para as quais materiais e sistemas de paredes podem ser submetidos em ensaios de chuva dirigida (ROBINSON; BAKER, 1975).

Segundo Rydock (2006), os mapas de médias anuais de chuva dirigida podem ser úteis para avaliar o risco de infiltração em fachadas e danos por umidade repetidos em construções ou materiais onde o risco de infiltração é uma função da intensidade da chuva dirigida, além de serem úteis para verificar o umedecimento médio por chuva dirigida de uma parede.

No Brasil o tema da chuva dirigida é pouco explorado. Como citado anteriormente, os trabalhos publicados no país até o momento são o de Silva e Giralt (1995) e o de Lima e Morelli (2005). As observações de vento e de chuva em geral são feitas visando a agricultura, a previsão do tempo e a segurança do vôo (SATTLER, 1991), sendo que a chuva dirigida não é uma variável medida. Por isso, há falta de parâmetros que possam orientar os projetistas na escolha dos materiais de construção e de soluções construtivas que diminuam a ação deletéria da chuva na edificação, reduzindo assim, os custos com manutenção e correção dos problemas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o nível de exposição das edificações à chuva dirigida em Florianópolis - SC.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar o comportamento da precipitação e do vento nos períodos com série de dados disponíveis.
- Indicar quais as direções de vento com chuva que mais contribuem para a deterioração das edificações.
- Avaliar o comportamento da chuva dirigida durante os meses do ano.
- Avaliar o comportamento da chuva dirigida durante as estações do ano.
- Avaliar o comportamento da chuva dirigida durante os anos que compõem os períodos em análise e entre cada período analisado.

- Indicar quais as orientações de fachadas mais críticas quanto à exposição à chuva dirigida.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho limita-se à análise em macroescala da exposição das edificações à chuva dirigida devido aos dados disponíveis. Além disso, fez-se a adoção da fórmula utilizada em trabalhos internacionais cujo coeficiente não foi verificado quanto à validade para a região de estudo, em virtude de inexistirem dados de coleta de chuva dirigida para fazer as análises apropriadas.

Além disso, considerou-se a utilização do cosseno do ângulo entre a direção do vento e a perpendicular à parede como metodologia válida.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No primeiro capítulo, é apresentada uma introdução ao tema, justificando sua importância, o objetivo geral e os específicos do presente estudo, suas delimitações e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o assunto objeto deste trabalho, no qual são apresentadas nomenclaturas, conceitos, discussão sobre a interação entre chuva dirigida e os edifícios, o estado da arte no Brasil e no mundo, assim como uma descrição do clima de Florianópolis.

No terceiro capítulo, são apresentados os dados obtidos em estações meteorológicas e utilizados para este estudo. É descrita a metodologia utilizada na análise desses dados para os cálculos dos índices de chuva dirigida livre e em paredes e a avaliação do comportamento da chuva e do vento nos períodos disponíveis e para as estações analisadas.

Os resultados obtidos neste trabalho, bem como a sua avaliação e discussão são apresentados no quarto capítulo.

Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões do presente trabalho e sugestões para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 NOMENCLATURA

Ao se traduzir o termo *driving rain* de forma literal para a língua portuguesa, obtém-se “chuva dirigida”. Na língua inglesa, tanto *driving rain* quanto *wind-driven rain* se referem à chuva carregada com vento que passa por uma superfície vertical. A nomenclatura “chuva dirigida” é adotada por Silva e Giralt (1995) e Lima e Morelli (2005). Já outros autores como Perez (1988), Sabbatini (1988) e Kazmierczak (1989) adotam a nomenclatura “chuva incidente”.

Segundo o dicionário Melhoramentos (BORBA *et al.*, 1994):

- Incidente: que incide, que sobrevêm; Incidir: Cair sobre
- Dirigir: guiar; comandar; dar direção a;

Neste trabalho escolheu-se o termo “chuva dirigida” como tradução que melhor representa o evento, pois se observando as definições dadas pelo dicionário conclui-se que toda a chuva é incidente, seja nas edificações, seja direto no chão ou em outros obstáculos. No entanto, a chuva que incide nas edificações, em especial a que sobrevêm nas paredes verticais do envelope, é necessariamente dirigida pelo vento, já que no caso de precipitação sem vento a chuva cai paralelamente às superfícies verticais e as paredes protegidas por beirais permanecem secas.

2.2 CONCEITO DE CHUVA DIRIGIDA

De acordo com Straube e Burnett (1997), a chuva dirigida pode ser definida como a quantidade de chuva que passa através de um plano vertical. De forma análoga, Karagiosis *et al.* (1997) definem chuva dirigida como sendo as gotas de chuva carregadas pelo vento com um ângulo característico quanto a um plano vertical. Van Mook (2002) restringe um pouco mais o conceito definindo chuva dirigida como sendo a chuva carregada pelo vento que é lançada de encontro ao envelope da edificação.

O ângulo com o qual a chuva atinge uma parede vertical depende da combinação da velocidade do vento com o tamanho das gotas de chuva. Quanto maior for o diâmetro da gota maior será a velocidade do vento necessária para induzir a um desvio angular em relação à vertical (MARSH, 1977).

No caso de chuva sem vento, ou seja, em uma calmaria, as gotas caem verticalmente com uma velocidade que depende do seu tamanho e no instante em que estão bem próximas do chão, considera-se que todas estejam caindo com a sua velocidade terminal (LACY, 1977).

Segundo Blocken e Carmeliet (2004), chuva dirigida é a chuva oblíqua causada pela ocorrência simultânea de vento e de chuva. Em termos de vetores, geralmente, o termo “Intensidade de chuva dirigida” se refere ao vetor de chuva oblíqua. Entretanto, no estudo da interação da chuva com as fachadas dos edifícios, há casos em que a “Intensidade de chuva dirigida” passa a ter o sentido de “a componente da intensidade de chuva que causa fluxo através de um plano vertical”. A outra componente é o vetor da intensidade de precipitação que causa fluxo de chuva através de um plano horizontal. A Figura 1 representa os vetores comentados.

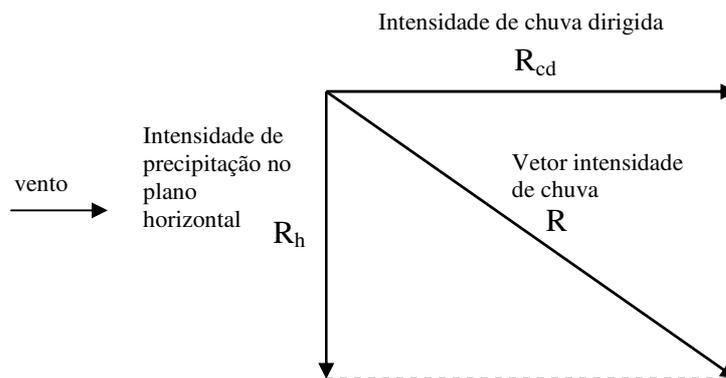


FIGURA 1 - Vetor intensidade de chuva R e suas componentes: Intensidade de chuva dirigida R_{cd} e Intensidade de precipitação no plano horizontal R_h
 Fonte: BLOCKEN; CARMELIET, 2004.

2.3 CHUVA E VENTO

A formação das precipitações está ligada à ascensão de massas de ar. Essa ascensão pode ser devido à convecção térmica, ao relevo ou também à ação frontal de massas (PINTO *et al.*, 1998). A precipitação é resultado da condensação de umidade contida na atmosfera. Para que ocorra a condensação são necessárias basicamente três condições: (a) a produção de condições de saturação, em geral através de resfriamento; (b) mecanismos que provoquem a condensação, ou seja, a transformação de vapor de água em líquido ou sólido; (c) mecanismos que provoquem o crescimento das gotículas de água ou cristais de gelo (pode ser a partir de núcleos como gelo, poeira ou outras partículas em suspensão (PINTO *et al.*, 1998)) para que se inicie a queda

(HJELMFELT JR.; CASSIDY, 1975). Segundo Gilman (1964), existe uma quarta condição que é um mecanismo que produz acumulação de umidade com intensidade o suficiente para se observar taxas de precipitação.

“A chuva é um processo estocástico, sendo descrita pela lei da aleatoriedade, ou seja, um método que descreve variáveis através de probabilidade.” (NERILO *et al.*, 2002). As medidas feitas em um pluviógrafo, por exemplo, durante uma chuva, mostram que os acréscimos não são constantes ao longo do tempo. Mesmo os acréscimos simultâneos de pluviógrafos posicionados a pequenas distâncias um do outro são diferentes. Variações também são notadas em períodos de tempo maiores como um mês ou um ano. Além disso, os totais precipitados em um determinado ano variam de um lugar para outro e até mesmo em um mesmo local as precipitações anuais são quase sempre diferentes (PINTO *et al.*, 1998).

Segundo Penwarden e Wise (1975), o vento é um dos agentes climatológicos mais importantes no projeto do ambiente construído e existem muitos efeitos ambientais relacionados ao fluxo do vento em torno dos edifícios além dos efeitos estruturais. Entre eles estão o envelhecimento, o manchamento, a infiltração da água da chuva, a perda de calor, o ruído, a poluição e os efeitos em pedestres. O fluxo de ar em torno de uma edificação depende das características do vento que o atinge, do tamanho e da forma do próprio edifício e da sua vizinhança.

Na camada limite atmosférica, que é a camada situada abaixo da *altura gradiente*¹, as características do vento dependem da topografia do terreno, da rugosidade superficial (forma, dimensões, distribuição de obstáculos naturais e artificiais) e da variação da temperatura na direção vertical. Nesta camada, os valores da velocidade do vento variam desde zero, junto à superfície da Terra, até a *velocidade gradiente*², na altura gradiente (BLESSMANN, 1995).

Quanto maior a rugosidade do terreno, maiores serão a agitação do ar, a turbulência e a altura gradiente. Por exemplo, a certa altura acima do terreno a velocidade média será menor, a intensidade da turbulência e a altura gradiente serão maiores em uma cidade do que em campo aberto (BLESSMANN, 1995).

Como já citado anteriormente, se não houver vento (em caso de tempo perfeitamente calmo), a chuva cairá verticalmente e a velocidade das gotas dependerá do tamanho das mesmas. Depois de certo tempo em queda, as gotas estarão em sua velocidade terminal. Quando existe fluxo de ar, as gotas são defletidas na direção do fluxo. Essa deflexão depende da velocidade do

¹ Altura gradiente: é a altura medida a partir da superfície da Terra na qual a velocidade do vento atinge a velocidade gradiente, geralmente entre 250 e 600m (BLESSMANN, 1995).

² Velocidade gradiente: velocidade na altura gradiente cujo vetor é paralelo às isóbaras (BLESSMANN, 1995).

vento e do tamanho das gotas. Entretanto, uma chuva é composta por gotas de tamanhos variáveis, e também podem existir grandes variações entre um evento de chuva e outro (LACY, 1977).

2.4 A CHUVA DIRIGIDA E A EDIFICAÇÃO

A estanqueidade à água da chuva é um dos parâmetros de desempenho de uma edificação. Segundo ABNT 02:136.01.004 (2002), todos os componentes das fachadas de um edifício como paredes, painéis e esquadrias devem ser estanques à água da chuva incidente ou a outras fontes, facilitando a manutenção, contribuindo para a durabilidade do mesmo e provendo aos espaços construídos da edificação proteção contra a ação da umidade. Todos os componentes devem ser projetados e construídos de forma a impedir a penetração de água da chuva incidente. Segundo Mustelier (2002), a chuva incidente é a precipitação combinada com vento que aumenta a pressão atmosférica no exterior do edifício e que assim provoca infiltração de água até mesmo por pequenos orifícios e fissuras da vedação externa.

Segundo Choi (1999), os danos causados aos edifícios assim como as perdas financeiras em consequência da água da chuva podem ser atribuídos a dois tipos de mecanismos. Um refere-se à penetração de chuva através das fachadas para o ambiente interior, que pode resultar em interrupção do trabalho, inconveniência aos usuários, danos aos bens que estão no interior da edificação e acabamentos. O outro tipo refere-se à entrada de umidade nos materiais do envoltório do edifício causando danos a eles. O primeiro processo, geralmente, tem curta duração e a degradação depende da intensidade da chuva dirigida. O segundo é de longo prazo e a degradação depende da quantidade de chuva em um determinado período.

Os danos provocados pela água da chuva no envelope do edifício atingem praticamente todos os materiais nele utilizados. Tais danos podem ser desde problemas de efeitos estéticos como o manchamento das fachadas até degradações mais profundas como a corrosão de metais ou congelamento em materiais porosos (CIRIA, 1992).

De acordo com Kazmierczak (1989), a água da chuva é responsável por muitos dos problemas existentes nas alvenarias de tijolos cujo desempenho é determinado pela quantidade de chuva incidente na mesma e pelos materiais, componentes e mão-de-obra utilizados na construção.

Além disso, a acumulação de água da chuva nas paredes externas da edificação pode provocar a diminuição da resistência térmica dos materiais que compõem estas paredes,

tornando-as mais permeáveis ao calor. Por essa razão, os dados de chuva dirigida são importantes para os estudos de problemas relacionados ao fluxo de calor nas edificações e ao consumo de energia para atingir o conforto térmico em ambientes internos (CHAND; BHARGAVA, 2002).

Sabe-se que muitos poluentes são depositados nos edifícios pela ação do vento e da chuva, e que a umidade nos materiais porosos movimentada esses poluentes e seus produtos reativos (ex: sulfato de cálcio). A água é envolvida também nos reagentes de outros tantos processos químicos como os ataques de sulfatos nas argamassas ou reações álcali-agregado (CIRIA, 1992).

Petrucci (2002) e Petrucci *et al.* (2004) apresentam estudos sobre a interação dos eventos atmosféricos e a forma construída no processo de manchamento das fachadas, nos quais os principais agentes de degradação são o vento e a chuva dirigida. Nestes dois estudos, são analisados dois edifícios vizinhos construídos na mesma época na cidade de Porto Alegre. Os autores concluem que entre os motivos para a visível diferença do manchamento externo entre os edifícios estudados está a aplicação ou não de frisos e saliências horizontais que diminuem a ação da água da chuva.

É importante observar que para ocorrer a penetração de água da chuva nos materiais são necessárias três condições: a existência de água sobre a superfície do material, de aberturas que permitam que a água entre e de forças que empurrem a água por estas aberturas. Essas forças podem ser resultantes da energia cinética das gotas, das forças capilares de sucção, das forças de gravidade e da pressão do vento (GARDEN, 1963; PEREZ, 1988; SABBATINI, 1988; KAZMIERCZAK, 1989).

A entrada de umidade pode ser provida, segundo Marsh (1977), da capacidade do material da fachada de absorver umidade, de falhas em juntas de elementos de mesmo material e de falhas de juntas de materiais diferentes. A entrada de umidade vai depender do grau de exposição ao qual o edifício vai estar submetido.

2.5 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS DE ESTUDO DE CHUVA DIRIGIDA

Segundo Blocken e Carmeliet (2004), o estudo da chuva dirigida na ciência da construção está dividido em duas partes: a quantificação das cargas de chuva dirigida e o estudo da resposta dos edifícios a estas cargas. Além disso, este estudo pode ser dividido em três partes de acordo com métodos utilizados: métodos experimentais, métodos semi-empíricos e métodos numéricos.

Os métodos experimentais consistem em medir a chuva dirigida com coletores específicos (“WDR gauges”) basicamente divididos em coletores de chuva dirigida em espaços abertos sem a influência da presença de construções ou outros obstáculos, ou coletores de chuva dirigida nos edifícios (BLOCKEN; CARMELIET, 2004). Os coletores de chuva dirigida são instrumentos essenciais para a medição da chuva dirigida pelo vento em superfícies de paredes. Os coletores usados por pesquisadores variam em tamanho, forma, material utilizado e mecanismos de registro de dados. Não são instrumentos padronizados e os resultados variam significativamente. Segundo Hogberg; Kragh e van Mook (1999), um coletor de chuva dirigida, em geral, é uma bandeja rasa fixada numa parede de uma edificação; quando as gotas batem na bandeja, elas escorrem e são coletadas por um tubo que leva a água para um reservatório ou para

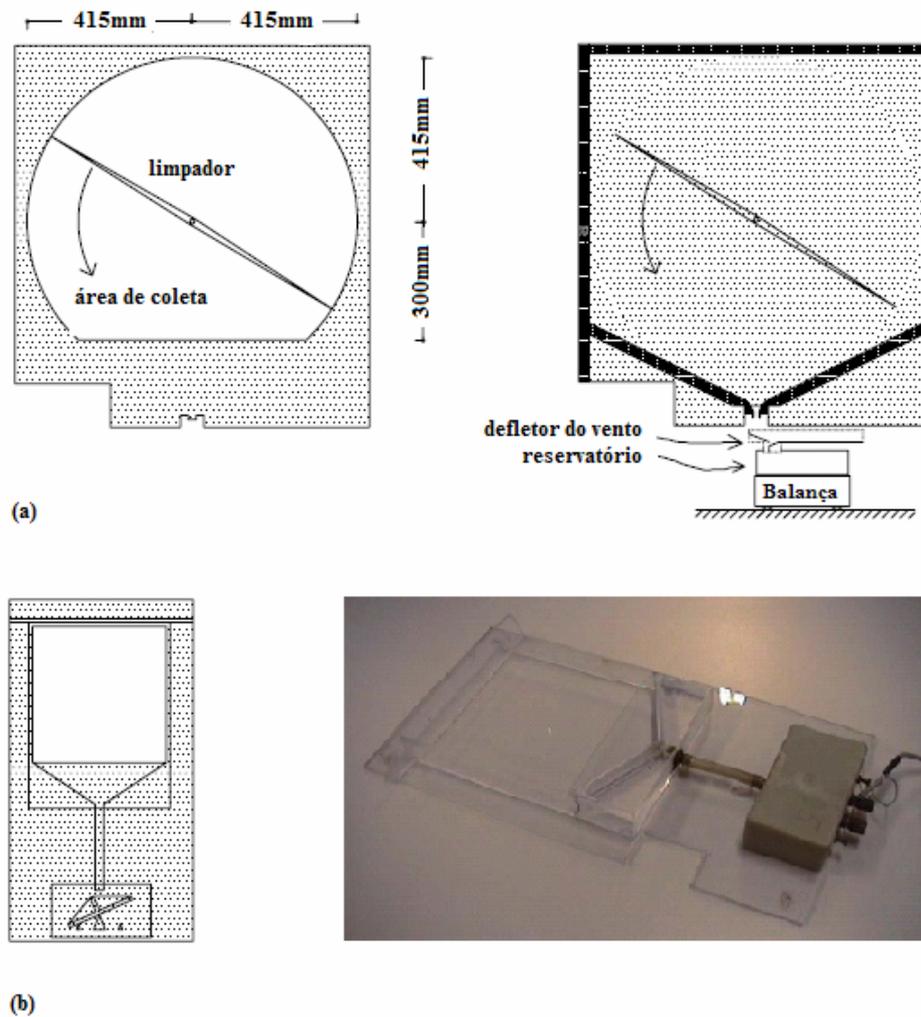


FIGURA 2 – Coletores de chuva dirigida: (a) Coletor para medir a água aderida equipado com um limpador automático. Esquerda: prato frontal com área de coleta circular ($0,492\text{m}^2$). Direita: prato aos fundos com visão interna do aparelho. (b) Coletor desenvolvido pela *Chalmers University of Technology*: área de coleta pequena ($0,032\text{m}^2$), feito em acrílico (*perspex*) com sistema de medição “*tipping bucket*”.

Fonte: van MOOK , 2002.

um medidor de fluxo. A Figura 2 apresenta dois coletores, um desenvolvido por van Mook (2002) e outro utilizado por van Mook (2002) fornecido pela *Chalmers University of Technology*.

De acordo com Blocken e Carmeliet (2004), os dados-padrões que são obtidos em estações meteorológicas geralmente não incluem a medida direta da chuva dirigida sendo medidas apenas a velocidade e a direção do vento e a precipitação acumulada horizontal.

A necessidade de saber qual o nível de exposição das fachadas à chuva que incide nas mesmas levou muitos pesquisadores a estudar maneiras de estabelecer relações semi-empíricas entre os dados de vento e de precipitação. Hoppestad apresentou em 1955 duas relações nas quais se baseia a grande maioria dos métodos semi-empíricos existentes: o Índice de Chuva Dirigida - ICD (*Driving Rain Index - DRI*) e a Relação Chuva Dirigida (*Driving Rain Relationship*) (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

O estudo por meio de métodos experimentais e semi-empíricos revelou a complexidade do problema da chuva dirigida. A dificuldade de analisar os efeitos deste fenômeno levou muitos pesquisadores a fazer simulações computacionais para a melhor compreensão de todo o processo e dos efeitos da chuva dirigida pelo vento sobre as edificações e outras obstruções. Essas simulações e análises computacionais constituem os métodos numéricos (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

A respeito das simulações, segundo Straube e Burnett (2000), os métodos computacionais (CFD – *computational fluid dynamics*) e modelos de túnel de vento consomem bastante tempo e projetam-se especificamente para uso prático no desenvolvimento de chuva para modelos higrétricos computacionais.

2.5.1 Índice de chuva dirigida

Como visto anteriormente, Hoppestad foi quem iniciou o estudo do índice de Chuva Dirigida, e durante os anos 60, o CIB (*Conseil International du Bâtiment*) estabeleceu o índice de chuva dirigida (ICD) como sendo o produto da quantidade de precipitação pela velocidade do vento (PEREZ, 1988).

Este índice pode ser obtido pela equação 2.1 (LACY, 1977; SABATTINI, 1988; SILVA; GIRALT, 1995):

$$ICD = V \cdot \frac{P}{1000} \quad [2.1]$$

Onde,

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

V = velocidade média anual do vento (m/s , medida a 10m de altura);

P = total de precipitação anual (mm).

Quando o ICD é calculado a partir das médias anuais de vento e precipitação acumulada anual média, ele é denominado ICD anual. Pode-se também calcular o índice de chuva dirigida para cada orientação de vento e criar rosetas de ICD direcional para uma determinada localidade. Esse índice direcional facilita a visualização e a análise da influência de cada direção quanto à exposição à chuva dirigida. Pode-se ainda calcular os índices mensais para se fazer uma comparação do comportamento da chuva dirigida em cada estação do ano.

Lacy (1965 *apud* LACY, 1977) demonstrou que o valor de ICD igual a 1 m^2/s equivale a 200 l/m^2 de chuva dirigida em uma superfície vertical. Por sua vez, Henriques (1992 *apud* FAZIO *et al.*, 1995), em um estudo de quantificação de chuva dirigida, estimou que $1m^2/s = 90$ a $100 l/m^2$. Entretanto, quando se compara a exposição de um lugar com a de outro, as unidades não são tão importantes quanto os valores relativos (LACY, 1977).

Segundo Lacy (1977), o ICD anual é um método razoavelmente preciso de comparação do total acumulado de chuva dirigida em paredes de lugares diferentes e dá ao projetista a possibilidade de comparar a exposição de um lugar com outro que lhe é familiar. Entretanto, deve-se lembrar que, além da graduação infinita de exposição, existem diferenças quanto à performance das edificações relacionada às diferentes formas, materiais utilizados, tamanhos de componentes, detalhamento, estrutura e mão-de-obra.

Lacy (1972) preparou uma lista de problemas mais importantes que podem ocorrer nas edificações e das variáveis meteorológicas relacionadas a esses problemas. Os problemas foram classificados em quatro grupos: planejamento regional, projeto, processo construtivo e manutenção. O ICD é citado como critério útil para problemas relacionados à exposição das edificações à chuva em nível de planejamento regional e para alguns casos de problemas relacionados à degradação devida à absorção de água pelos materiais constituintes da fachada em nível de projeto. Além deste, outros documentos como o BS *Code of Practice* CP121: *Part 1: Brick and block masonry* (MARSH, 1977) e a BS 5262 (1976) citam o ICD como critérios de avaliação da exposição das edificações ao meio no qual estão inseridas.

2.5.2 Mapas de chuva dirigida

O primeiro mapa de chuva dirigida foi feito por Hoppestad em 1955 para a Noruega. Este mapa foi baseado nas quantidades de chuva dirigida medidas por um coletor de chuva dirigida de 4 direções e em dados de estação meteorológica (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

Baseados em índices de chuva dirigida anuais, Lacy e Shellard (1962) apresentaram mapas para o Reino Unido. Lacy (1977) adotou 3 faixas de exposição à chuva dirigida de acordo com o ICD anual obtido: local protegido para $ICD < 3$, exposição moderada para $3 < ICD < 7$ e exposição alta para $ICD > 7$ (CHAND; BHARGAVA, 2002; SILVA; GIRALT, 1995; LACY, 1977; MARSH, 1977). Os mapas podem ser vistos na Figura 3.

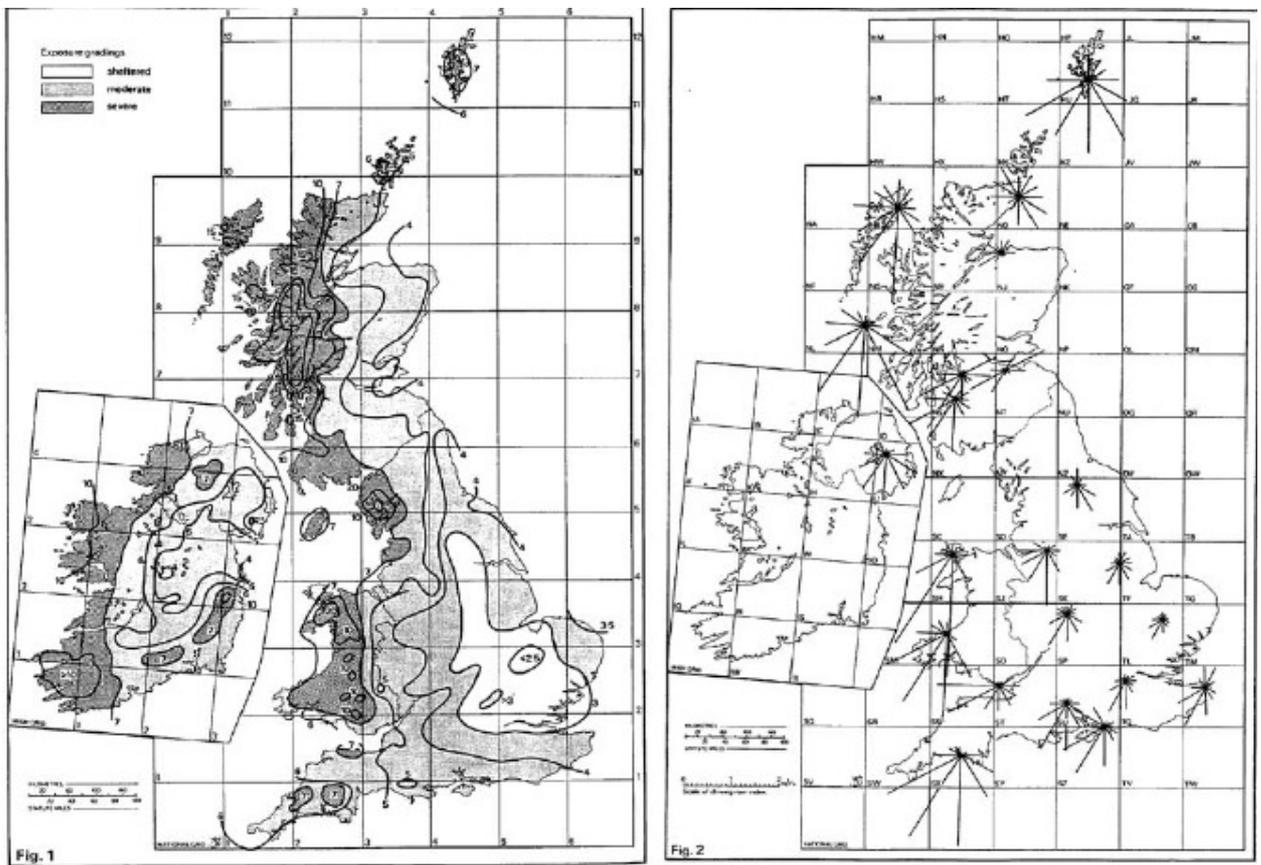


FIGURA 3 - Mapas de chuva dirigida para o Reino Unido. Esquerda: Mapa de índice de chuva dirigida anual médio com grau de exposição (branco = protegido, cinza claro = exposição moderada, cinza escuro = exposição severa). Direita: Mapa de índice de chuva dirigida direcional.

Fonte: LACY, 1971 *apud* BLOCKEN; CARMELIET, 2004.

Com base nesta mesma metodologia muitos países tiveram mapas de chuva dirigida confeccionados, como a Suécia, a Dinamarca, o Canadá, os Estados Unidos e a China (FAZIO *et al.*, 1995).

Sauer (1987) apresentou um mapa de ICD para a China utilizando dados de 108 estações meteorológicas e encontrou condições severas nas regiões costeiras ao sudoeste do país junto a Hong Kong.

Recentemente, Sahal (2006) apresentou um mapa de chuva dirigida para a Turquia utilizando a metodologia de Lacy (1965 *apud* SAHAL, 2006). Sahal (2006) montou o mapa com a proposta de definir regiões climáticas para este país baseado no ICD anual e em análises dos valores diários das temperaturas do ambiente.

Silva e Giralt (1995) calcularam o ICD anual para Porto Alegre com dados de 5 anos e de acordo com a metodologia de Lacy esta cidade está sob exposição moderada à chuva dirigida.

Chand e Bhargava (2002), ao confeccionarem um mapa de chuva dirigida para a Índia utilizando o ICD anual, propuseram uma quarta faixa de exposição além das 3 apresentadas por Lacy (1965 *apud* CHAND; BHARGAVA, 2002). Esta metodologia com as quatro faixas de exposição é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 - Faixas de exposição à chuva dirigida

<i>Faixa</i>	<i>Grau de Exposição</i>
$ICD \leq 3 \text{ m}^2/\text{s}$	local protegido
$3 < ICD \leq 7 \text{ m}^2/\text{s}$	exposição moderada
$7 < ICD \leq 11 \text{ m}^2/\text{s}$	exposição alta
$ICD > 11 \text{ m}^2/\text{s}$	exposição severa

Fonte: CHAND; BHARGAVA, 2002.

Lima e Morelli (2005), adotando a metodologia das quatro faixas de exposição, montaram um primeiro mapa de chuva dirigida para o Brasil. Este mapa é ainda experimental e foi elaborado apenas com base nos dados do ano de 2004, dados estes disponíveis na página do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. Este mapa pode ser visto na Figura 4.

Esses graus de exposição podem precisar de ajustes de acordo com as condições locais como proximidade da costa, elevação do terreno e altura da edificação. Algumas regras são recomendadas (MARSH, 1977; BRS DIGEST 127 *apud* LACY, 1977):

Para áreas onde o ICD calculado é menor que $3 \text{ m}^2/\text{s}$ e que estão distantes até 8 km do mar ou grandes estuários a exposição deve ser tida como moderada.

Áreas com ICD maior ou igual a $5 \text{ m}^2/\text{s}$ e menor que $7 \text{ m}^2/\text{s}$ e distantes até 8 km do mar ou grandes estuários devem ser classificadas como área de exposição severa (adotando-se a

metodologia complementada por Chand e Bhargava (2002) a exposição, neste caso, deverá ser classificada como alta).

Áreas protegidas ou com exposição moderada, edifícios mais altos que seus circunvizinhos, sobre encostas ou morro podem ser classificados com exposição um grau maior do que o calculado.

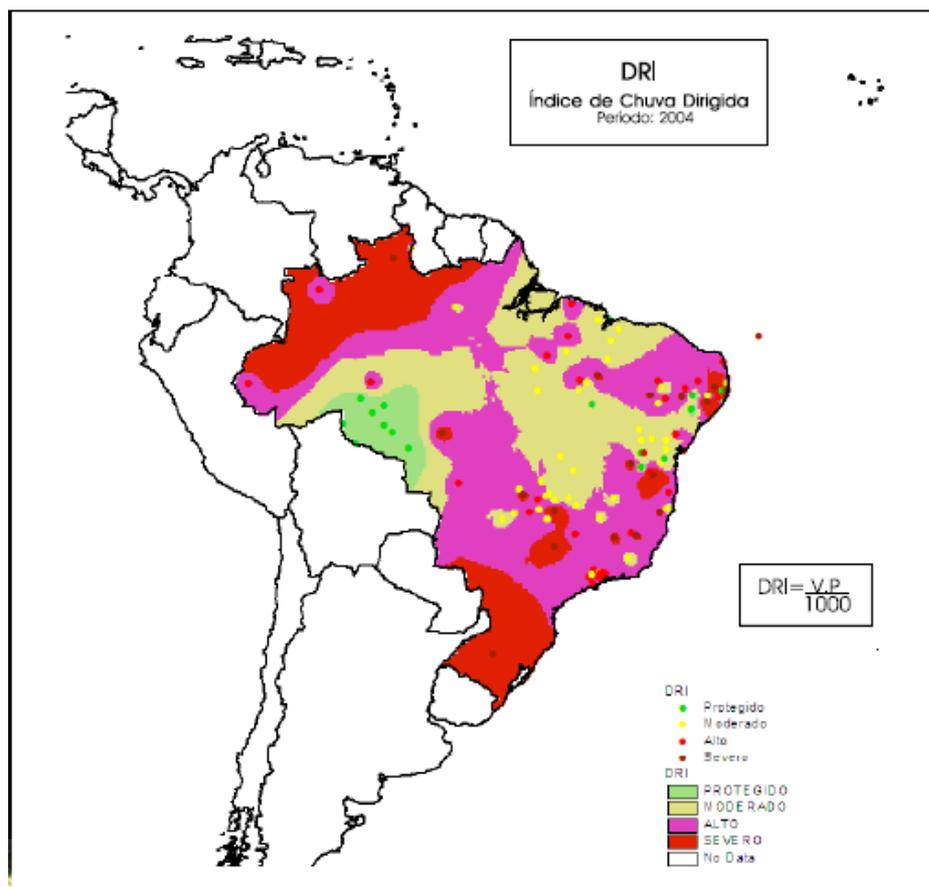


FIGURA 4 - Mapa brasileiro de chuva dirigida (verde = protegido; amarelo = exposição moderada; rosa = exposição alta; vermelho = exposição severa)

Fonte: LIMA; MORELLI, 2005.

2.5.3 Índice de chuva dirigida em paredes verticais

Lacy (1965 *apud* FAZIO *et al.*, 1995; 1977) desenvolveu uma relação entre as taxas de deposição de água da chuva em paredes verticais e em superfícies horizontais. Esta relação resultou na equação 2.2:

$$R_v = \frac{2}{9} \cdot V \cdot R_h^{8/9} \approx 0,222 \cdot V \cdot R_h^{0,88} \quad [2.2]$$

Onde,

V = velocidade do vento (m/s);

R_v e R_h = taxa de chuva em superfície vertical e horizontal respectivamente (mm/tempo);

0,222 (s/m) é o coeficiente de chuva dirigida (valor médio) resultante de relações empíricas adotadas.

Para chegar à equação 2.2, Lacy (1965; *apud* FAZIO *et al.*, 1995; 1977) empregou relações empíricas que expressam o tamanho médio das gotas como uma função da intensidade da precipitação e a velocidade final de queda das gotas. Para esta equação assume-se que a distribuição do tamanho das gotas na parede é uniforme, com gotas de tamanhos similares com velocidades finais $V_t = (1/0,222)$ m/s = 4,5 m/s que correspondem a um diâmetro de 1,2 mm. O expoente 0,88 pode ser omitido com boa aproximação (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

É importante observar que a equação 2.2 considera o fenômeno local devido à topografia e ao próprio edifício, já que assume que a quantidade de chuva dirigida passa por uma superfície vertical em uma corrente que não sofre deflexões. Para se levar em consideração os efeitos locais, o coeficiente médio de chuva dirigida da equação 2.2 (0,222) é substituído por um coeficiente α . (BLOCKEN; CARMELIET, 2004). A equação 2.3 apresenta a nova relação com o coeficiente α , que é chamado de Fator Chuva Dirigida – FCD (*Driving Rain Factor - DRF*) (STRAUBE; BURNETT, 2000).

$$R_v = \alpha \cdot V \cdot R_h \cdot \cos \theta \quad [2.3]$$

Onde,

V = velocidade do vento (m/s);

R_v e R_h = taxa de chuva em superfície vertical e horizontal respectivamente (mm/tempo);

α = Fator Chuva Dirigida (s/m);

θ = ângulo entre a direção do vento e a linha normal à parede.

Note-se que na equação 2.3 é inserido o $\cos \theta$ com o intuito de se considerar a variação da influência do vento conforme varia o ângulo de incidência do vento em relação à normal da parede.

O coeficiente α foi mensurado por vários autores e os resultados indicaram que esses coeficientes variam bastante de acordo com o tamanho do edifício e a posição da leitura na

fachada. Mesmo assim, apesar de $\alpha = 0,222$ s/m ser um coeficiente médio, a equação 2.2 tem sido bastante utilizada para calcular a quantidade de chuva dirigida nas edificações (BLOCKEN; CARMELIET, 2004). O coeficiente α , chamado de Fator Chuva Dirigida – FCD (*Driving Rain Factor - DRF*), é definido como o inverso da velocidade terminal das gotas (STRAUBE; BURNETT, 2000). A equação 2.4 apresenta a fórmula de cálculo do FCD.

$$FCD = \frac{1}{V_t} \quad [2.4]$$

Onde,

FCD = Fator de Chuva Dirigida (s/m);
 V_t = velocidade terminal da gota (m/s).

Fazio *et al.* (1995) apresentaram um estudo da exposição de paredes verticais à chuva dirigida para a região de Montreal utilizando dados horários de precipitação, direção e velocidade do vento. Para tanto, aplicaram dois modelos para quantificar a intensidade de chuva dirigida e o montante de chuva dirigida em parede vertical. O primeiro é baseado na fórmula teórica de intensidade de chuva dirigida desenvolvida por Lacy (1965 *apud* Fazio *et al.*, 1995), já descrita pela equação 2.2, considerando a influência de todos os ventos que se chocam com a parede de uma fachada com uma dada orientação, resultando na equação 2.5.

$$R_{vm\u00e9dio} = \frac{\frac{2}{9} \cdot \sum_{\theta=-90^{\circ}}^{+90^{\circ}} V_{\theta} \cdot \left(\frac{P_{h\theta}}{t_{\theta}} \right)^{\frac{8}{9}} \cdot \cos \theta}{n} \quad [2.5]$$

Onde,

$R_{vm\u00e9dio}$ = taxa ou intensidade de chuva dirigida m\u00e9dia (mm/hora);
 V_{θ} = velocidade do vento na dire\u00e7\u00e3o de θ (m/s);
 $P_{h\theta}$ = precipita\u00e7\u00e3o horizontal com vento na dire\u00e7\u00e3o de θ (mm);
 t_{θ} = n\u00famero de horas de chuva e vento na dire\u00e7\u00e3o de θ simult\u00e2neos (h);
 θ = \u00e2ngulo entre a dire\u00e7\u00e3o do vento e a linha normal \u00e0 parede ($-90^{\circ} \leq \theta \leq +90^{\circ}$);
 n = n\u00famero de dire\u00e7\u00f5es consideradas num per\u00edodo de tempo.

O montante total de chuva dirigida em uma superf\u00edcie vertical pode ser calculada pela equa\u00e7\u00e3o 2.6.

$$P_{vTotal} = \frac{2}{9} \cdot \sum_{\theta=-90^{\circ}}^{+90^{\circ}} V_{\theta} \cdot \left(\frac{P_{h\theta}}{t_{\theta}} \right)^{\frac{8}{9}} \cdot \cos \theta \cdot t_{\theta} \quad [2.6]$$

Onde,

P_{vTotal} = velocidade do vento na direção de θ (m/s);

V_{θ} = velocidade do vento na direção de θ (m/s);

$P_{h\theta}$ = precipitação horizontal com vento na direção de θ (mm);

t_{θ} = número de horas de chuva e vento na direção de θ simultâneos (h);

θ = ângulo entre a direção do vento e a linha normal à parede ($-90^{\circ} \leq \theta \leq +90^{\circ}$).

A intensidade máxima de chuva dirigida numa superfície vertical pode ser mensurada pela equação 2.7.

$$R_{vmédio} = MAX \left\{ \frac{2}{9} \cdot V_{\theta} \cdot \left(\frac{P_{h\theta}}{t_{\theta}} \right)^{\frac{8}{9}} \cdot \cos \theta \right\} \quad [2.7]$$

Onde,

$R_{vmédio}$ = taxa ou intensidade de chuva dirigida média (mm/hora);

V_{θ} = velocidade do vento na direção de θ (m/s);

$P_{h\theta}$ = precipitação horizontal com vento na direção de θ (mm);

t_{θ} = número de horas de chuva e vento na direção de θ simultâneos (h);

θ = ângulo entre a direção do vento e a linha normal à parede ($-90^{\circ} \leq \theta \leq +90^{\circ}$).

O segundo método baseia-se na relação empírica desenvolvida por Henriques (1992 *apud* Fazio *et al.*, 1995) para o cálculo do montante de chuva dirigida que considera que $1\text{m}^2/\text{s} = 90$ a 100 l/m^2 . A equação 2.8 apresenta a relação aplicada por Fazio *et al.* (1995).

$$P_{vTotal} = 100 \cdot \sum_{\theta=-90^{\circ}}^{+90^{\circ}} V_{\theta} \cdot P_{h\theta} \cdot \cos \theta \quad [2.8]$$

Onde,

P_{vTotal} = velocidade do vento na direção de θ (m/s);

V_{θ} = velocidade do vento na direção de θ (m/s);

$P_{h\theta}$ = precipitação horizontal com vento na direção de θ (mm);

t_{θ} = número de horas de chuva e vento na direção de θ simultâneos (h);

θ = ângulo entre a direção do vento e a linha normal à parede ($-90^{\circ} \leq \theta \leq +90^{\circ}$).

Como a taxa ou intensidade de chuva dirigida pode ser expressa como a precipitação acumulada pelo tempo, a intensidade média pode ser calculada pela equação 2.9.

$$R_{\text{vmédio}} = \frac{P_{v\text{Total}}}{\sum_{\theta=-90^{\circ}}^{+90^{\circ}} t_{\theta}} \quad [2.9]$$

Onde,

$R_{\text{vmédio}}$ = taxa ou intensidade de chuva dirigida média (mm/hora);

$P_{v\text{Total}}$ = velocidade do vento na direção de θ (m/s);

t_{θ} = número de horas de chuva e vento na direção de θ simultâneos (h);

θ = ângulo entre a direção do vento e a linha normal à parede ($-90^{\circ} \leq \theta \leq +90^{\circ}$).

Zhu *et al.* (1995b) continuaram o estudo de Fazio *et al.* (1995) com a quantificação da exposição de paredes verticais à chuva dirigida aplicando o primeiro método, baseado na relação de Lacy (1965 *apud* Fazio *et al.*, 1995), para várias cidades canadenses. A Figura 5 mostra uma representação da orientação de uma parede vertical e da direção do vento.

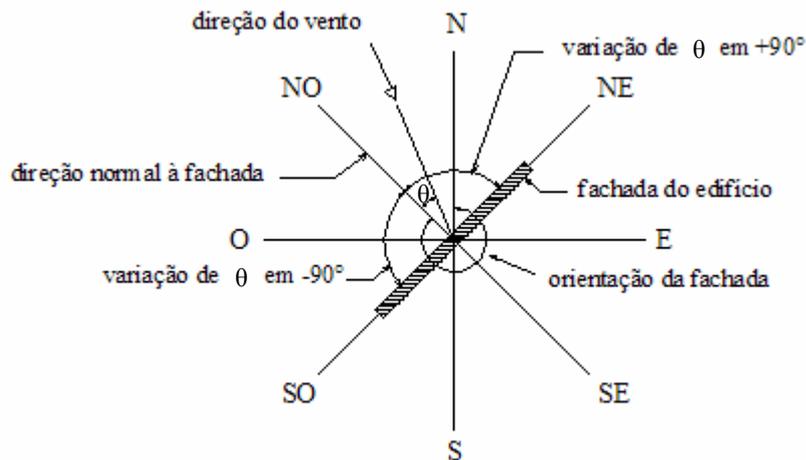


FIGURA 5 - Orientação da fachada do edifício e da direção do vento
Fonte: ZHU *et al.*, 1995b.

Zhu *et al.* (1995a) estudaram a influência do tipo de terreno no entorno das edificações aplicando um coeficiente direcional de atenuação C_{ϕ} na equação 2.3 resultando na equação 2.10 para mensurar o ICD em uma região urbana utilizando dados de uma estação meteorológica suburbana. A Figura 6 apresenta alguns valores de C_{ϕ} sugeridos para alguns tipos de terreno.

$$DRI_{\phi(urbano)} = C_{\phi} \sum_{\theta=-90^{\circ}}^{+90^{\circ}} R_m \cdot V_{m\theta} \cdot \cos \theta \quad [2.10]$$

Onde,

$DRI_{\phi(urbano)}$ = índice de chuva dirigida em local urbanizado (m²/s);

C_{ϕ} = coeficiente direcional de atenuação;

$R_{m\theta}$ = intensidade de precipitação na estação meteorológica enquanto a direção do vento é θ (mm/h);

$V_{m\theta}$ = velocidade do vento na direção de θ durante a chuva na estação meteorológica (m/s);

θ = ângulo entre a direção do vento e a linha normal à parede ($-90^{\circ} \leq \theta \leq +90^{\circ}$).

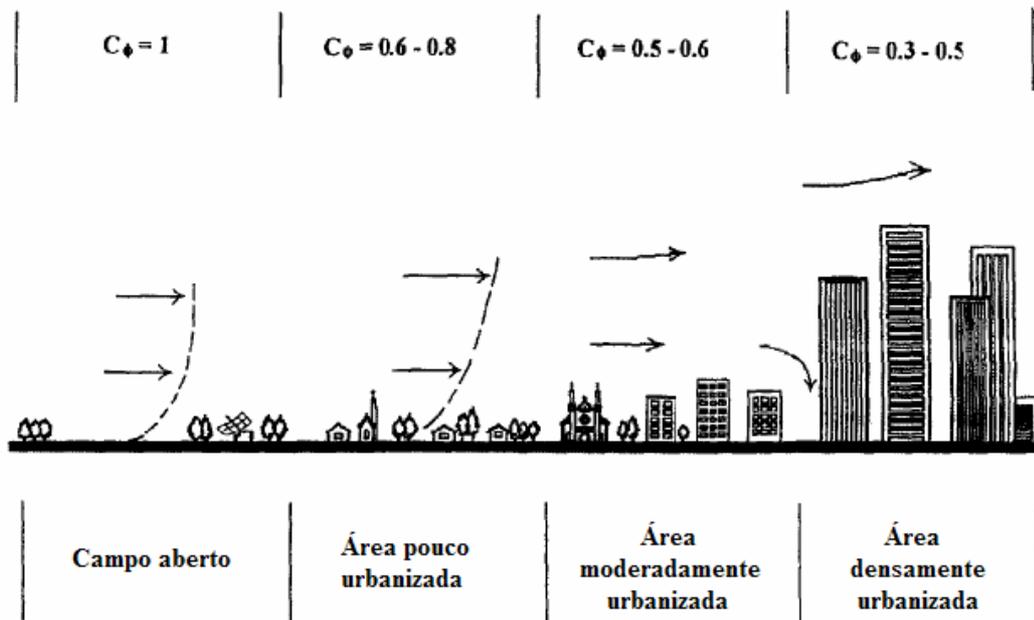


FIGURA 6 – Valores sugeridos para C_{ϕ} para variados tipos de terreno

Fonte: ZHU *et al.*, 1995a.

Rydock *et al.* (2005), em um estudo sobre a exposição das edificações à chuva dirigida para a Noruega, utilizou a equação 2.11 para calcular a quantidade acumulada de chuva dirigida em parede vertical com dados de observações sinóticas.

$$I_0 = 0,206 \cdot \sum_{D=\beta-80^{\circ}}^{\beta+80^{\circ}} R_D \cdot V_D \cdot \cos(D - \beta) \quad [2.11]$$

Onde,

I_o = montante de chuva dirigida em parede vertical (mm/ano);
 V_D = velocidade anual média do vento para a direção D (m/s);
 R_D = precipitação anual média para a direção D (mm);
 D = direção do vento (graus a partir do norte);
 β = ângulo entre o N e a direção normal à parede.

O fator de conversão 0,206 foi determinado por Lacy (1965 *apud* RYDOCK *et al.*, 2005) em um estudo de 75 eventos de chuva para um período de 16 anos no qual 1 m²/s (1 ICD) corresponde a 0,206 m ou 206 mm de chuva dirigida em uma parede vertical (RYDOCK *et al.*, 2005). Em contato por e-mail, o autor principal do artigo justificou o uso do fator 0,206 por Rydock *et al.* por ser um fator calculado por meio de um valor médio para uma série de eventos de tempestades (que duram de diversas horas a diversos dias), enquanto o fator 0,222 está relacionado especificamente a dados de vento e totais de chuva horários.

Como Rydock *et al.* (2005) utilizaram neste estudo dados que continham direções de vento medidas a cada 10°, o cálculo do I_o incluiu um somatório para todas as direções D que representam vento incidindo na parede incluídos no setor $\beta - 80^\circ$ a $\beta + 80^\circ$. Além disso, os autores omitiram o expoente 8/9 do termo R_D , pois, segundo eles, este não se mostrou válido para o cálculo com dados não horários.

Observa-se que as equações anteriores não levam em consideração o efeito do próprio edifício nas linhas de fluxo da chuva dirigida. Straube e Burnett (1997; 2000) apresentaram uma aproximação simples que insere um fator linear chamado Fator de Admitância de Chuva –FAC (*Rain Admittance Factor – RAF*) no cálculo da chuva dirigida. Neste estudo, o autor cita muitos outros autores que já mensuraram o FAC e sugere alguns valores de acordo com o edifício (altura/largura <<1; altura/largura >>1; edificações simples, sendo que os valores geralmente são menores do que 1, sendo em alguns casos maiores do que 1 apenas nos cantos superiores dos edifícios. Com o FAC o cálculo da chuva dirigida em um superfície da edificação é calculada através da equação 2.12:

$$R_{bv} = FAC \cdot FCD \cdot \cos(\theta) \cdot V_h \cdot R_h = FAC \cdot \cos(\theta) \cdot R_v \quad [2.12]$$

Onde,

R_{bv} = taxa de deposição de chuva numa superfície vertical do edifício (l/m²/h);
 V_h = velocidade do vento na altura de interesse h ;
 θ = ângulo entre a normal da parede e a direção do vento;
FAC = função de admitância da chuva, $FAC = R_{bv} / (\cos(\theta) \cdot R_v)$;

Recentemente, Blocken e Carmeliet (2006) fizeram uma investigação sobre a validade da aplicação do cosseno para levar em conta a variação da direção do vento no cálculo das intensidades de chuva dirigida e dos índices em parede vertical. Para tanto, aplicaram um método de simulação baseado no *Computational Fluid Dynamics* (CFD) em um modelo de edifício cúbico e chegaram à conclusão de que a projeção do cosseno é inválida e pode gerar erros significativos. Como a proposta deste artigo foi limitada em analisar a validade da aplicação do cosseno, os autores não apresentaram uma solução simplificada que considere a variação da incidência do vento na parede, como é a relação semi-empírica proposta por Lacy (utilizada até então por pesquisadores do mundo todo).

2.6 NORMAS RELACIONADAS COM O TEMA

A primeira norma disponibilizada na literatura internacional sobre o assunto, tratando do estudo da chuva dirigida é a BS 8104/92. Esta norma relaciona a quantidade de chuva que escorre por uma fachada como sendo proporcional à quantidade de chuva que cai em uma superfície horizontal e à velocidade do vento local como proposto pelo relatório do *Building Research Environment, Driving Rain Index* de 1976. Nela são apresentados mapas com índice de chuva dirigida anual para o Reino Unido preparados com dados de precipitação e de vento de 33 anos referentes ao período de 1959 a 1991. Esta norma dá recomendações para a utilização de dois métodos de avaliação da exposição de paredes à chuva dirigida que são o método do “pior período” local e o método do índice anual local. O primeiro método é uma medida da ocorrência de períodos de chuva de duração de várias horas ou dias, e pode ser utilizado nos casos de análise da resistência de uma parede à penetração de chuva. O segundo é uma medida da quantidade total de chuva dirigida em um ano e pode ser usado na análise de umidade média retida pelos materiais expostos do edifício. A norma ainda apresenta fatores de correção que levam em consideração a rugosidade do terreno, a topografia, a proteção local e as características do próprio edifício a ser estudado e apresenta um apêndice com exemplos de aplicação dos mapas de chuva dirigida e dos coeficientes citados (BRITISH, 1992).

No momento, está disponível na Europa como projeto de norma a ISO 15927-3. Neste projeto constam dois métodos de cálculo do índice de chuva dirigida em parede vertical utilizando dados de precipitação e de vento e define o índice de chuva dirigida nas paredes como sendo a medida de chuva que se choca contra uma parede vertical. O primeiro método é baseado na experiência da Grã-Bretanha e requer dados médios horários de velocidade e direção do vento

e de medidas horárias de precipitação para um período de pelo menos 10 anos, mas preferencialmente de 20 a 30 anos. O segundo método utiliza a classificação das condições do tempo de uma localidade (períodos de 12 horas) como úmidas, secas ou neutras. Para ser classificado como úmido, seco ou neutro o período deve ter características definidas no documento e recebe um valor de acordo com a classificação (úmido = 1, seco = -1 e neutro = 0). O índice é calculado a partir desses valores (RYDOCK *et al.*, 2005).

No Brasil, não existe ainda uma norma que trate do cálculo do índice de chuva dirigida ou da quantidade de chuva acumulada em superfícies verticais. A única norma nacional que apresenta aspectos relativos é a norma que trata das características dos ventos brasileiros e apresenta o mapa das isopletas do vento (ABNT, 1988), mapa este desenvolvido por Padaratz (1977).

2.7 ESCALAS DE CLIMA NOS ESTUDOS RELACIONADOS AO AMBIENTE CONSTRUÍDO

O ambiente meteorológico para um certo lugar ou edificação é resultado dos processos físicos que atuam em diferentes escalas. A circulação geral da atmosfera e os aspectos geográficos de larga escala para cada continente ou país formam as condições básicas que sofrem variações em tempo e espaço devido a fatores regionais ou locais, naturais ou artificiais (LACY, 1972).

Para se relacionar degradação do ambiente construído com os agentes climáticos é necessário considerar como os estudos serão desenvolvidos. De acordo com Lima e Morelli (2003 *apud* LIMA; MORELLI, 2005) o clima, é classificado quanto a sua proximidade com a edificação, sendo que a nomenclatura das dimensões do clima diverge um pouco entre os pesquisadores. Na Tabela 2 são apresentadas as escalas de clima conforme essas classificações.

TABELA 2 - Escalas de clima

<i>Clima</i>	<i>Extensão Horizontal</i>	<i>Extensão Vertical</i>
Macroclima ou Clima Regional	1 – 200 km	1 m – 100 km
Mesoclima ou Clima Local	100 m – 10 km	0,1 m – 1 km
Microclima ou clima no entorno da edificação	0,01 m – 100 m	0,01 m – 10 m

Fonte: DURACRETE, 1999 *apud* LIMA; MORELLI, 2005.

Segundo Lacy (1979), os dados meteorológicos básicos no macroclima (que inclui a escala regional) são coletados por médias, devido a sua extensão. Por outro lado, o clima local se refere à escala de grandes cidades e conglomerados de edifícios e o microclima se refere ao entorno ou o interior dos edifícios.

2.8 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DA REGIÃO DE FLORIANÓPOLIS

A região de Florianópolis se localiza-se no litoral catarinense. Segundo Dias e Hermann (2002), essa área possui um clima do tipo subtropical úmido. As amplitudes térmicas anuais oscilam entre 8 e 10°C. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano e apresenta valores médios de 1.500 mm/ano. Apesar das chuvas serem bem distribuídas entre as estações do ano há uma maior concentração das mesmas no verão.

De acordo com Nimer (1990 *apud* MARCELINO, 2003) o Oceano Atlântico atua como uma condicionante climática, pois proporciona evaporação intensa, favorece a condensação e intensifica os sistemas produtores de chuva como frentes frias e outros sistemas instáveis. Além disso, a influência do relevo que barra os ventos oceânicos nas regiões de serras litorâneas e das encostas das serras do mar, em geral, determina a pluviosidade intensa nestas regiões (GAPLAN, 1986).

Segundo Goulart (1993), os ventos mais frequentes durante todo o ano são os de direção Norte e seguidos pelos de direção Sul. Os ventos mais fortes (acima de 9m/s) aparecem em uma frequência maior para a direção Sul. Entretanto, segundo Monteiro e Furtado (1995), os ventos mais frequentes em Florianópolis são os de direção nordeste.

Na formação do clima, diversos fatores atuam em conjunto: fatores geográficos como o relevo, a maritimidade e continentalidade e as massas de ar com seus sistemas atmosféricos. O clima de Florianópolis é formado pela maritimidade, pelo relevo da Ilha e do continente próximo, pelas massas polares e tropicais e pelos diversos sistemas, entre eles a frente fria (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

No verão, a Massa Tropical Atlântica (mTa) tem forte atuação sobre a Região Sul do Brasil. Seu centro de ação constituído pelo Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul localizado nas proximidades da latitude de 20°S, no litoral da Região Sudeste origina ventos, geralmente fracos, que fluem de Nordeste em Florianópolis, ocasiona dias agradáveis, com poucas nuvens, elevada umidade relativa durante todo o dia, com temperaturas diárias máximas que podem chegar a

30°C e mínimas a 22°C. Às vezes, pode-se formar nebulosidade sobre as encostas trazendo chuvas do tipo pancadas devido ao aquecimento (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

Outra massa atuante no verão é a Massa Equatorial Continental (mEc) que se desloca do norte da Amazônia passando pelas regiões Centro-Oeste, Sudeste e chegando aos estados do Sul. Esta massa traz grande umidade no ar, forma nebulosidade de aspecto sombrio que flui de noroeste para sudeste com fortes temporais acompanhados de trovoadas, chuva intensa e rajadas de vento de noroeste. Esse tipo de tempo é de curta duração, ocorrendo, geralmente, entre 14 e 17 horas (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

No Outono, ocorrem bloqueios atmosféricos freqüentes que impedem a passagem das frentes sobre o Estado de Santa Catarina. Esta é uma estação que possui, em geral, períodos de tempo bom e sem a ocorrência de chuva. No entanto, como em qualquer estação, podem ocorrer eventos extremos que ocasionam chuvas intensas (MONTEIRO, 2001).

O inverno é caracterizado por uma regularidade frontal que se desloca de SW para NE que cruza o sul brasileiro. Nesta estação os ventos que ocorrem acompanhados de chuva em Florianópolis são geralmente os ventos S/SE e E. Os ventos S/SE são ventos frios, fortes, úmidos, acompanhados de precipitação leve, e são originados quando o Anticiclone Polar cruza os Andes mais a Sul (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

O período de transição da dinâmica de inverno para verão inicia-se a partir de agosto, quando ainda se tem alguma influência das frentes que vêm do sul. Em setembro e outubro, as chuvas ficam mais volumosas em relação ao inverno devido à atuação de frentes frias e de complexos convectivos de mesoescala. Porém, entre a segunda quinzena de novembro e a primeira de dezembro, o ar fica muito estável e é comum a ocorrência de pequenas estiagens (MONTEIRO, 2001).

Ao longo do litoral sul do Brasil, especialmente de Porto Alegre a Joinville, é comum a ocorrência de chuva devido à circulação marítima (MONTEIRO, 2001 e 2007). Segundo essas fontes, os ventos úmidos (SE a E) soprados de alto mar para o litoral aumentam a nebulosidade e provocam chuva que se caracteriza como persistente ou contínua, conhecida como “lestada”. Esse tipo de tempo pode ocorrer em qualquer época do ano, mas tende a ser mais freqüente no inverno (MONTEIRO, 2001).

2.9 CONCLUSÃO DA REVISÃO DE LITERATURA

A parte inicial desse capítulo discorreu sobre a nomenclatura utilizada pelos autores brasileiros para os eventos de chuva carregada pelo vento que passa por uma superfície vertical e apresentou “chuva dirigida” como o termo adotado no presente trabalho.

Em seguida, tratou-se do conceito de chuva dirigida e das características do vento e da chuva. Entendeu-se que a chuva dirigida, sendo um evento resultante da combinação dos fenômenos chuva e vento, tem suas características ligadas às características desses dois fenômenos e seu comportamento é função dos fatores que influenciam no comportamento destes mesmos fenômenos.

Tratou-se, ainda, sobre a importância da água da chuva nos danos provocados pela água no envelope das edificações, destacando que a extensão desses danos depende da quantidade de água, da força com que ela atinge as paredes e os outros elementos das fachadas dos edifícios e das características dos materiais e dos elementos das fachadas.

Na revisão do estado da arte, verificou-se que o estudo sobre a chuva dirigida está dividido em três métodos de estudos: os experimentais, os semi-empíricos e os numéricos. Os estudos sobre o tema tiveram início na metade do século XIX, e a maioria dos estudos semi-empíricos baseiam-se na relação das taxas de deposição da chuva em paredes verticais e em superfícies horizontais desenvolvida por Lacy (1965 *apud* Fazio *et al.*). A partir dessa relação, diversos autores recalcularam o coeficiente de chuva dirigida para suas áreas de estudo ou inseriram novos coeficientes no intuito de obter resultados mais precisos. Hoje, as pesquisas estão bastante avançadas no mundo, com obtenção de dados de chuva livre direcional e de chuva dirigida em paredes e com muitos estudos de simulação computacional. No Brasil, atualmente, os trabalhos existentes são os de Silva e Giralt (1995) e de Lima e Morelli (2005).

Apesar do grande número de trabalhos publicados sobre o assunto em diversos países, existem disponíveis na literatura apenas duas normas que contemplam o cálculo de chuva dirigida para aplicação em projetos: a BS 8104/92 e a pré-norma ISO 15975-3, sendo que no Brasil não existe norma específica sobre chuva dirigida.

Ao final do capítulo, tem-se uma revisão sobre o clima de Florianópolis-SC. Em Florianópolis, o clima é considerado do tipo subtropical úmido com valores médios de precipitação de 1500mm/ano e com maior concentração de precipitação pluviométrica no verão. Os ventos predominantes são os de direção N, NE e S, sendo os mais frequentes os de direção S quando os ventos possuem velocidades acima de 9 m/s.

Tendo em vista a importância da ação da chuva dirigida para a durabilidade das fachadas e para o desempenho térmico das edificações, além do número reduzido de estudos publicados no Brasil, apresenta-se, nos próximos capítulos, um método de análise da exposição de edificações à chuva dirigida aplicando-se dados de precipitação e de velocidade e direção do vento obtidos na região de Florianópolis nas equações do índice de chuva dirigida livre e do índice de chuva dirigida em parede vertical.

3 DADOS E MÉTODO

Neste capítulo, serão descritos a área de estudo deste trabalho, os dados utilizados e a metodologia aplicada na análise destes dados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Para fins do presente trabalho, delimitou-se como área de estudo a região do litoral de Florianópolis apresentada pelo Atlas Climatológico Digital do Estado de Santa Catarina (PANDOLFO *et al.*, 2002) abrangida pelas estações meteorológicas cujos dados foram utilizados na avaliação da chuva dirigida. A região do litoral de Florianópolis apresentada pelo Atlas Climatológico Digital do Estado de Santa Catarina, definida segundo a classificação de Braga e Ghellere (1999) *apud* Pandolfo *et al.* (2002), pode ser vista na Figura 7.

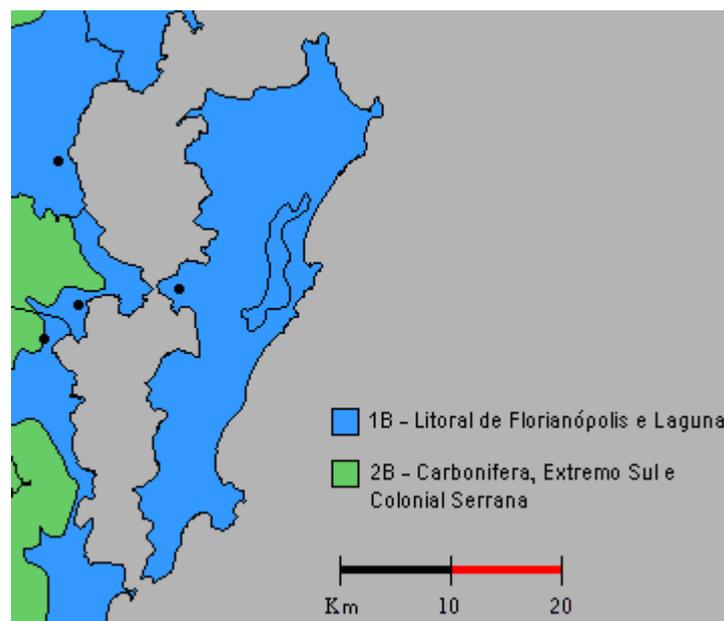


FIGURA 7 – Classificação Climática Braga e Ghellere (1999), azul = 1B – Litoral de Florianópolis e Laguna; verde = 2B – Carbonífera, Extremo Sul e Colonial Serrana
 FONTE: Atlas Digital de Santa Catarina (PANDOLFO *et al.*, 2002)

As localizações das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho e as respectivas áreas de cobertura são apresentadas pela Figura 8. A área de cobertura de cada estação é de até 20 km de raio, de acordo com informação obtida junto à EPAGRI. A área assim definida é formada pela cidade de Florianópolis (parte insular e parte continental), a ilha de Santa Catarina com exceção de uma porção ao norte e parte dos municípios de Biguaçu, São José e Palhoça.

Diferenças significativas podem existir em alguns pontos dentro da área de estudo devido à topografia (proteção dos morros distribuídos ao longo da ilha), à presença ou não de vegetação e ao tipo e densidade de urbanização.

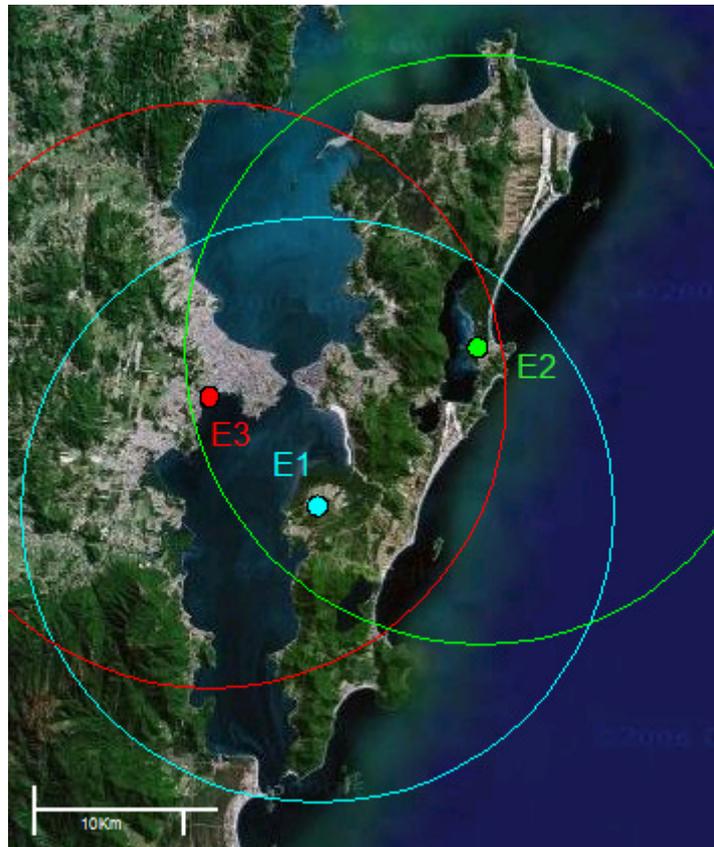


FIGURA 8 – Localização das estações meteorológicas (E1-Estação Aeroporto Hercílio Luz; E2-Estação Barra da Lagoa - LAHIMAR; E3-Estação São José – EPAGRI/INMET) e suas áreas de cobertura (20km de raio)

FONTE: <http://maps.google.com/>, acesso em: janeiro/2007.

O Aeroporto Hercílio Luz localiza-se em uma área plana no distrito de Carianos na parte sul da Ilha de Santa Catarina. Carianos possui ocupação praticamente horizontal, com construções de 1 a 2 pavimentos. Outros bairros vizinhos, mas separados do aeroporto por vegetação, são o Campeche a leste e o Tapera a sudoeste, ambos compostos de edificações de 1 a 2 pavimentos. Quanto à vegetação, o entorno do aeroporto é composto por paisagens de restinga, árvores de pequeno porte, alagados e mangue (Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé ao norte). Uma imagem de satélite da região do Aeroporto Internacional Hercílio Luz e do distrito de Carianos pode ser vista na Figura 9.



FIGURA 9 – Aeroporto Internacional Hercílio Luz e distrito de Carianos. Ao norte está a Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé e a oeste a Baía Sul. A seta preta indica a localização da antiga torre de comando.

FONTE: Google Earth (12/04/2007 – 14:20)

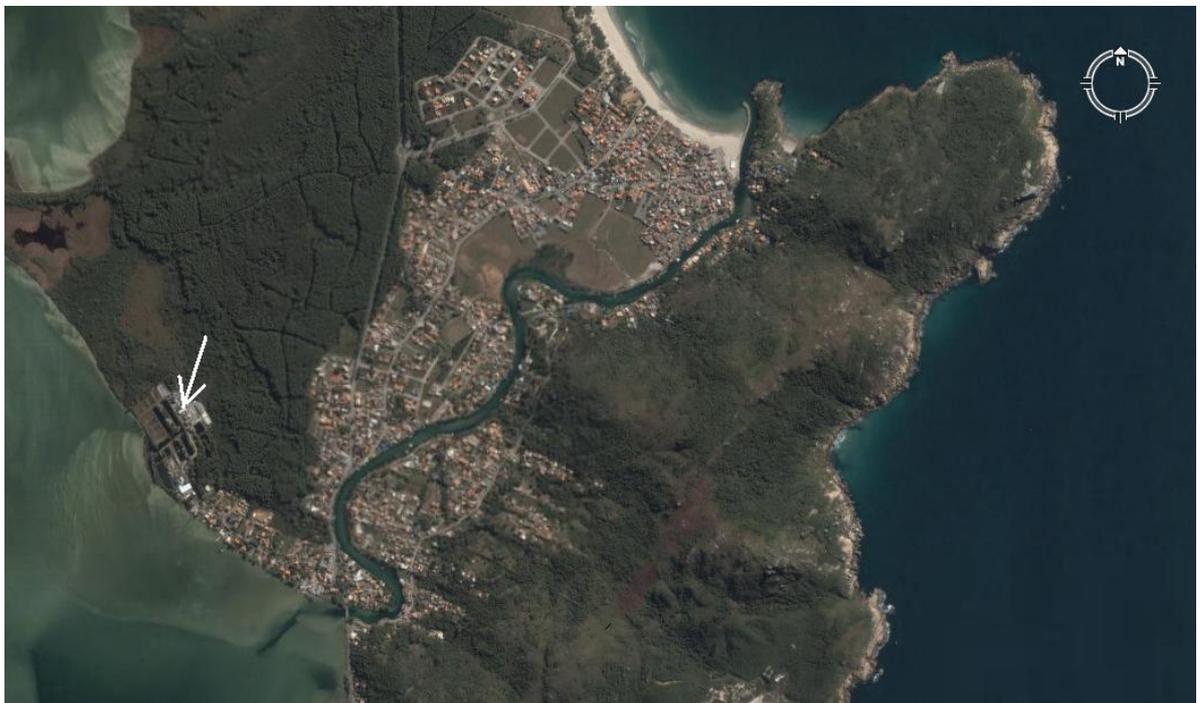


FIGURA 10 – Distrito da Barra da Lagoa. A localização da estação meteorológica do Laboratório de Hidráulica Marinha - LAHIMAR está indicada pela seta branca. À esquerda está a Lagoa da Conceição, à direita o Oceano Atlântico.

FONTE: Google Earth (12/04/2007 – 14:30)

O distrito da Barra da Lagoa, da mesma forma que Carianos, possui uma ocupação horizontal com edificações em geral de 1 a 2 pavimentos, composta por residências, casas de veraneio e comércio local. Ao norte fica o Parque Florestal do Rio Vermelho, a oeste a Lagoa da Conceição, a nordeste o Oceano Atlântico e a sudeste o morro da Galheta. A Figura 10 apresenta uma imagem de satélite do distrito da Barra da Lagoa com a indicação da localização da estação meteorológica do Laboratório de Hidráulica Marítima – LAHIMAR.

A estação de São José localiza-se no bairro Praia Comprida do município de São José em terreno do Ministério da Agricultura. Dista cerca de 250 metros da Baía Sul no sentido sudeste e 50 metros, aproximadamente, da Rua Joaquim Vaz, continuação da Rua Presidente Kennedy. Ao norte, a uma distância aproximada de 40 metros estão as instalações da Delegacia Federal da Agricultura. O bairro Praia Comprida é composto por muitas edificações de pequeno porte, alguns galpões e edifícios mais altos. A noroeste está a BR101 (em torno de 350m) e a nordeste o bairro Campinas que é mais densamente ocupado e com vários edifícios de apartamentos.



FIGURA 11 – Bairro Praia Comprida na cidade de São José. A localização da estação São José está indicada pela seta preta. Abaixo aparece a Baía Sul.

FONTE: Google Earth (12/04/2007 – 14:25).

3.2 FONTES DE DADOS

A primeira fonte de dados utilizada para análise da chuva dirigida para a região de Florianópolis - SC constitui-se dos dados da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz armazenados em CD no acervo do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Inicialmente, os dados de Florianópolis estavam contidos apenas em fitas magnéticas que foram obtidas através da ABRAVA/IBF (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento/ Instituto Brasileiro do Frio), junto ao CTA/IAE (Centro Técnico Aeroespacial/ Instituto da Aeronáutica e Espaço). Estes dados foram utilizados e tratados por GOULART (1993) e GOULART *et al.* (1998) com o objetivo de obter informações necessárias para projetos de edificações adequadas ao clima e com baixo consumo de energia para a cidade de Florianópolis - SC e mais 13 cidades brasileiras. As fitas magnéticas contêm dados horários de 17 variáveis climáticas de vinte cidades brasileiras, registrados em aeroportos.

Este trabalho trata os dados de velocidade e direção do vento e de precipitação disponíveis para o período de 1961-1970 (10 anos), registrados no Aeroporto Hercílio Luz, em Florianópolis. Os dados de precipitação foram medidos em milímetros e os registros para o período em análise foram realizados nas horas sinóticas de 00, 03, 09, 15, e 21.

Os dados de vento desta fonte (velocidade e direção) foram registrados de hora em hora. A variável velocidade do vento encontra-se expressa em nós (knots) e foi medida a uma altura de 12 m (altura do telhado da antiga torre de controle de vôo) de acordo com informação obtida junto ao Aeroporto Hercílio Luz (GOULART, 1993).

De acordo com a padronização meteorológica, a velocidade do vento deve ser medida a uma altura de 10m e em metros por segundo (m/s), sendo, por isso, necessário efetuar a correção dos dados obtidos.

Primeiro, fez-se a conversão da unidade da velocidade de nós para metros por segundo (1 nó = 0,5144 m/s) e a correção dos registros de velocidade do vento para a altura de 10m sobre o nível do solo. A correção da altura foi realizada utilizando-se a relação dada pela equação 3.1 de acordo com a norma britânica BS 5925 (LIDDAMENT,1986):

$$V/V_{10} = k \cdot z^a \quad [3.1]$$

Onde:

V = velocidade do vento na altura z;

V₁₀ = velocidade do vento a 10m de altura;

$z = 12 \text{ m};$
 $k = 0,52$ e $a = 0,20$ (para campo aberto com algumas barreiras).

Assim, obtém-se a equação 3.2:

$$V_{10} = V/0,52*12^{0,20} \quad [3.2]$$

Os valores de vento foram corrigidos hora a hora e armazenados em uma nova coluna da planilha do arquivo de dados. A direção do vento registrada nesta estação meteorológica está medida em graus, no sentido horário a partir do norte verdadeiro.

Uma observação deve ser feita quanto à estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz: a localização da estação mudou de local e instrumentação diversas vezes desde sua instalação. Primeiramente, os dados de vento eram medidos por aparelho posicionado sobre a antiga torre de comando e as outras variáveis eram medidas numa estação localizada próxima a essa torre. Com a construção da nova torre, a estação foi situada próxima desta e os dados de vento medidos de cima da nova torre. Posteriormente, foi instalada uma estação automática posicionada a 20 metros da pista de pousos e decolagens do aeroporto, do lado oposto ao terminal de passageiros do aeroporto. Ainda, está prevista a substituição da estação atual por uma mais moderna no mesmo local em que esta se encontra no momento. Infelizmente não foi possível obter fotos da estação que funcionava no período de 1961-1970, nem mesmo obter informações sobre os instrumentos utilizados em cada estação ou datas das substituições. Na Figura 12 pode-se observar a antiga torre de comando desativada e na Figura 13 pode-se visualizar a atual estação meteorológica deste aeroporto.

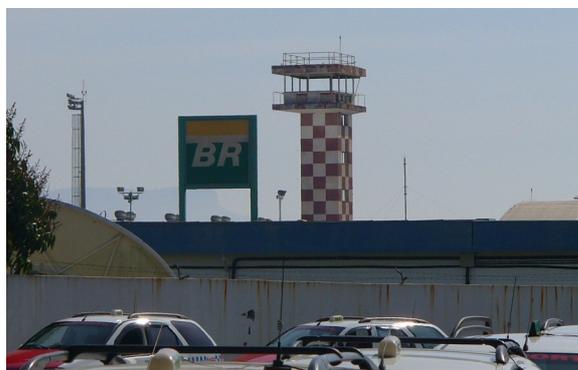


FIGURA 12 – Antiga torre de comando do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, foto tirada em 17/07/2007.



FIGURA 13 – Atual estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, foto tirada do terminal de passageiros do aeroporto em 17/07/2007.

Outra base para a pesquisa são os dados obtidos através do *National Climatic Data Center* (NCDC) também medidos na estação do Aeroporto Internacional Hercílio Luz. Esta base disponibilizou arquivos climáticos de 1982 a 1997 com dados horários de 27 variáveis climáticas. Desta base, foram utilizados os dados de velocidade do vento, anotados em décimos de m/s (0,1m/s), e de direção do vento, anotados em graus (10 em 10 graus). Os dados de janeiro/1982 a 5/fevereiro/1990 foram anotados, em sua maioria, nas horas sinóticas 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21. Entretanto, os registros apresentaram diversas falhas (lacunas em branco) e medidas em horários irregulares. A partir de 6/fevereiro/1990 até dezembro/1997 os dados passaram a ser anotados de hora em hora, observando-se também falhas nos registros ou uma medida dentro de uma mesma hora.

Estes dados foram tratados anteriormente por Carlo (2002) que constatou serem inválidos os arquivos climáticos dos anos de 1982 a 1989, pois a quantidade de linhas com dados dentro de um arquivo completo era de apenas 25%. Já os dados de 1990 a 1997, que apresentaram uma média de linhas completas de 93%, foram considerados válidos. No presente trabalho preferiu-se utilizar os arquivos que possuem mais de 90% de linhas completas, pois, como se verá mais à frente, estes dados precisarão passar por uma uniformização para serem combinados com os dados de precipitação da estação de São José. Desta forma, foram utilizados os arquivos climáticos dos anos de 1991 e 1993 a 1996, totalizando um período de 5 anos. Para possibilitar o processamento dos dados dos arquivos a serem utilizados foram feitas correções no arquivo de forma a preencher as linhas dos horários faltantes e eliminar os registros duplicados. Para o caso

das linhas de horários faltantes foi criado um programa que inseriu linhas vazias para as horas cheias que faltavam. Para o caso dos registros duplicados as correções foram feitas manualmente linha a linha seguindo as seguintes situações:

- a) Direções iguais, velocidades iguais: deixou-se apenas o registro da hora cheia.
- b) Direções iguais, velocidades diferentes: deixou-se o registro com a maior velocidade.
- c) Direções diferentes: permaneceu o registro com a hora cheia.
- d) No caso de um dos registros ser uma linha vazia ou ter falha (ausência da anotação da direção ou da velocidade) eliminou-se a falha deixando o registro com valor.

Junto à EPAGRI foram obtidos dados de vento e de precipitação pluviométrica medidos na estação de São José. Esta é uma estação convencional cujas medições são feitas apenas 3 vezes ao dia (9h, 15h e 21h). Os dados de precipitação foram registrados em milímetros (mm), a velocidade do vento em metros por segundo (m/s) e a direção do vento é dada em 8 direções (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO). Considerando-se que os dados do vento desta estação meteorológica foram medidos apenas 3 vezes por dia, optou-se por utilizar os seus dados associados aos dados de vento da estação do Aeroporto Internacional Hercílio Luz obtidos junto ao NCDC. Tal procedimento foi possível devido ao fato das duas estações se localizarem próximas uma da outra, separadas quase que unicamente pela baía sul e com condições de entorno semelhantes. Fez-se uma comparação do total precipitado em cada uma das duas estações no período de agosto de 1968 a dezembro de 1970 e obteve-se uma diferença de apenas 2,8%, o que indica uma semelhança dos dados de precipitação pluviométrica das duas estações. As localizações das duas estações são:

- Aeroporto Hercílio Luz: Latitude: 27°40`S; Longitude: 48°33`O; Altitude: 7 metros.
- Estação São José: Latitude: 27°35`S; Longitude: 48°34`O; Altitude: 2 metros.

Na FIGURA 14, pode-se visualizar o hidrômetro da estação São José, onde são aferidas as quantidades de precipitação.



FIGURA 14 – Hidrômetro da estação de São José, foto de 16/07/2007.

Obtiveram-se também os dados de precipitação, velocidade e direção do vento da estação da Barra da Lagoa do LAHIMAR – Laboratório de Hidráulica Marítima para o período compreendido entre setembro de 2005 e agosto de 2006. A estação meteorológica é do modelo Vantage Pro (Davis) e está localizada a S27°34'56" W048°26'27" SAD69. Os dados obtidos por esta estação foram aferidos a cada 30 min., menos no horário da 0h, sendo a precipitação registrada em polegadas, a velocidade do vento em milhas por hora (mph) e a direção do vento medida a 10 metros do chão e fornecida em 16 direções (N, NNE, NE, ENE, E, ESSE, SE, SSE, S, SSO, SO, OSO, O, ONO, NO, NNO). Neste caso as correções foram feitas convertendo os valores de chuva para milímetros (1 pol = 25,4 mm) e os valores de velocidade do vento para



FIGURA 15 – Estação meteorológica do LAHIMAR; Fachada do prédio do Laboratório de Camarões Marinhos – LCM – sobre o qual está instalada a estação meteorológica; vista aérea da Estação de Maricultura da Barra da Lagoa da UFSC.

metro por segundo ($1 \text{ mph} = 0,447 \text{ m/s}$). Na Figura 15, apresenta-se a estação do LAHIMAR que se localiza no telhado do prédio do Laboratório de Camarões Marinhos da UFSC na Barra da Lagoa.

3.3 MÉTODO DE ANÁLISE

A seguir são apresentados os procedimentos de cálculos empregados para as bases de dados utilizadas no presente trabalho.

3.3.1 Dados da estação Aeroporto Hercílio Luz, Florianópolis 1961-1970

Antes do cálculo efetivo dos índices de chuva dirigida, foi necessário uniformizar os dados para se efetuar as análises. Para isso foram seguidos dois passos iniciais:

- 1 - Transformação das direções de vento medidas em graus em oito faixas, representadas pelas siglas N, NE, E, SE, S, SO, O e NO, com as direções N, E, S e O abrangendo 40 graus e as direções NE, SE, SO e NO abrangendo 50 graus, como mostra a Figura 16. Não foi possível dividir as direções em faixas iguais de 45 graus, já que os registros na estação foram feitos de 10 em 10 graus, por isso a variação na divisão das oito faixas. A divisão das observações de vento em direções fez-se necessária para viabilizar a análise dos dados de vento simultaneamente com os dados de precipitação pluviométrica. Como será visto no próximo passo, a uniformização dos dados, a direção do vento será a moda das direções dentro de cada intervalo entre as observações de precipitação. Escolheu-se dividir as direções de vento em 8 faixas, pois na análise em 8 faixas a probabilidade de indeterminação da moda é menor que na análise em 36 faixas (faixas de 10 graus).
- 2 - Transformação das observações horárias de vento em 5 observações diárias de acordo com os horários das observações de precipitação pluviométrica, sendo que o valor da velocidade resultante para cada intervalo é a média das velocidades horárias dentro deste intervalo e a direção adotada é a direção mais frequente (moda) também dentro do mesmo intervalo.

Essa transformação das observações horárias de vento para 5 observações diárias é necessária para possibilitar a análise dos dados de precipitação, de velocidade e de direção do vento simultaneamente.

A Tabela 11 apresenta os dados de precipitação pluviométrica, de velocidade e de direção do vento da estação do Aeroporto Hercílio Luz, anotados nos dias 01, 02 e 03 de janeiro de 1961, com exemplo da transformação das anotações de direção do vento em 8 direções

e das medidas horárias de vento e em 5 medidas diárias, de acordo com o número de medidas de precipitação.

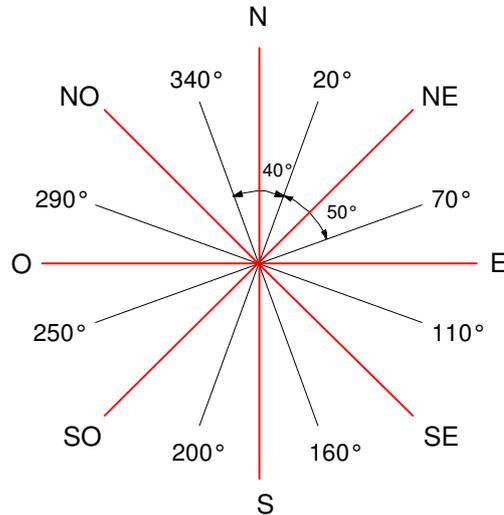


FIGURA 16 – Transformação das direções de vento medidas em graus para oito direções (N, E, S,O abrangendo uma faixa de 40°; NE, SE, SO, NO abrangendo uma faixa de 50°)

Depois de uniformizar os dados de acordo com os passos 1 e 2, realizou-se o cálculo dos índices de chuva dirigida direcionais (ICDd) mensais e anuais, do índice de chuva dirigida anual (ICDa) e dos índices de chuva dirigida em parede vertical (I_0) conforme descrito a seguir.

- **Cálculo dos índices de chuva dirigida:**

O procedimento de cálculo dos índices é descrito pelos passos de 3 a 7:

- 3 - Agrupamento das observações de acordo com a direção do vento (N, NE, E, SE, S, SO, O e NO).
- 4 - Cálculo dos totais de chuva com vento (P) para cada direção (mm/ano).
- 5 - Cálculo da média das velocidades do vento com chuva (V) para cada direção (m/s).
- 6 - Multiplicação dos valores de chuva com vento direcional pela respectiva média da velocidade de vento para obter o valor da chuva dirigida para cada direção.
- 7 - Cálculo do ICD para cada direção através da fórmula: $ICD (m^2/s) = V * P / 1000$.

Os ICDd mensais resultam do tratamento dos dados de cada mês do ano, seguindo os passos de 3 a 7. Foram calculados os ICDd mensais para cada ano do período e os ICDd mensais médios dos 10 anos.

O ICDA foi calculado utilizando os dados em que houve eventos de chuva exceto para os dados com ventos calmos, que são os ventos cujas velocidades são menores que 1 nó (0,5144 m/s). O nível de exposição à chuva dirigida foi classificado de acordo com a metodologia de Lacy complementada por Chand e Bhargava (2002), anteriormente citada no capítulo de revisão bibliográfica. Considerando que a ilha de Florianópolis, cujas dimensões são aproximadamente 54 km norte-sul e 18 km leste-oeste, assume-se o caso de região até 8 km próxima de litoral ou grande estuário, assim como a parte do litoral de São José e Palhoça abrangido pela área de estudo. Por isso, considerou-se o grau de exposição um nível maior que o correspondente ao valor calculado (vide item 2.5.2). No cálculo dos ICD mensais, aplicou-se a mesma metodologia utilizada para o cálculo do ICDA utilizando os eventos de cada mês do ano.

Fez-se também uma análise do comportamento do vento e da chuva durante o período analisado através de gráficos de frequências absolutas e de frequências relativas como ferramentas para melhor visualizar as tendências que justificam os resultados obtidos com o cálculo dos índices de chuva dirigida.

- **Cálculo dos índices de chuva dirigida em parede vertical**

Os índices de chuva dirigida em parede vertical foram calculados 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} , respectivamente) aplicando-se a fórmula utilizada por Rydock *et al.* (2005), de acordo com a equação 3.3.

$$I_0 = 0,206 \cdot \sum_{D=\beta-80^\circ}^{\beta+80^\circ} R_D \cdot V_D \cdot \cos(D - \beta) \quad [3.3]$$

Onde,

- I_0 = índice de chuva dirigida em parede vertical (mm/ano);
- V_D = velocidade anual média do vento para a direção D (m/s);
- R_D = precipitação anual média para a direção D (mm);
- D = direção do vento (graus a partir do norte);
- β = ângulo entre o N e a direção normal à parede.

3.3.2 Dados da estação Hercílio Luz e da estação de São José, Florianópolis, 1991, 1993-1996

Antes de proceder ao cálculo dos índices de chuva dirigida e dos montantes de chuva dirigida em paredes verticais, fez-se necessário seguir os passos 1 e 2 descritos no item 3.3.1. No passo 2 os registros horários de vento foram transformados em 3 observações diárias. Esta

uniformização foi necessária para possibilitar a combinação dos dados de vento da estação Hercílio Luz com os dados de precipitação da estação de São José.

Depois de uniformizados os dados de vento seguiu-se os passos de 3 a 7 descritos no item anterior para o cálculo dos índices de chuva dirigida, anuais, mensais, direcionais e os índices de chuva dirigida em parede vertical. Além disso, fez-se também a análise do comportamento do vento e da chuva neste período através de frequências absolutas e relativas e a classificação do nível de exposição à chuva dirigida assim como descrito no item anterior.

A Tabela 12 apresenta os dados de precipitação pluviométrica da estação São José e de velocidade e de direção do vento da estação do Aeroporto Hercílio Luz, anotados nos dias 01, 02 e 03 de janeiro de 1993, com exemplo da transformação das anotações de direção do vento em 8 direções e das medidas horárias de vento e em 3 medidas diárias, de acordo com o número de medidas de precipitação.

3.3.3 Dados da estação Barra da Lagoa, Florianópolis, setembro/2005 a agosto/2006

Como os dados de precipitação e de vento (direção e velocidade) da estação da Barra da Lagoa são registrados simultaneamente, partiu-se diretamente para o cálculo dos ICDD, ICDD mensais, ICDD sazonais, ICDA, ICD mensais e ICD sazonais e I_0 . Os índices direcionais foram calculados para as 16 direções fornecidas pelo arquivo climático. Os índices de chuva dirigida em paredes verticais (I_0) foram calculados para as direções N, NE, E, SE, S, SO, O e NO e a classificação do nível de exposição foi feito da forma descrita no item 3.3.1.

A Tabela 13 apresenta os dados de precipitação pluviométrica, de velocidade e de direção do vento do dia 01/09/2005, medidos de 30 em 30 na estação do LAHIMAR na Barra da Lagoa.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados das análises dos dados de precipitação, de velocidade e precipitação do vento de três períodos, 1961-1970, 1991/1993-1996 e setembro/2005-agosto/2006, de acordo com o método descrito no capítulo de dados e método.

Na primeira parte do capítulo, são apresentadas as análises do comportamento do vento e da precipitação em cada um dos períodos analisados através de gráficos de frequências absolutas e frequências relativas distribuídas de acordo com velocidade e/ou com direção do vento.

Em seguida, são apresentados e discutidos os resultados do cálculo dos índices de chuva dirigida anuais médios e os índices de chuva dirigida de cada ano de todos os períodos analisados. São apresentados ainda os índices de chuva dirigida mensais e os sazonais, e os índices direcionais médios, anuais, mensais e sazonais.

O último item do presente capítulo apresenta os índices de chuva dirigida em parede vertical de cada um dos períodos, bem como os índices de chuva dirigida em parede vertical de cada ano dos períodos de 1961-1970 e de 1991/1993-1996.

4.1 COMPORTAMENTO DO VENTO E DA CHUVA EM FLORIANÓPOLIS NOS PERÍODOS ANALISADOS

Neste item, são apresentadas as análises do comportamento do vento e da precipitação na área de estudo nos três períodos analisados.

4.1.1 Período de 1961 a 1970

As Figuras 17 a 23 apresentam os resultados da análise do comportamento do vento e da chuva no período de 1961 a 1970. Esta análise foi feita com os dados da estação do Aeroporto Hercílio Luz. Deve-se observar que o termo ocorrência ou evento se refere aos dados já transformados em 5 medições diárias, conforme descrito no item 3.3.1.

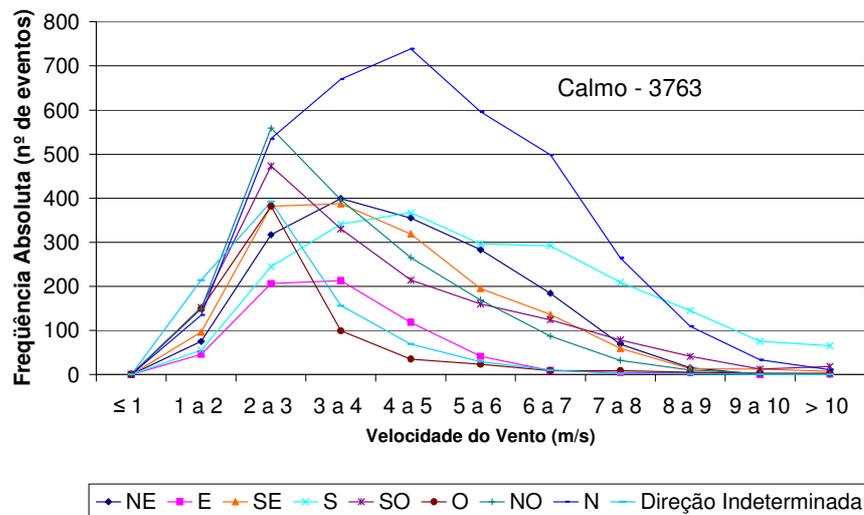


FIGURA 17 – Distribuição de direção do vento de todos os eventos do período por faixa de velocidade (Florianópolis, 1961-1970).

A Figura 17 apresenta a distribuição dos eventos de vento com e sem chuva neste período entre as 8 direções e entre faixas de velocidade. É possível observar que os ventos com direção N são mais frequentes que os ventos com outras direções quando as velocidades são de 3 a 8m/s. Ventos com direção S foram mais frequentes do que ventos com outras direções quando as velocidades eram maiores que 8m/s. Para velocidades com valores de 6 a 8m/s a frequência de ventos S é menor apenas que a frequência de ventos N. As frequências de ventos com direção indeterminada, ou seja, quando não foi possível definir uma direção através da moda, foram maiores quando as velocidades eram da ordem de 1 a 4 m/s, apresentando a maior frequência na faixa de velocidade de 2 a 3m/s. Note-se que as frequências absolutas neste gráfico se referem ao número total de ocorrências de cada situação em todo o período de 10 anos. O número de ocorrências com ventos calmos (calmo) foi igual a 3763 dentre o total de ocorrências de 18250 ($365 \times 5 \times 10$).

Na Figura 18 são apresentadas as frequências absolutas dos ventos com chuva divididos entre as 8 direções e distribuídos nas mesmas faixas de velocidade da figura anterior. Nota-se que, neste caso, a predominância dos ventos N fica reduzida às faixas de velocidades de 3 a 6 m/s. Observa-se ainda uma predominância de ventos com direção S nas faixas de velocidades maiores que 6 m/s e aparece como segunda direção mais frequente nas faixas com velocidades de 4 a 6 m/s. Sendo que o maior número de observações para ventos S é na faixa de 4 a 5 m/s. Na faixa de velocidades de 1 a 2 m/s a direção S é a que menos ocorre. A direção NE se destaca para os ventos de 2 a 5 m/s sendo a terceira direção em número de ocorrências para a faixa com

velocidades de 3 a 4 m/s. Observa-se facilmente que a direção O é a que tem menos incidência de ventos com chuva para as faixas de 2 a 7 m/s tendo pouquíssimas ocorrências de velocidades maiores que 7 m/s assim como quase todas as direções. Com exceção de ventos com direções N, NE e S, ventos com outras direções foram mais frequentes com velocidades de 2 a 3 m/s, assim como os ventos de direção indeterminada. O número de ocorrências com ventos calmos com precipitação (calmo) é de 882 dentre o total de 3631.

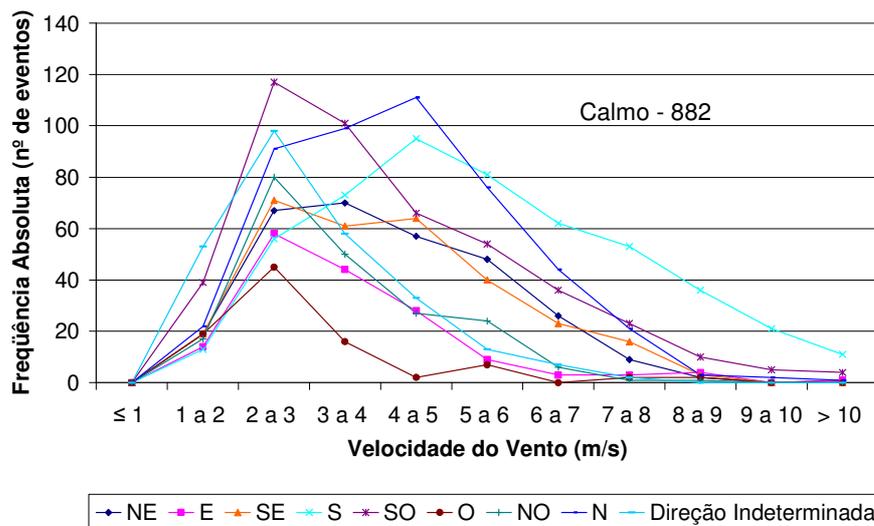


FIGURA 18 – Distribuição de direção de vento com chuva por faixa de velocidade (Florianópolis, 1961-1970).

A Figura 19 mostra as frequências relativas das velocidades para todas as ocorrências de vento no período e para as ocorrências nas quais houve chuva com vento. Observa-se que os dois gráficos têm formatos semelhantes, quase se sobrepondo um ao outro. As maiores frequências são de observações com ventos médios de 2 a 3m/s (19,1% para todas as observações e 18,8% para as observações com chuva). Conforme aumenta a velocidade do vento o número de ocorrências diminui. As frequências relativas de ventos calmos (calmo) foram de 20,6% dentre todas as observações e 24,3% dentre as observações com precipitação.

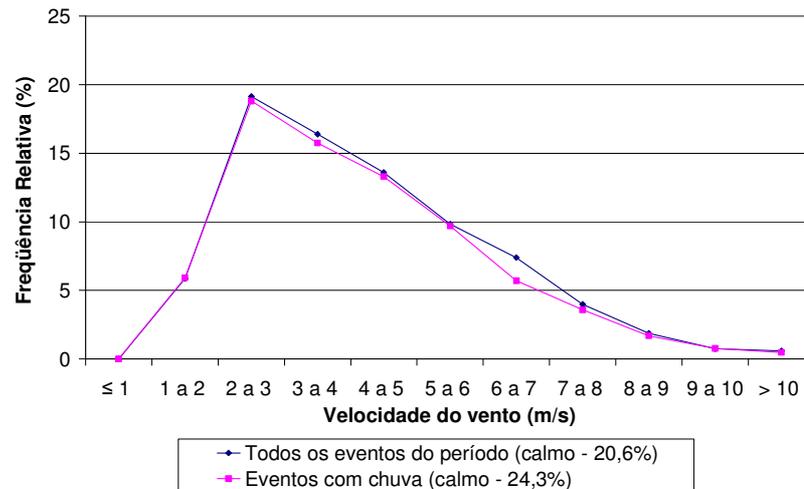


FIGURA 19 – Distribuição de velocidade do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, 1961 -1970)

A distribuição de frequências relativas das direções do vento com chuva e dos ventos de todo o período (com e sem chuva) é apresentada Figura 20. Observa-se que ventos de direção N são os mais frequentes quando se trata de todas as observações do período (com e sem chuva) como já foi visto em gráficos anteriores, entretanto, quando se observa a frequência de eventos com chuva, se percebe que os resultados para as direções N, S, e SO são semelhantes (13,0%, 13,2% e 12,8% respectivamente). As direções S, SO e as ocorrências de ventos com direção indeterminada apresentaram a frequência de ventos com chuva maior do que a frequência de observações em todo o período, com diferenças de 1,8%, 4,2% e 1,3% respectivamente. Neste gráfico é possível visualizar as frequências dos ventos calmos, 20,6% dentre todas as observações e 24,3% dentre as observações com precipitação, que são maiores do que as ocorrências para as diversas direções, principalmente no caso de eventos com precipitação. Deve-se retomar que o que se denominam de eventos aqui, se refere ao resultado da transformação dos dados horários de vento em cinco medidas diárias, cujos horários coincidem com os horários das anotações de precipitação (vide item 3.3.1). Esta transformação pode ter trazido alguns eventos de precipitação com vento para dentro das ocorrências de vento calmo.

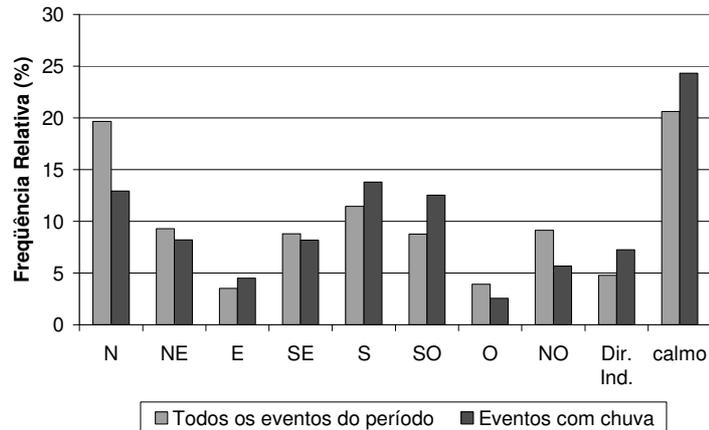


FIGURA 20 – Distribuição de direção do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, 1961 – 1970).

A Figura 21 apresenta a distribuição da precipitação anual média distribuída entre as direções e por faixas de velocidade dos ventos. Observa-se que as direções que mais se destacam são as direções S, SO, N e SE. A direção SO apresentou a maior concentração de precipitação para as velocidades de 2 a 4m/s, destacando-se em relação às demais direções. Ventos S apresentaram as maiores precipitações anuais médias para as velocidades maiores que 4m/s. A direção N apresentou uma distribuição variável, mas com concentrações apenas menores que as direções SO e S nas faixas de 2 a 4m/s, que as direções SE e S na faixa de 4 a 5m/s e que a direção S na faixa de 6 a 7 m/s. A direção SE apresenta um pico na faixa de velocidades de 4 a 5 m/s com o mesmo número de ocorrência de ventos de direção S nessa faixa de velocidade. A quantidade de precipitação durante ocorrências de direção indeterminada é maior na faixa de velocidade de 2 a 3 m/s. A média anual de precipitação com ventos calmos (calmo) foi de 371,8 mm, o total anual médio precipitado foi de 1527,2 mm.

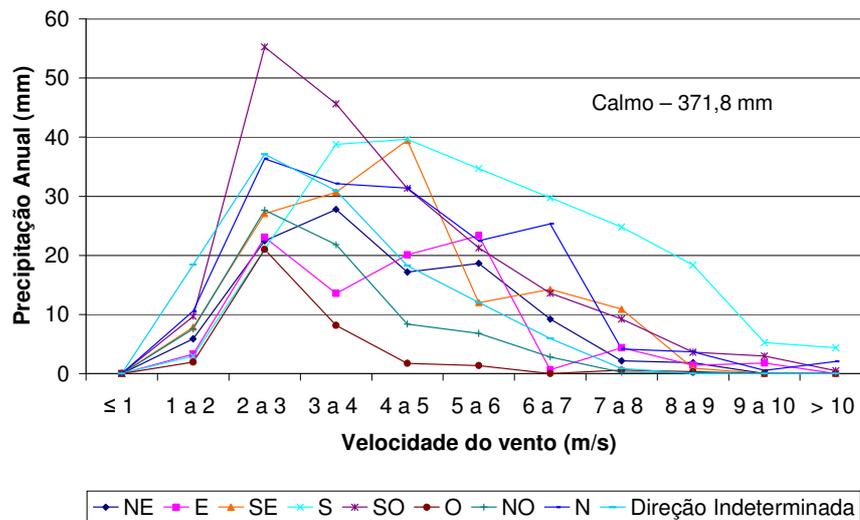


FIGURA 21 - Precipitação anual por direção e faixas de velocidade (Florianópolis, 1961 – 1970).

O gráfico da quantidade de precipitação distribuída em faixas de velocidade de vento é apresentado pela Figura 22. Observa-se que a maior acumulação de chuva ocorre nas faixas de velocidades de 2 a 5 m/s e, para velocidades maiores que 5 m/s, diminui conforme a velocidade aumenta.

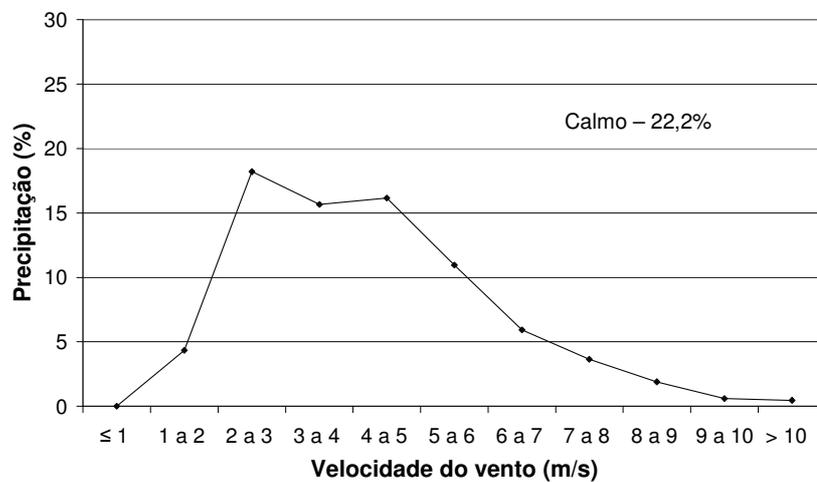


FIGURA 22 – Distribuição de precipitação por faixas de velocidade (Florianópolis, 1961-1970).

A Figura 23 apresenta a distribuição de precipitação entre os ventos das 8 direções. O maior acúmulo de precipitação ocorreu com ventos de direção S, SO e N (15,4%, 13,9% e 10,7%, respectivamente). Ventos com direção O apresentaram o menor acúmulo de chuva representando apenas 2,3% do total precipitado no período. Já os ventos com direção indeterminada representam 8,0% e os ventos calmos 22,2%.

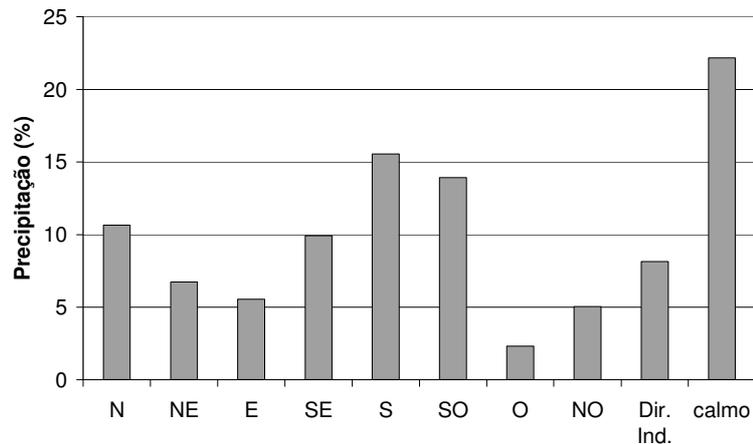


FIGURA 23 – Distribuição de precipitação por direção do vento (Florianópolis, 1961-1970).

4.1.2 Período de 1991, 1993 a 1996

As Figuras 24 a 30 apresentam os resultados da análise do comportamento do vento e da chuva no período de 1991/1993-1996. Esta análise foi feita com dados de vento da estação do Aeroporto Hercílio Luz e de precipitação da estação São José. Deve-se observar que o termo ocorrência ou evento de vento, neste período, se refere aos dados transformados em 3 medições diárias, conforme descrito no item 3.3.2.

A Figura 24 apresenta a distribuição das frequências absolutas dos ventos (com e sem chuva) das 8 direções em faixas de velocidade. Observa-se que os ventos de direção N são predominantes em quase todas as faixas de velocidade de vento, sendo o maior número de ocorrências na faixa de 3 a 4 m/s (447 ocorrências). Destacam-se ainda as direções NO como a mais frequente para ventos com velocidade de 1 a 2 m/s, sendo a maior ocorrência de ventos com essa direção na faixa de 2 a 3 m/s. Por sua vez, a direção SE aparece como terceira e segunda direção mais frequente para ventos com velocidades de 2 a 3 m/s e 3 a 4 m/s respectivamente. A direção S apresenta seu pico de ocorrências na faixa de 3 a 4 m/s e aparece como a terceira mais frequente nessa faixa de velocidade e como a segunda na faixa de 4 a 5 m/s junto com a direção SE. Observa-se nesta figura que o número de ocorrências de ventos com velocidades maiores que 6 m/s foi menor que 50 para todas as direções, diminuindo conforme aumenta a velocidade. Nessas faixas, as direções com mais ocorrências foram a S e a SO. O número de eventos com ventos calmos (calmo) foi de 582 dentre o total de 5431 ocorrências.

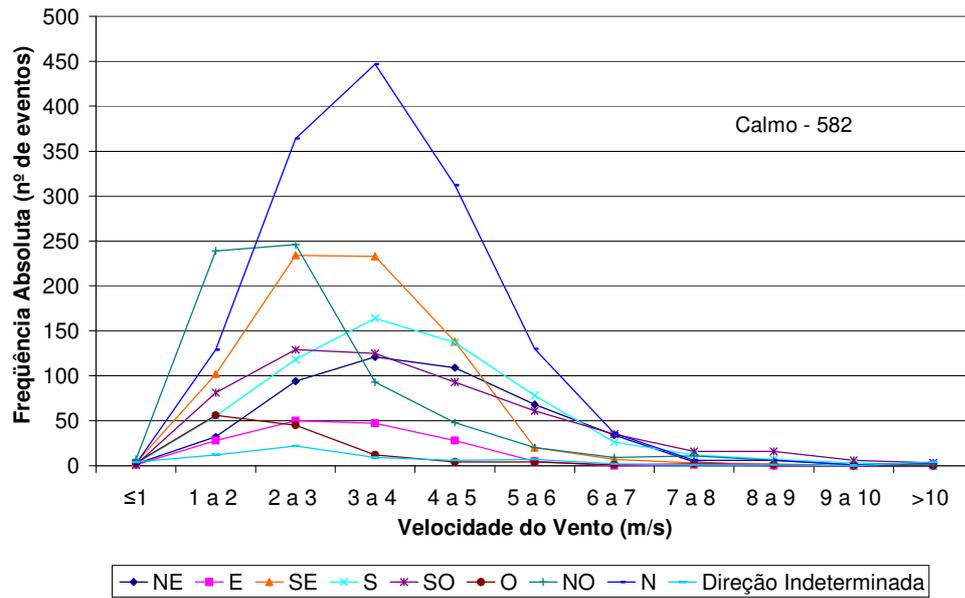


FIGURA 24 – Distribuição de direção do vento de todos os eventos do período por faixa de velocidade (Florianópolis, 1991/1993-1996).

Ao comparar esses resultados com os obtidos no período de 1961 a 1970, observa-se que novamente, os ventos N foram predominantes quando se consideram as ocorrências com e sem chuva e que para ventos de direção S houve uma queda proporcional no número de ocorrências de ventos com velocidades maiores que 6 m/s.

A distribuição das frequências absolutas dos ventos com chuva entre as oito direções e nas faixas de velocidade é apresentada pela Figura 25. Pode-se observar que a direção N teve mais ocorrências que as demais direções para as velocidades de 2 a 4 m/s. Nestas mesmas faixas de velocidade destacam-se também os ventos com direção SE. A direção S teve pico de ocorrências com ventos de velocidades de 3 a 4 m/s. Ventos com direção SO apresentaram uma distribuição um pouco mais uniforme que outras direções nas faixas de 1 a 6 m/s e para velocidades de 6 a 9 m/s tiveram mais ocorrências que as outras direções, apesar do número reduzido de ocorrências. Em relação ao observado no período anterior, identifica-se uma redução proporcional no número de ocorrências de ventos com chuva de velocidades maiores que 6 m/s no caso de ventos com direção S e um aumento da frequência de SE nas faixas de velocidades de 2 a 4 m/s. O número de eventos com ventos calmos (calmo) foi de 170 dentre o total de eventos com precipitação de 1380.

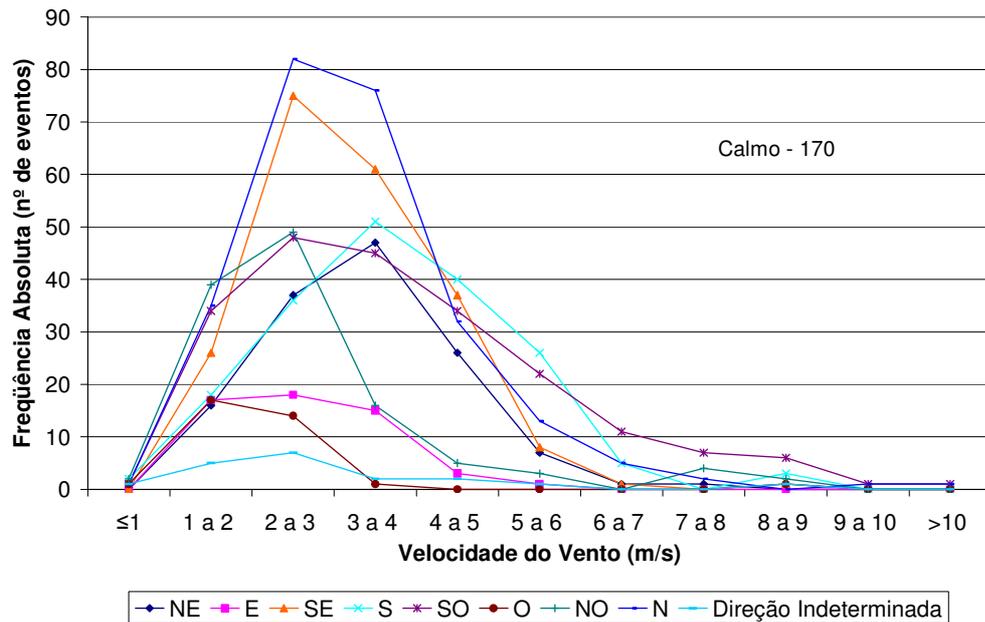


FIGURA 25 – Distribuição de direção de vento com chuva por faixa de velocidade (Florianópolis, 1991/1993-1996).

A distribuição das ocorrências de vento em faixas de velocidades para o período de 1991/1993-1996 é representada na Figura 26. A curva é bastante parecida com a figura da mesma distribuição para o período de 1961-1970 (Figura 19), com as maiores frequências na faixa de velocidades de 1 a 2 m/s, tanto para eventos com chuva e os eventos de todo o período.

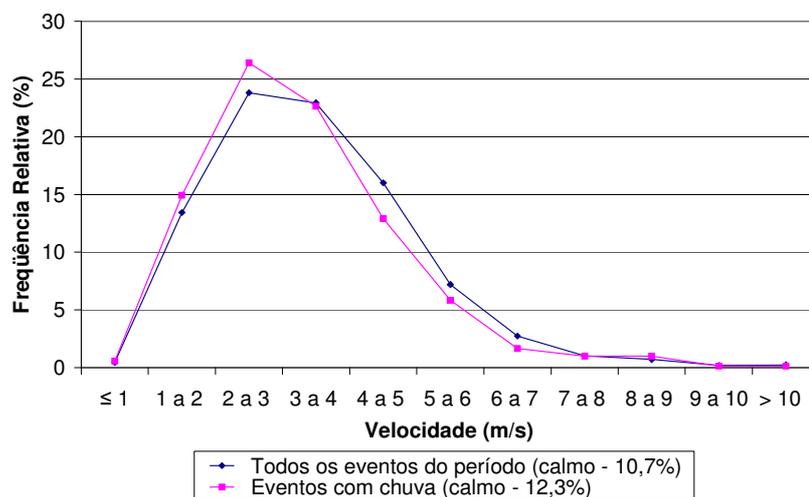


FIGURA 26 – Distribuição de velocidade do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, 1991/1993-1996)

A Figura 27 apresenta a quantidade precipitada por direção e velocidade do vento. Observa-se que a direção SE, que teve a maior quantidade de precipitação para ventos com velocidades de 2 a 5 m/s e de 6 a 7 m/s, apresentou quase 100 mm a mais de chuva que as direções NE e S para ventos de 4 a 5 m/s, direções com segunda maior concentração de chuva

nesta faixa de velocidade. A média anual de precipitação com ventos calmos (calmo) foi de 168,3mm, o total anual médio precipitado foi de 1813,8 mm.

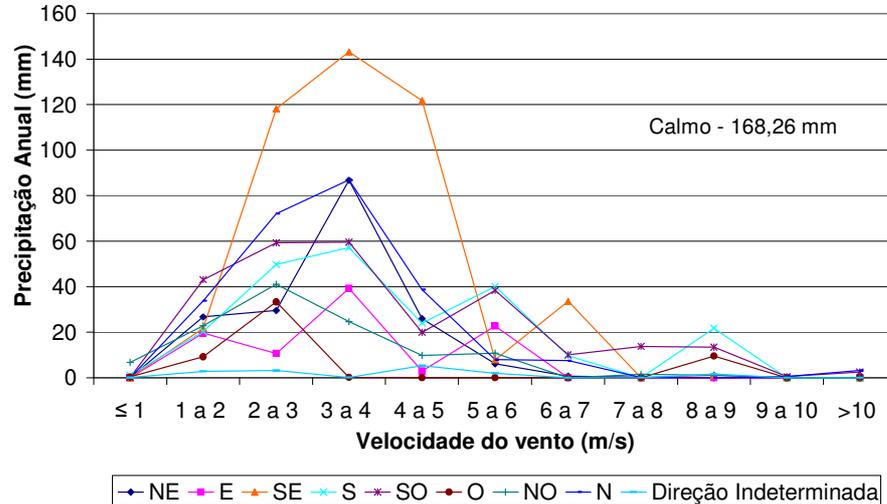


FIGURA 27 – Distribuição da precipitação anual média por direção e faixas de velocidade (Florianópolis, 1991/1993-1996).

Nas distribuições por direção do vento, apresentadas pela Figura 28, observa-se que a direção N aparece como mais freqüente quando se considera todos os eventos (com e sem chuva). Para os ventos com chuva as direções mais freqüentes são a N, a SE, SO e a S. Observa-se que os eventos sem vento (calmo) apresentaram ocorrência em torno de 10,7% (eventos de todo o período) e 12,3% (eventos com chuva) maiores que no período de 1961 a 1970. As direções menos freqüentes são a O e a E com menos de 5% de ocorrência.

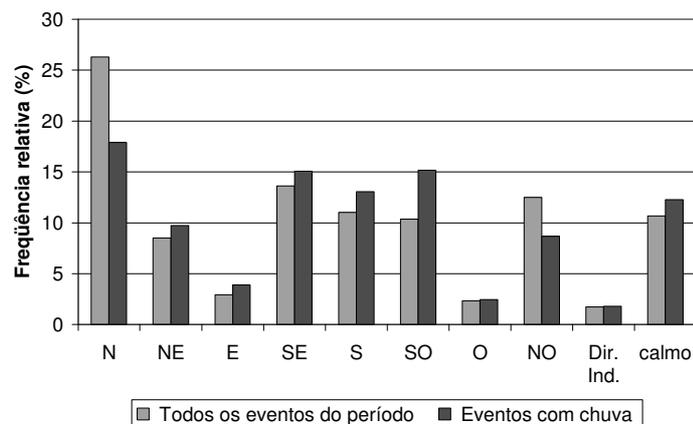


FIGURA 28 – Distribuição de direção do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, 1991/1993-1996).

Nota-se também na Figura 28 que as ocorrências de direção indeterminada são menores que para o período de 1961-1970. Isso se deve ao fato de que, como os intervalos entre as

medidas de precipitação são maiores neste período, a probabilidade da moda dos valores de direção ser indeterminada é menor.

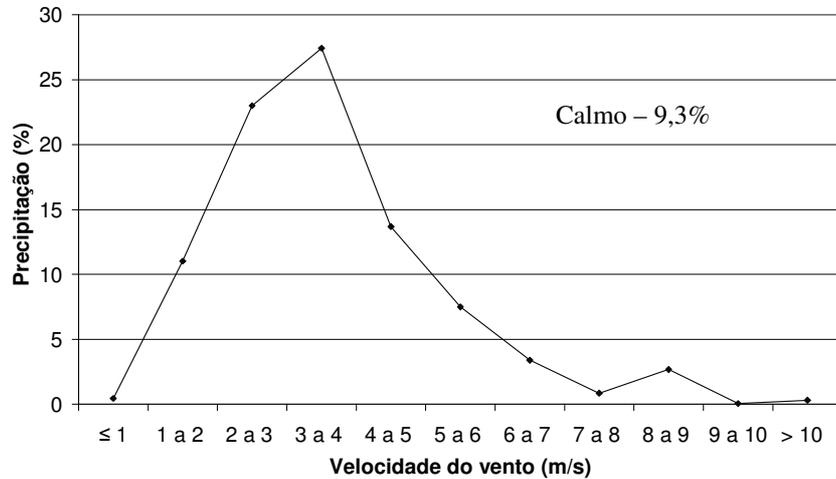


FIGURA 29 – Distribuição da precipitação por faixas de velocidade (Florianópolis, 1991/1993-1996).

A distribuição da precipitação de acordo com a velocidade dos ventos é apresentada na Figura 29. Observa-se que, neste período, a precipitação ocorreu mais em eventos com ventos de velocidades de 2 a 4 m/s.

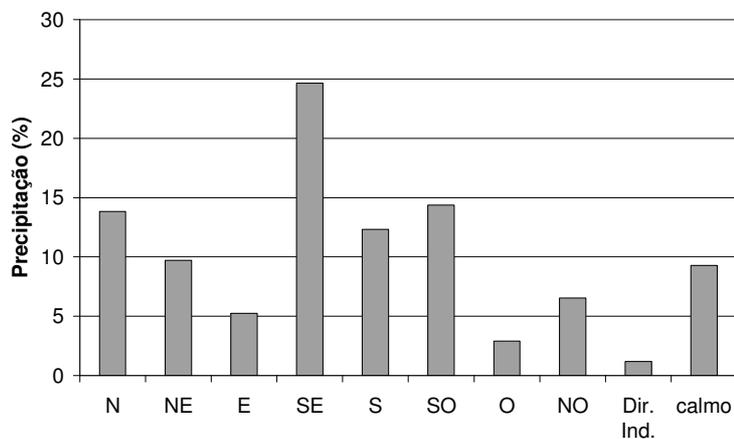


FIGURA 30 – Distribuição de precipitação por direção do vento (Florianópolis, 1991/1993-1996).

Diferentemente do resultado do período de 1961 a 1970, que apresentou a maior percentagem de chuva com ventos de direção S, a distribuição de precipitação entre as direções (Figura 30) neste período mostra que a maior concentração de chuva foi para ocorrências de ventos de direção SE, depois de ventos de direção SO, N e S. Novamente a direção com menor precipitação é a O. Neste período observa-se uma menor concentração de chuva para os casos de direção indeterminada, o que era esperado, já que o número de ocorrências de indeterminação foi

menor, como já visto nos gráficos anteriores. Por outro lado, houve uma menor precipitação nos horários de calma (9,3%) do que no período anterior.

4.1.3 Período de setembro/2005 a agosto/2006

As Figuras 31 a 37 apresentam os resultados da análise do comportamento do vento e da precipitação no período de setembro/2005 a agosto/2006. Essa análise foi realizada a partir dos dados, de precipitação, de direção e de velocidade do vento da estação meteorológica do LAHIMAR localizada na Barra da Lagoa – Florianópolis - SC. Nesse período, os termos evento ou ocorrência referem-se à medição feita a cada 30 minutos na estação meteorológica.

A distribuição de todos os eventos de vento (com ou sem precipitação) entre 16 direções e entre faixas de velocidade é apresentada pela Figura 31. Sob essa perspectiva, observou-se, primeiramente, que as frequências das velocidades menores ou iguais a 1 m/s são diferentes de zero para quase todas as direções consideradas. Esse resultado é diferente dos resultados obtidos nos períodos de 1961-1970 e 1991/1993-1996. Nestes últimos períodos, as frequências para essa faixa de velocidades foram zero para todas as direções, provavelmente devido ao processo de uniformização. Nas faixas de velocidades de 1 a 3 m/s, as direções mais frequentes foram a NNE e a N, seguidas pela NE, S, SO e SSO. Na faixa de 3 a 4 m/s as direções N e S são as mais frequentes, seguidas pelas direções NE e SO. Para velocidades maiores que 4 m/s a direção S apresentou-se como direção predominante, apresentando alguma ocorrência até a faixa de 8 a 9 m/s. Na faixa de velocidade de 4 a 5 m/s, depois da direção S, as direções mais frequentes são a NE, seguidas pelas SSO e SO. Na faixa de 5 a 6 m/s de velocidade do vento, depois da S, a direção SSO é a mais frequente e as direções NE e SO apresentam frequências muito próximas, sendo a SO um pouco mais frequente. As direções SO e SSO ainda apresentam algumas ocorrências com velocidades de 6 a 8 m/s. As demais direções apresentaram, em geral, suas maiores ocorrências nas faixas de velocidades de até 3 m/s. Algumas tiveram poucas ocorrências durante o período, como as direções ONO, NNO, NO e O. O número de ocorrências de vento calmo (calmo) é de 3.621 dentre o total de eventos de 17.153.

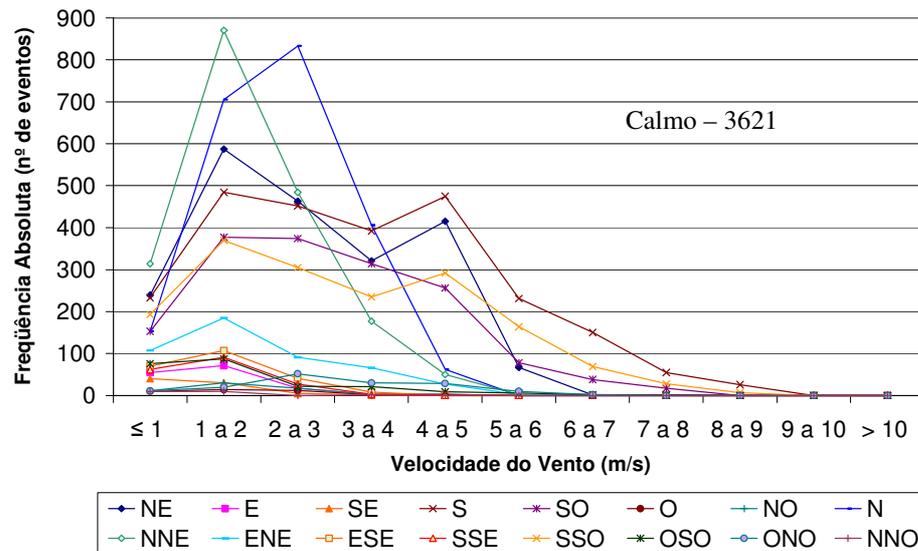


FIGURA 31 – Distribuição de direção do vento de todos os eventos do período por faixa de velocidade (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006).

Na Figura 32, é apresentada a distribuição das frequências absolutas dos eventos de vento com precipitação entre 16 direções e entre faixas de velocidade. Destacou-se, novamente, a direção NNE na faixa de velocidade de 1 a 2 m/s. A segunda direção mais frequente nessa faixa de velocidade foi a SSO, seguida pela NE e pela ESSE. Para velocidades maiores que 3 m/s, a direção SSO foi a que obteve o maior número de ocorrências de vento com precipitação, menos na faixa de velocidades de 4 a 5 m/s, para a qual a direção S apresentou algumas ocorrências a mais que a SSO. Além disso, merece destaque a direção SO que apresentou mais ou menos o mesmo número de ocorrências nas faixas de 1 a 7 m/s. Para a maioria das direções, o maior número de eventos foi na faixa de velocidade de 1 a 2 m/s. O número de eventos com vento calmo (calmo) neste período foi de 302 dentre o total de eventos de vento com precipitação de 1143.

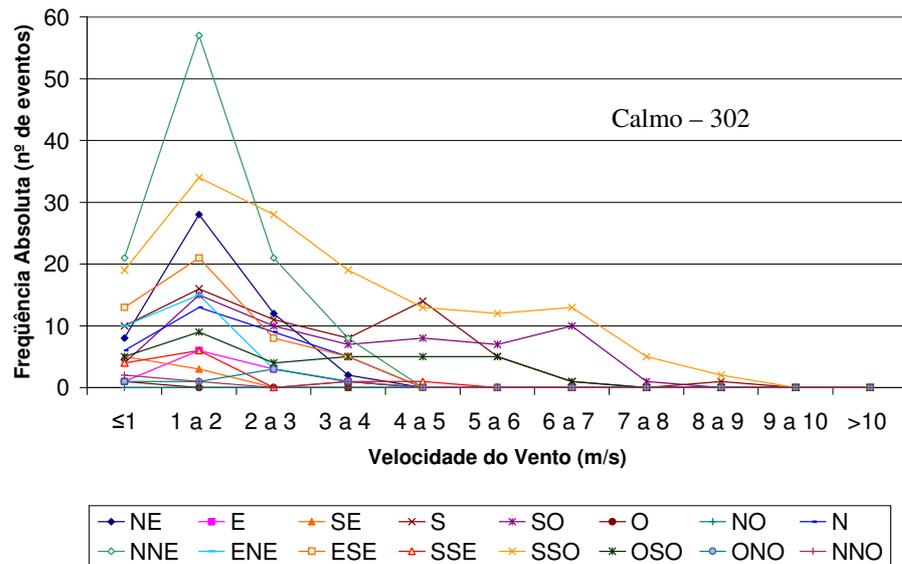


FIGURA 32 – Distribuição de direção de vento com chuva por faixa de velocidade (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006).

Os gráficos das distribuições de frequências relativas das faixas de velocidades para todos os eventos do período e para os eventos com precipitação (Figura 33) indicam, para ambos os casos, uma maior ocorrência para ventos de velocidades da faixa de 1 a 2 m/s. É interessante notar que, neste período, as frequências de ventos com velocidades menores que 1 m/s foram 10% e 15% para todos os eventos e para eventos com precipitação, respectivamente. Esse resultado diverge do resultado obtido nos períodos de 1961-1970 e de 1991/1993-1996, provavelmente devido ao fato de que, nestes períodos, houve a uniformização dos dados com o cálculo de médias de velocidades, o que não houve no período de setembro/2005-agosto/2006, já que os dados de vento e de chuva foram mensurados simultaneamente. No entanto, repete-se a tendência de maiores frequências nas velocidades mais baixas, reduzindo a frequência conforme aumenta a velocidade.

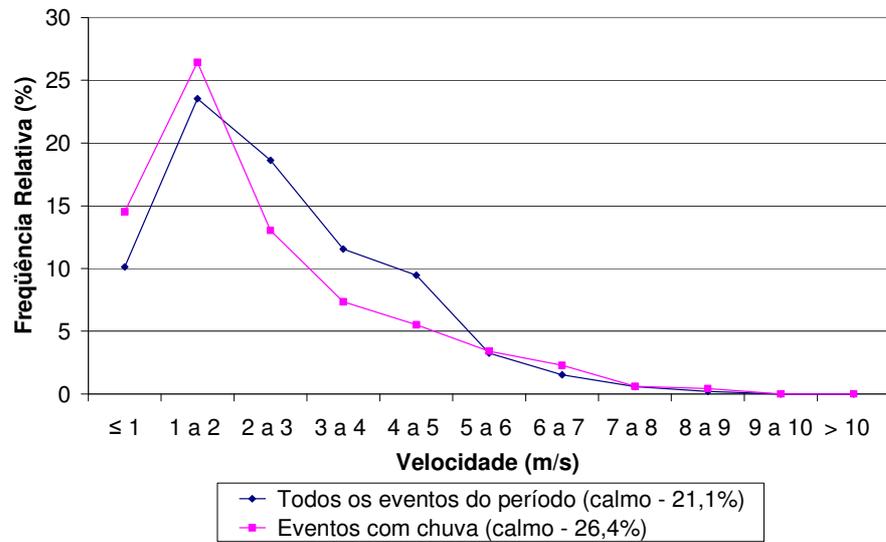


FIGURA 33 – Distribuição da velocidade do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006).

As distribuições dos eventos por direção do vento estão representadas pela Figura 34. Observa-se que, neste período, a frequência relativa dos ventos calmos (calmo) é maior do que as das outras direções, sendo 21,1% em relação a todos os eventos do período e 26,4% em relação aos eventos com precipitação. As maiores frequências, considerando todos os eventos, são nas direções, S (14,6%), N (12,6%), NE (12,2%), NNE (11%), SSO (9,7%) e SO (9,4%). Ao considerar os eventos com precipitação, as maiores frequências ocorreram nas direções SSO (12,7%), SO (12,5%), S (10,6%), NNE (9,4%), NE (6,7%) e N (6%). As menores frequências para ambos os casos ocorreram nas direções O, ONO, NO e NNO com frequências menores que 1%.

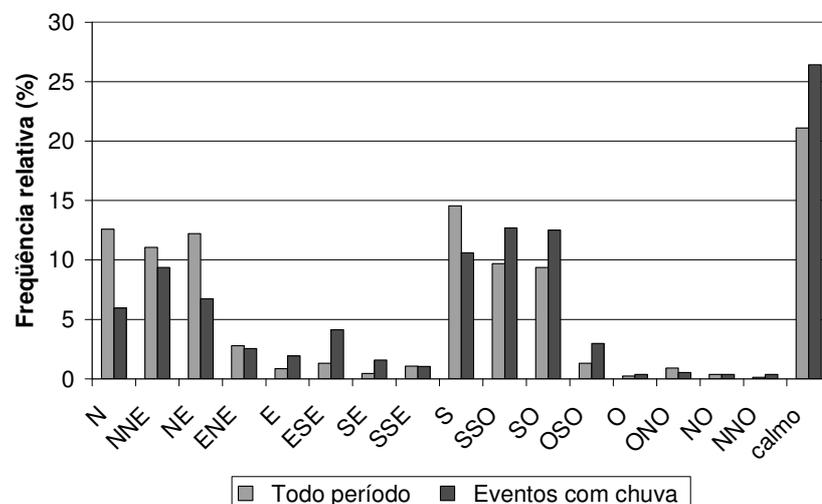


FIGURA 34 – Distribuição de direção do vento dos eventos com chuva e de todos os eventos do período (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006).

A Figura 35 apresenta a distribuição da precipitação anual do período por direção e por faixas de velocidade do vento. Na faixa de velocidades menores que 1 m/s, as direções que apresentaram a maior quantidade de precipitação foram a SSO, a NNE, a NE, a S e a N. Na faixa de velocidades de 2 a 3 m/s a direção NNE apresentou a maior quantidade de precipitação.

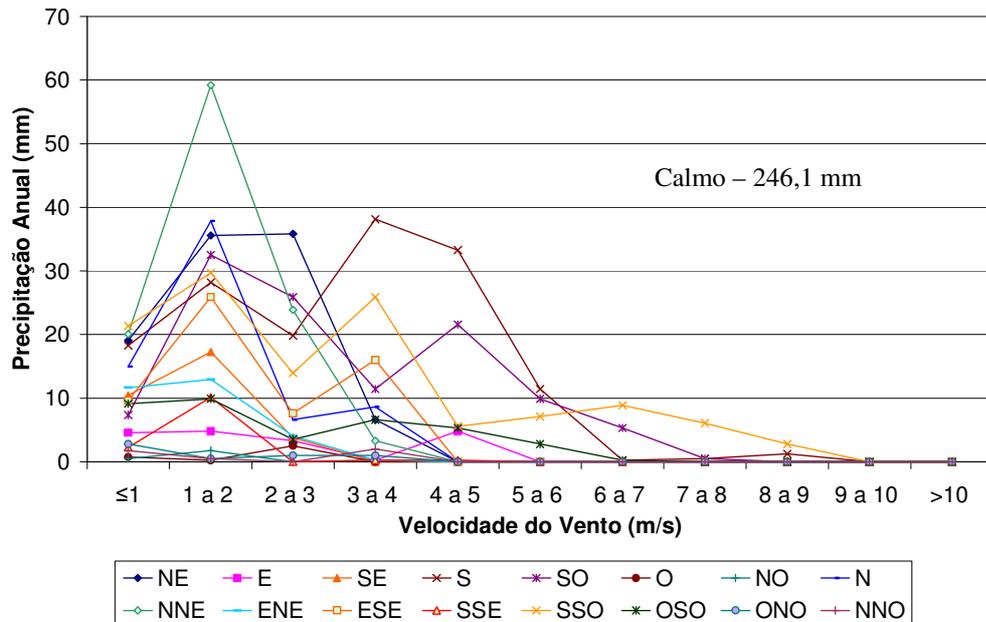


FIGURA 35 – Distribuição da Precipitação anual média por direção e faixas de velocidade (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006)

A direção S apresentou suas maiores concentrações de precipitação nas faixas com velocidades de 3 a 5 m/s. Estas concentrações foram também maiores do que as das outras direções para as mesmas faixas. Em relação às velocidades maiores que 6 m/s, a direção SSO apresentou as maiores concentrações seguida pelas direções SO na faixa de 6 a 7 m/s e S na faixa de 8 a 9 m/s. Não houve precipitação com velocidades maiores que 9 m/s. O total de precipitação ocorrida neste período foi de 1.108,4 mm, sendo que a precipitação ocorrida com ventos calmos (calmo) foi de 246,1 mm.

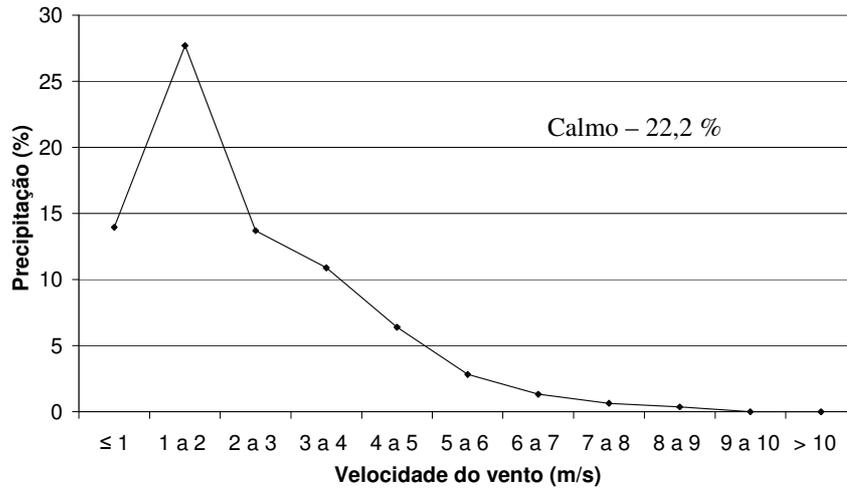


FIGURA 36 – Distribuição da precipitação por faixas de velocidade (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006)

A Figura 36 apresenta a distribuição da precipitação por faixas de velocidade. As maiores porcentagens de precipitação ocorreram com velocidades de 1 a 2 m/s, menores que 1m/s e de 2 a 4 m/s. A quantidade de precipitação é menor, à medida que as velocidades aumentam.

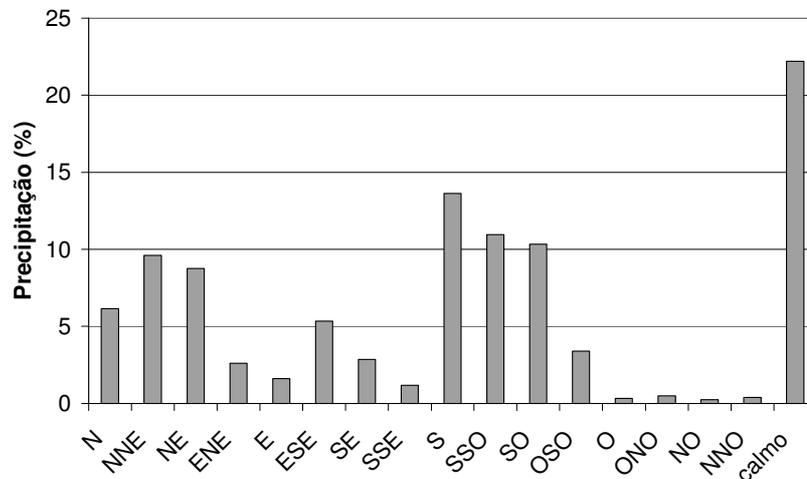


FIGURA 37 – Distribuição de precipitação por direção do vento (Florianópolis, setembro/2005-agosto/2006)

A distribuição da precipitação ocorrida no período é apresentada na Figura 37. Observa-se que a porcentagem de precipitação ocorrida sem vento (calmo) é maior do que para as diversas direções com vento. Isso ocorreu pelo fato de que, neste período, as análises foram feitas para 16 direções ao invés de 8 como nos períodos anteriores, dividindo entre estas 16 direções a precipitação ocorrida com vento. As direções que apresentaram as maiores concentrações de precipitação foram S, SSO, SO, NNE, NE, N e ESSE. As que tiveram as menores concentrações de precipitação foram as direções O, ONO, NO e NNO.

4.1.4 Precipitações anuais e médias anuais de velocidade do vento

Na Tabela 3, são apresentadas as precipitações médias anuais e as velocidades de vento médias de cada um dos períodos analisados, bem como as precipitações de cada ano desses períodos. Além disso, são apresentadas as quantidades de precipitação que ocorreram com ventos calmos ou sem vento, os totais precipitados com vento e as quantidades de precipitação que ocorreram com vento, mas que no processo de uniformização dos dados dos períodos de 1961-1970 e 1991/1993/1996 não foi possível definir uma direção ao aplicar a moda.

A maior precipitação anual média, 1.813,8 mm, ocorreu no período de 1991/1993-1996 e a menor, com valor de 1.108,5mm, ocorreu no período de setembro/2005-agosto/2006. No período de 1961-1970 a precipitação anual média foi de 1.527,2 mm, aproximadamente a média de Florianópolis -SC indicada na literatura. As maiores precipitações anuais dos dois primeiros períodos foram de 2.103,3mm (1961) e de 2.011,7mm (1995). A quantidade de precipitação anual ocorrida com ventos calmos (sem vento ou calmo) foi maior no período de 1961-1970 e menor no período de 1991/1993-1996. Apesar de ter apresentado a menor precipitação anual, o período de setembro/2005 a agosto/2006 apresentou a segunda maior precipitação anual sem vento. Observa-se que a quantidade de precipitação ocorrida nos eventos dos dois primeiros períodos analisados para os quais não foi possível determinar a direção no processo de uniformização dos dados foi maior no período de 1961-1970 do que no período de 1991/1993-1996. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que, como no primeiro havia mais horários de medida de chuva (5 medidas diárias), o número de medições do vento entre o horário de uma medida de precipitação e outro foi menor do que no período de 1991/1993-1996, que teve 3 medidas diárias de chuva. Assim, por possuir um número maior de medidas de vento, o número de casos com moda indeterminada foi menor no período de 1991/1993-1996 do que no período de 1961-1970.

A velocidade anual média do período de 1961-1970 foi a maior dos três períodos (4,16m/s). O período de 1991/1993-1996 apresentou uma velocidade anual média de 3,29m/s e o período de setembro/2005-agosto/2006 teve uma velocidade anual média de 2,41m/s, a menor dentre as três dos períodos analisados. As maiores velocidades anuais foram de 4,59 m/s (1966) no período de 1961-1970 e de 3,42 m/s (1996) no período de 1991/1993-1996.

TABELA 3 - Valores das precipitações anuais e da velocidade média do vento. Florianópolis, 1961-1970, 1991/1993-1996 e setembro/05-agosto/06.

<i>Ano ou período</i>	<i>Precipitação anual (mm)</i>	<i>Precipitação anual sem vento (mm)</i>	<i>Precipitação anual com vento (mm)</i>	<i>Precipitação com direção de vento indeterminada (mm)</i>	<i>Velocidade média do vento (m/s)</i>
1961	2103,3	568	1535,3	178	4,20
1962	1588,3	401,7	1186,6	135,1	3,53
1963	1462,6	356,7	1105,9	201,4	3,57
1964	1284,3	272,8	1011,5	73	3,64
1965	1454,5	330	1124,5	94,4	4,44
1966	1852,8	285	1567,8	190,5	4,59
1967	1837	504	1333	108,8	4,28
1968	1218,1	339,2	878,9	95,1	4,38
1969	1546,8	165,9	1379,9	95,6	4,53
1970	924,3	164	760,3	70,7	4,36
1961-1970	1527,2	338,7	1188,4	124,26	4,16
1991	1766,3	292,9	1473,4	13,7	3,31
1993	1627,2	298,1	1324,5	27,7	3,21
1994	1869,4	83	1786,4	20,3	3,17
1995	2011,7	82,6	1929	0,0	3,31
1996	1794,5	78,2	1714,5	43,9	3,42
1991/1993-1996	1813,8	168,3	1655,6	21,1	3,29
set/2005-ago/2006	1108,5	246,1	862,3	-	2,41

4.1.5 Discussão a respeito das análises do comportamento do vento e da precipitação pluviométrica nos períodos analisados

Embora os dados dos dois primeiros períodos analisados tenham sido uniformizados e dessa forma cada período tem um número diferente de medidas diárias (5 no período de 1961-1970, 3 no período de 1991/1993-1996 e 47 no período de setembro/05-agosto/06), os resultados da análise de comparação do vento e da distribuição da precipitação apresentaram muitas semelhanças.

Na distribuição de todas as ocorrências de vento (já uniformizadas, no caso dos dois primeiros períodos), indicaram nas três estações destaque para as direções N, NE, (e NNE no caso do período de setembro/05-agosto/06) e as direções S, SE e SO. As direções S e SO apresentaram maior frequência que outras direções para ventos com velocidades médias maiores que 8m/s, mesmo sendo reduzido o número de eventos com ventos com essas velocidades. De forma geral, as maiores frequências de todas as direções ficaram entre as faixas de velocidades de 1 a 2 m/s e 5 a 6 m/s.

Ao considerar apenas os eventos de vento com chuva, a predominância de ventos de direção N diminui e há um destaque no número de ocorrência de ventos de direção S e SO nas faixas maiores que 6 m/s no período de 1961-1970, que 5 m/s no período de 1991-1993-1996 e que 4 m/s no período de setembro/2005 a agosto/2006. Observou-se também um grande número de ocorrências de ventos com direção SE, principalmente com velocidades de 2 a 6 m/s no período de 1991/1993-1996.

Em todos os períodos, as direções O e NO (e ONO no caso do período de setembro/2005 a agosto/2006) foram as menos frequentes nos dois casos (todos os eventos e apenas eventos com precipitação).

A distribuição dos eventos por faixas de velocidade em frequências relativas resultou numa concentração maior de ocorrências, tanto para a análise de todos os eventos como para a análise apenas dos eventos com precipitação (1 a 3 m/s no período de setembro/2005-agosto/2006; 2 a 4 m/s nos períodos de 1961-1970 e 1991/1993-1996).

A distribuição dos eventos por direção (frequências relativas), por sua vez, apontou um número maior de ocorrências de eventos com precipitação com ventos de direção S, SO e N no período de 1961-1970; S, SO, SE e N no período de 1991/1993-1996 e S, SSO, SO e NNE para o período de setembro/2005-agosto/2006.

No entanto, a distribuição em frequências relativas da precipitação entre as direções de vento indicou maiores concentrações de precipitação quando os ventos vinham de S, SO e N (e SSO e NNE no período de setembro/2005-agosto/2006). No caso do período de 1991/1993-1996, houve uma grande concentração de precipitação pluviométrica para a direção SE que atingiu quase 25% da precipitação total do período frente os menos de 10% nos outros períodos. É interessante observar que nesse mesmo período ocorreu o maior acúmulo de precipitação. É provável que o excedente de chuva nesse período tenha ocorrido com os ventos vindos de SE.

Uma observação a ser feita é quanto aos ventos calmos (ventos com velocidades menores que 0,5144 m/s). As frequências relativas de ventos calmos (calmo) nos períodos de 1961-1970 e setembro/2005-agosto/2006 foram em torno de 25% , enquanto no período de 1991/1993-1996 foi em torno de 10%. No entanto, a concentração relativa de precipitação ocorrida com ventos calmos em torno de 22% nos períodos de 1961-1970 e de setembro/2005-agosto/2006, concentração bem maior do que a ocorrida com ventos com direção determinada, enquanto, no período de 1991/1993-1996, essa concentração foi em torno de 9%, sendo maior apenas que as concentrações de precipitação com ventos de direção E, O e NO.

Outra observação a ser feita é a respeito dos eventos com moda indeterminada da direção do vento (MOI). Os resultados apresentaram maior número de ocorrências desses eventos no período de 1961-1970 (5% dentre todos os eventos e 8% dentre os eventos com chuva) do que no período de 1991/1993-1996 (2% dentre todos os eventos e dentre os eventos com chuva). Esse resultado é devido ao fato de que no primeiro período o número de medições de precipitação é maior que no segundo (5 e 3, respectivamente). Dessa forma, o número de horas entre uma medida e outra é menor no primeiro período (3h e 6h) do que no segundo (6h e 12h) e a probabilidade de ocorrer indeterminação da moda da direção do vento é maior no primeiro período que no segundo. A concentração de precipitação, no caso de eventos com moda indeterminada de direção do vento, também foi maior no período de 1961-1970 do que no período de 1991/1993-1996 (8% e 2% respectivamente).

Nos próximos itens são apresentados os resultados das análises dos índices de chuva dirigida dos períodos analisados.

4.2 ÍNDICES DE CHUVA DIRIGIDA ANUAIS E ÍNDICES DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAIS ANUAIS

A Tabela 4 apresenta os índices de chuva dirigida anuais médios obtidos nos três períodos analisados e as classificações da exposição à chuva dirigida em cada período de acordo com a metodologia de Lacy/Chand e Bhargava (2002) e de acordo com as recomendações dos BRS Digests 23 e 127 *apud* Lacy (1977).

TABELA 4 - Valores dos ICDA e classificação da exposição à chuva dirigida. Florianópolis, 1961-1970, 1991/1993-1996 e setembro/05-agosto/06.

<i>Período</i>	<i>ICDa (m²/s)</i>	<i>Nível de exposição Lacy/Chand e Bhargava (2002)</i>	<i>Recomendação BRS Digest</i>
1961-1970	4,94	moderado	moderado
1991/1993-1996	5,40	moderado	alto
set/05-ago/06	2,07	protegido	moderado

O ICDA médio obtido no período de 1961-1970 é de 4,94 m²/s representando um nível de exposição moderado à chuva dirigida de acordo com a metodologia de Lacy/Chand e Bhargava (2002), dois níveis abaixo do que é apresentado pelo mapa brasileiro de chuva dirigida (ver Figura 4). Segundo esta metodologia, o período de 1991/1993-1996 também foi de exposição moderada com um ICDA médio de 5,40 m²/s, o terceiro período analisado, de setembro/05-

agosto/06, por sua vez, apresentou um ICDA médio de 2,07 m²/s indicando um nível de exposição de local protegido. Ao considerar as recomendações dos BRS Digests BRS Digests 23 e 127 *apud* Lacy (1977) para locais próximos até 8 km do mar ou grandes estuários, como é o caso da área de estudo, os níveis de exposição dos períodos de 1991/1993-1996 e setembro/2005-agosto/2006 foram elevados em um grau, torando-se alto e moderado, respectivamente. Note-se que o ICDA obtido no período de setembro/2005-agosto/2006 é 58,1% menor que o obtido no período de 1961 a 1970 e 61,7% menor que o obtido no período de 1991, 1993 a 1996.

As rosetas dos ICDD médios dos três períodos estão representadas na Figura 38. Ao observar a roseta do ICDD médio do período de 1961-1970, verifica-se que o maior ICDD ocorre para a direção S (1,29m²/s), o que pode ser atribuído ao fato de a maior concentração de chuva neste período ser apresentada por esta direção, assim como a maior frequência de chuva com ventos fortes (ver Figura 21). O segundo maior ICDD é apresentado pela direção SO que, além de ter a segunda maior concentração de chuva, também apresentou número de eventos de chuva com bastante frequência de ventos com velocidades de 2 a 7m/s, tendo frequências de ventos nas faixas de velocidades acima de 7m/s menores que a direção S, porém maiores que a direção N. O fato da direção SE ter apresentado um ICDD parecido com o da direção N pode ser explicado pelo fato de que a precipitação anual da direção SE em algumas faixas de velocidade foi maior e em outras foi menor que a da direção N (Figura 21). Isso mostra que apesar de a direção SE apresentar menos observações de vento com chuva do que a direção N (Figura 20), estas podem ter sido mais intensas ou com maior duração (lembre-se que as precipitações foram medidas 5 vezes por dia e que a direção uniformizada é a moda das direções ocorridas nesse intervalo de tempo, portanto, pode ocorrer tanto uma chuva longa quanto uma chuva curta, mais intensa ou menos intensa). De acordo com a roseta de ICDD para o período a direção menos crítica é a direção O, confirmando a tendência apontada pelos gráficos do item 4.1.1.

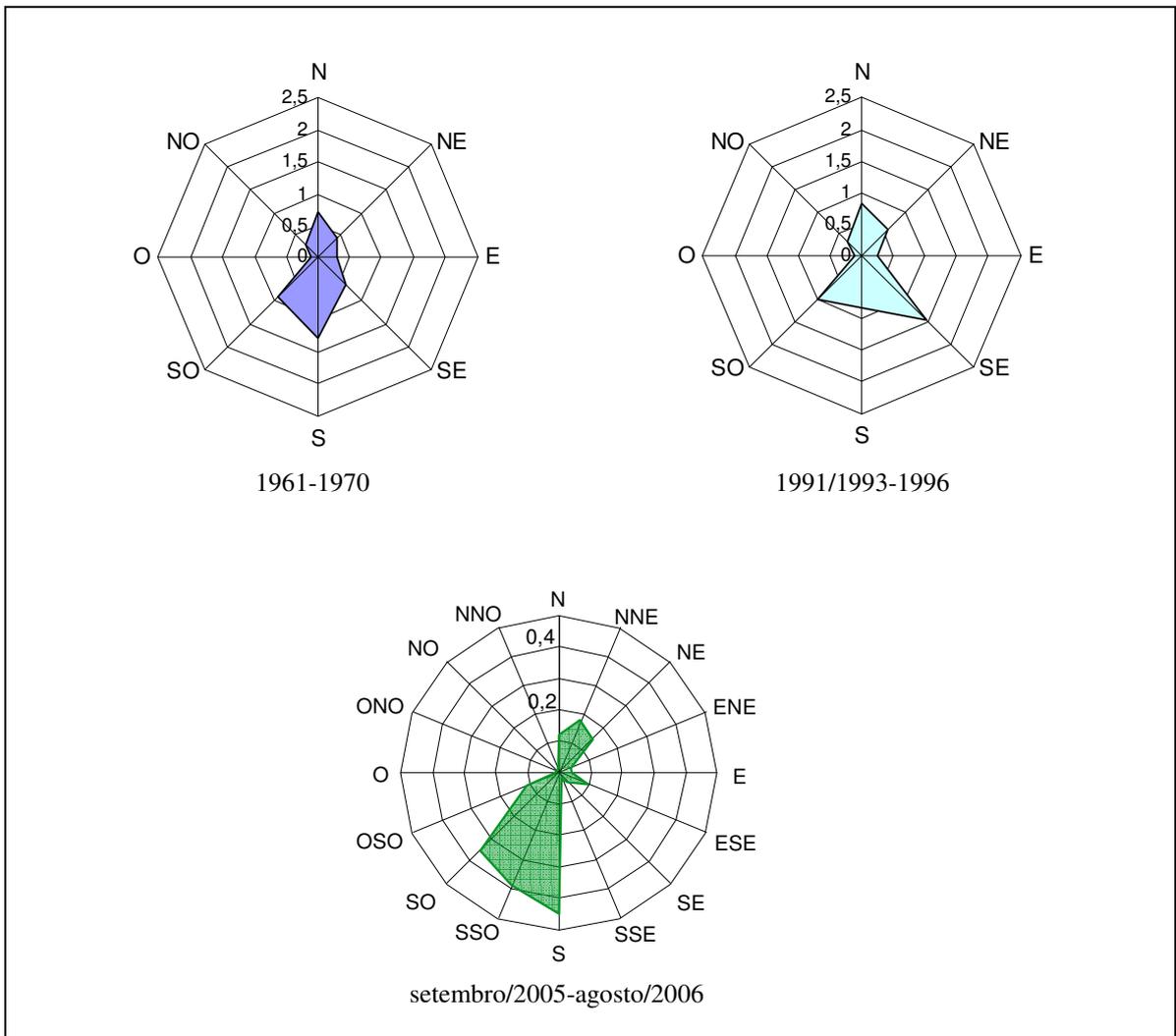


FIGURA 38 – Índice de Chuva Dirigida direcional (m^2/s) – Florianópolis, 1961-1970; 1991/1993-1996 e setembro/2005-agosto/2006.

Com o auxílio da roseta de ICDD médios do período de 1991/1993-1996, observa-se que a direção SE apresentou-se como a mais crítica dentro do período com um ICDD igual a $1,42 m^2/s$ representando 26,4% do ICDA médio. As direções do quadrante sul, SE, S e SO, representam juntas 60,2% do ICDA médio. Assim como no período de 1961 a 1970, a direção O foi a menos crítica do período.

A roseta ICDD médios para o período de setembro/2005-agosto/2006 indica a direção sul como sendo a mais crítica quanto à exposição da área de estudo à chuva dirigida com um índice de $0,45 m^2/s$. Depois da direção S, as direções que apresentaram os maiores índices foram as direções SSO ($0,39 m^2/s$) e SO ($0,35 m^2/s$). As três direções reunidas representam 57,5% do valor do ICDA neste período. As direções menos críticas neste período foram a O, a ONO, a NO e a NNO.

A Tabela 5 apresenta os valores dos ICDA para todos os anos do período de 1961-1970 e a classificação do nível de exposição à chuva dirigida definida por Lacy e complementada por Chand e Bhargava (2002). Nesta tabela é apresentado o nível de exposição à chuva dirigida ajustado para o caso de Florianópolis - SC conforme a recomendação dos BRS Digests 23 e 127 *apud* Lacy (1977). O nível de exposição à chuva dirigida para os anos deste período varia de moderado a severo, considerando-se o ajuste dos BRS Digests. O ano mais crítico foi o de 1966 com um ICDA de $7,19 \text{ m}^2/\text{s}$ e o menos crítico foi o ano de 1970 com $3,31 \text{ m}^2/\text{s}$. Ao analisar as rosetas de ICDD para os anos deste período (FIGURA 39), verificou-se uma clara tendência dos ICDD maiores serem provenientes do quadrante sul, com exceção do ano de 1967 no qual a quantidade de chuva dirigida para o quadrante norte foi semelhante a do quadrante sul. Nos anos para os quais a exposição à chuva dirigida foi alta as direções mais críticas foram variáveis: 1961-SO, 1966-S, 1967-N e S; 1969-SE, mas o quadrante sul foi o mais crítico em quase todos os anos.

Na Tabela 6, estão relacionados os ICDA médio e de cada ano do período analisado. O ano mais crítico foi 1995 com um ICDA igual a $6,38 \text{ m}^2/\text{s}$ e o menos crítico foi 1993 com ICDA igual a $4,25 \text{ m}^2/\text{s}$. Dos cinco anos analisados três tiveram índice anual maior que $5 \text{ m}^2/\text{s}$. De acordo com a classificação de Lacy complementada por Chand e Bhargava (2002), em todos os anos a exposição foi de nível moderado, no entanto, considerando a recomendação dos BRS Digests 23 e 127 *apud* Lacy (1977) devido à localização da área de estudo junto ao mar, os três anos mais críticos tiveram a exposição elevada em um nível, sendo considerados de exposição alta. As rosetas dos ICDD de cada ano deste período podem ser vistas na Figura 40. Observa-se que a direção SE foi a mais crítica em três e a direção SO em dois dos cinco anos analisados. Esse resultado diverge um pouco em relação ao obtido nos períodos de 1961 a 1970, no qual as direções S e SO foram as mais críticas em quase todos os anos do período com exceção de 1969 para o qual a SE foi a direção mais crítica.

TABELA 5 - Valores dos ICDA para os anos de 1961-1970, em Florianópolis, e classificação da exposição à chuva dirigida.

<i>Ano</i>	<i>ICDa (m²/s)</i>	<i>Nível de exposição Lacy/Chand e Bhargava (2002)</i>	<i>Recomendação BRS Digests 23 e 127</i>
1961	6,45	moderado	alto
1962	4,18	moderado	moderado
1963	3,95	moderado	moderado
1964	3,68	moderado	moderado
1965	4,99	moderado	moderado
1966	7,19	alto	severo
1967	5,71	moderado	alto
1968	3,85	moderado	moderado
1969	6,25	moderado	alto
1970	3,31	moderado	moderado
Média	4,96	moderado	moderado
ICDa médio calculado	4,94	moderado	moderado

TABELA 6 - Valores dos ICDA para os anos de 1991, 1993-1996, em Florianópolis, e classificação da exposição à chuva dirigida.

<i>Ano</i>	<i>ICDa (m²/s)</i>	<i>Nível de exposição Lacy/Chand e Bhargava (2002)</i>	<i>Recomendação BRS Digests 23 e 127</i>
1991	4,88	moderado	moderado
1993	4,25	moderado	moderado
1994	5,67	moderado	alto
1995	6,38	moderado	alto
1996	5,86	moderado	alto
Média	5,41	moderado	alto
ICDa médio calculado	5,40	moderado	alto

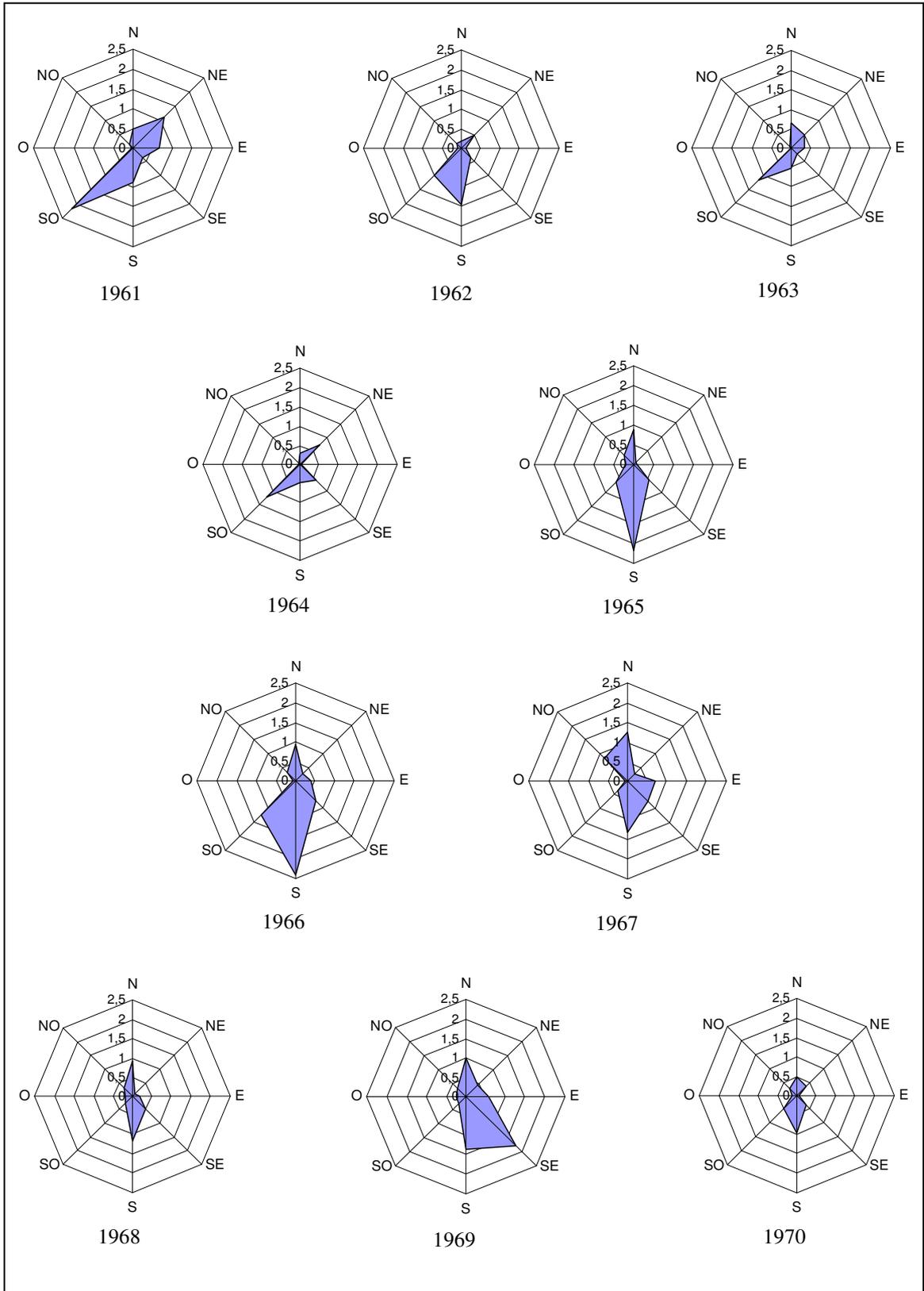


FIGURA 39 - Índices de Chuva Dirigida direcionais anuais (m²/s), Florianópolis 1961-1970.

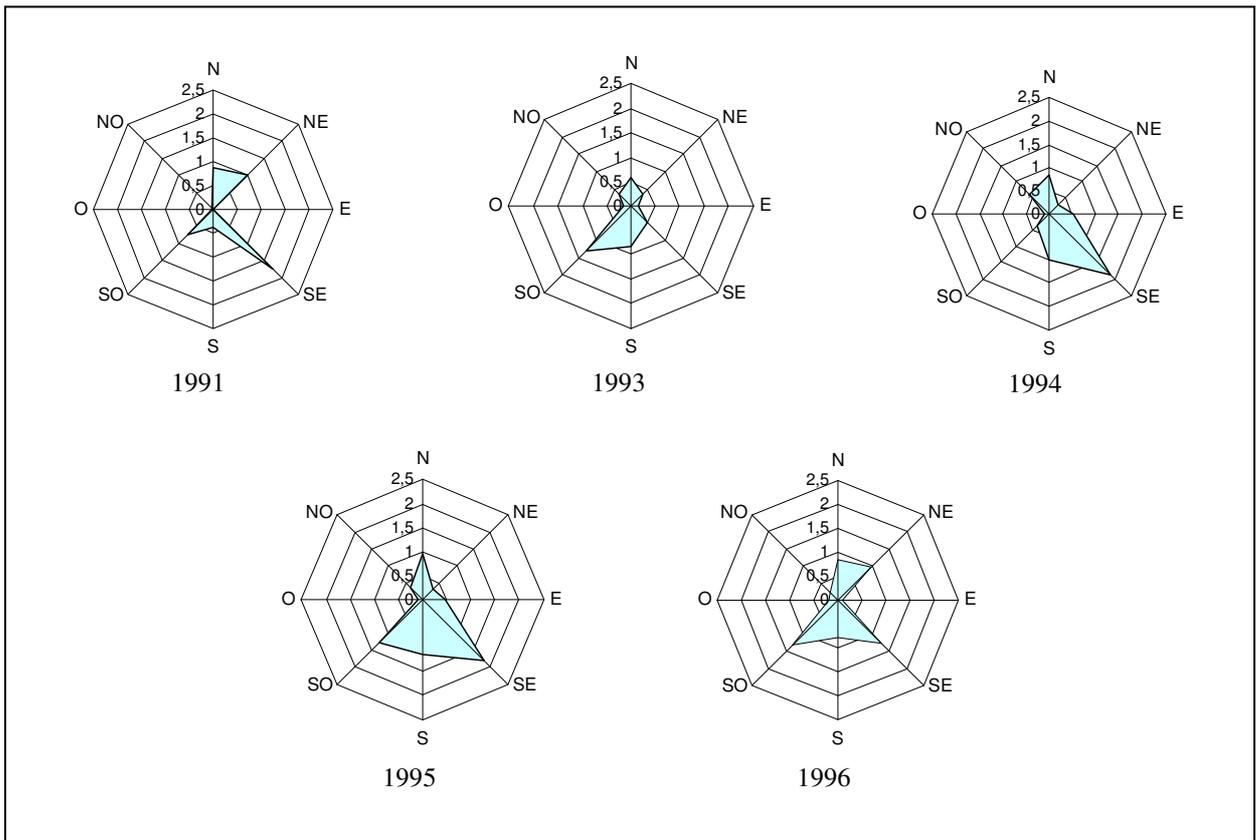


FIGURA 40 - Índices de Chuva Dirigida direcionais anuais, Florianópolis 1991/1993-1996.

4.3 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA MENSAIS E ÍNDICES DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAIS MENSAIS

Na Tabela 7, são apresentados os valores do ICD mensais médios para os três períodos analisados. No período de 1961-1970, os maiores valores de ICD mensais foram obtidos para os meses de janeiro a março e setembro a dezembro. Os ICD dos meses de janeiro, fevereiro, março e setembro neste período representam cada um 11% do valor do ICDA, o de outubro 10% e os de novembro e dezembro 9% do valor do ICDA. No período de 1991/1993-1996, os maiores ICD mensais foram obtidos nos meses de janeiro a março, novembro e dezembro, sendo que os meses de dezembro e fevereiro representaram 16% e 14% do ICDA desse período, respectivamente, janeiro 12% e novembro e março 11%. No período de setembro/05-agosto/06, os maiores valores ocorreram nos meses de janeiro a março e setembro a dezembro, sendo o maior valor obtido em setembro de 0,52 m²/s, representando 25% do valor do ICDA do período. Neste período, o ICD de janeiro representou 12% do ICDA, março 13%, outubro, novembro e dezembro 9% e fevereiro 7%.

TABELA 7 - Índices de chuva dirigida mensais e índice de chuva dirigida anual (m^2/s), Florianópolis, 1961-1970, 1991/1993-1996 e set/05 a ago/06.

	<i>ICD mensal médio (m^2/s)</i>		
	1961-1970	1991/1993-1996	set/05-ago/06
Janeiro	0,55	0,66	0,25
Fevereiro	0,54	0,74	0,14
Março	0,52	0,57	0,26
Abril	0,28	0,17	0,03
Mai	0,27	0,35	0,09
Junho	0,32	0,31	0,03
Julho	0,30	0,25	0,04
Agosto	0,29	0,14	0,11
Setembro	0,52	0,38	0,52
Outubro	0,47	0,37	0,19
Novembro	0,43	0,60	0,18
Dezembro	0,43	0,86	0,19
Soma	4,92	5,40	2,03
ICDa	4,94	5,40	2,07

A Tabela 8 apresenta os valores dos ICD mensais de cada ano do período de 1961 a 1970 e os ICD mensais médios durante os 10 anos deste período. Nesta tabela são indicados também os meses que apresentaram o maior índice de chuva dirigida em cada ano do período. Os resultados apontam uma variabilidade dos valores dos índices mensais entre os anos analisados. Ao observar os valores indicados na tabela não é possível apontar um mês como aquele que apresenta sempre o índice mais alto ou que apresente o índice mais alto na maioria dos anos do período analisado.

Na Tabela 9, são apresentados os ICD mensais dos cinco anos do período de 1991, 1993-1996, assim como os ICD mensais médios ocorridos neste período. Os resultados mostram que os meses mais críticos foram os meses do verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e os meses de novembro (último mês da primavera) e março (primeiro mês do outono). Esse resultado relaciona-se com as informações discutidas na revisão bibliográfica de que os meses do verão são os mais chuvosos, no entanto, não se pode afirmar que os meses mais críticos são sempre dessa estação, uma vez que os resultados obtidos para o período de 1961 a 1970 indicaram uma variabilidade bastante grande quanto aos meses com maiores ICD mensais.

TABELA 8 - Valores dos ICD mensais para o período de 1961 a 1970

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	Média	ICD médio calculado
Jan	0,52	0,30	0,84	0,18	0,30	0,76	1,01	0,52	0,69	0,41	0,55	0,55
Fev	0,83	0,40	0,48	0,38	0,17	1,40	0,83	0,22	0,68	0,21	0,56	0,54
Mar	0,64	1,18	0,52	0,47	0,60	0,45	0,19	0,31	0,54	0,18	0,51	0,52
Abr	0,30	0,15	0,02	0,23	0,43	0,76	0,20	0,14	0,34	0,17	0,27	0,28
Mai	0,29	0,22	0,04	0,45	0,31	0,20	0,49	0,03	0,33	0,25	0,27	0,27
Jun	0,34	0,10	0,13	0,24	0,06	0,53	0,20	0,04	0,99	0,57	0,32	0,32
Jul	0,40	0,51	0,17	0,19	0,44	0,23	0,32	0,19	0,31	0,24	0,30	0,30
Ago	0,09	0,04	0,26	0,05	0,94	0,44	0,21	0,11	0,56	0,57	0,33	0,29
Set	1,00	0,50	0,36	0,27	0,40	0,39	0,85	1,00	0,27	0,21	0,53	0,52
Out	0,78	0,22	0,46	0,61	0,31	0,55	0,59	0,50	0,37	0,22	0,46	0,47
Nov	0,63	0,30	0,40	0,20	0,53	0,37	0,37	0,49	0,90	0,12	0,43	0,43
Dez	0,57	0,32	0,20	0,41	0,46	1,05	0,33	0,38	0,22	0,24	0,42	0,42
Mês c/ maior ICD	set	mar	jan	out	ago	fev	jan	set	jun	ago e jun		

TABELA 9 - Valores dos ICD mensais para o período de 1991, 1993-1996.

	91	93	94	95	96	Média	ICD médio calculado
Jan	0,48	0,66	0,40	0,85	0,86	0,65	0,66
Fev	0,30	0,39	1,24	0,78	0,90	0,72	0,74
Mar	0,22	0,32	0,72	0,81	0,81	0,58	0,57
Abr	0,08	0,14	0,33	0,10	0,17	0,16	0,17
Mai	0,22	0,42	0,73	0,01	0,35	0,35	0,35
Jun	0,29	0,16	0,26	0,35	0,49	0,31	0,31
Jul	0,03	0,52	0,41	0,16	0,16	0,26	0,25
Ago	0,15	0,04	0,05	0,18	0,29	0,14	0,14
Set	0,08	0,66	0,05	0,42	0,67	0,38	0,38
Out	0,48	0,33	0,36	0,36	0,31	0,37	0,37
Nov	1,93	0,09	0,40	0,32	0,22	0,59	0,60
Dez	0,59	0,53	0,65	2,64	0,45	0,97	0,87
Mês c/ maior ICD	nov	jan e set	fev	dez	fev		

A partir da Figura 41 que apresenta as rosetas de ICDD médio para os meses do ano no período de 1961-1970, pode-se visualizar que a direção S é a mais crítica para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho e agosto. A direção SO, por sua vez, é a mais crítica nos meses de julho, setembro e dezembro, sendo que no mês de dezembro a direção SE também se apresentou crítica. No mês de novembro, a direção mais crítica foi a SE seguida da N e no mês de outubro, apesar da direção SE apresentar o maior ICDD, a chuva dirigida ficou bem distribuída entre N, NE, E, SE e S.

As rosetas dos ICDD mensais médios do período de 1991, 1993 a 1996 podem ser visualizadas na Figura 42. Observa-se que nos meses com os maiores ICD mensais a direção mais crítica foi a SE exceto no mês de janeiro, no qual as direções do quadrante norte tiveram mais ou menos a mesma intensidade de chuva dirigida que as do quadrante sul. Em dezembro, que foi em média o mês mais crítico do período, as direções que apresentaram os maiores ICDD foram a SE e a S, sendo responsáveis por 54,6% do ICD mensal médio.

Os índices direcionais mensais do período de setembro/2005-agosto/2006 não foram aqui expostos, pois, como o valor do índice anual, reduzido em relação aos outros dois períodos, foi dividido em 16 direções, os resultados ficaram muito pequenos dificultando a visualização nas rosetas e inviabilizando a comparação dos valores entre as direções. Muitos valores ficaram bem próximos de zero e por arredondamento foram considerados nulos.

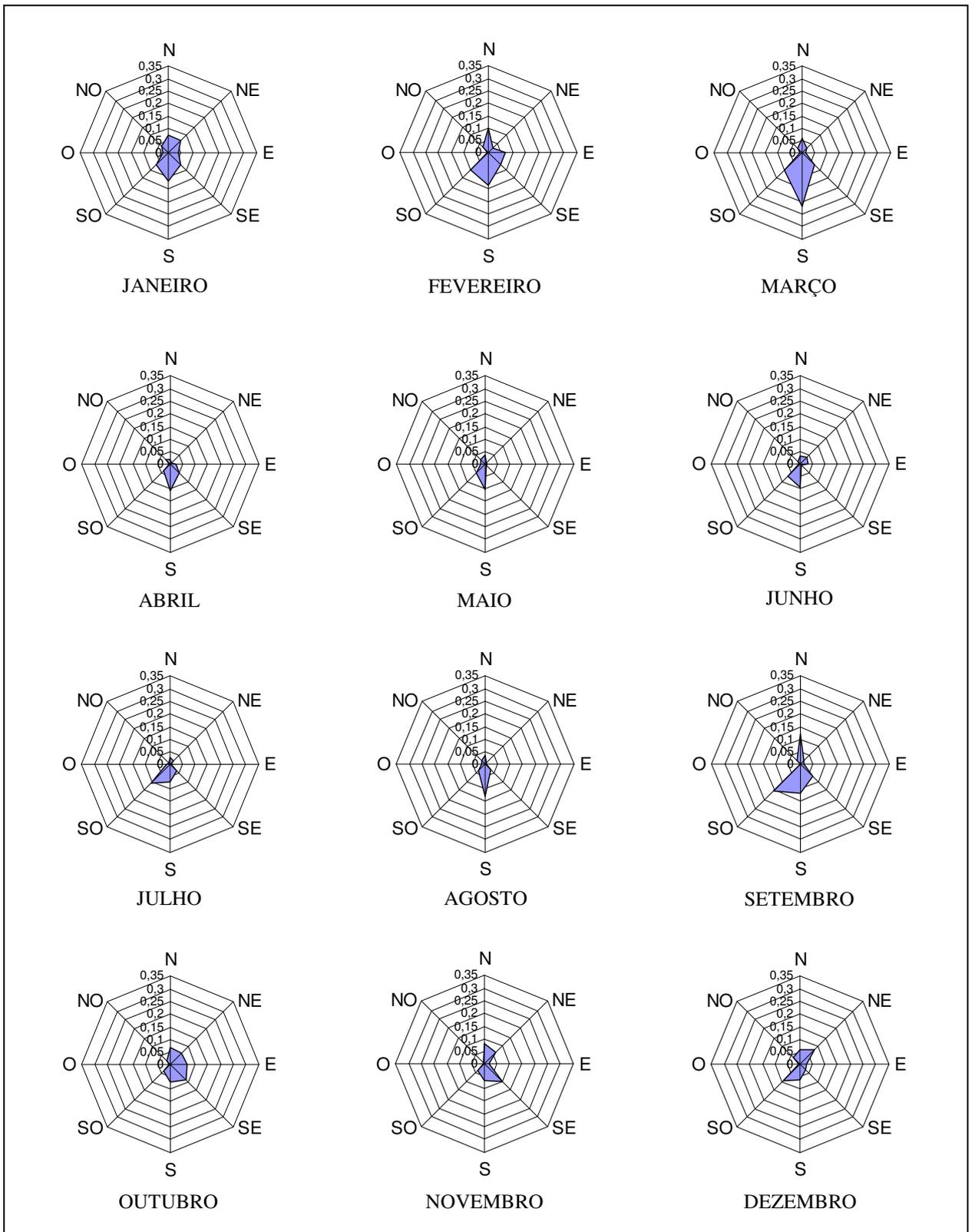


FIGURA 41 - Índices de Chuva Dirigida direcionais mensais (m^2/s), Florianópolis 1961-1970.

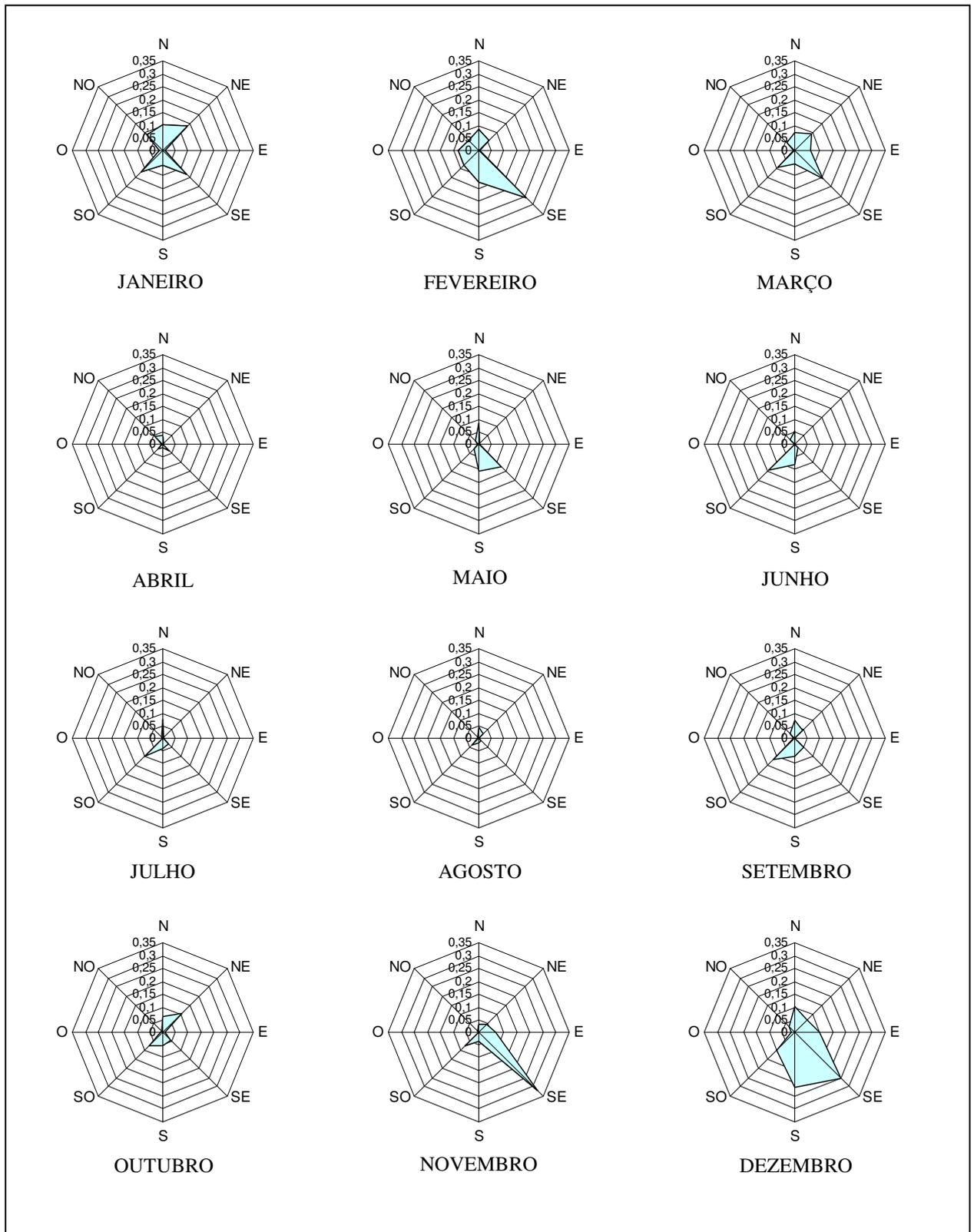


FIGURA 42 - Índices de Chuva Dirigida direcionais mensais (m^2/s), Florianópolis 1991/1993-1996.

4.4 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA SAZONAIS E ÍNDICES DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAIS SAZONAIS

A Figura 43 apresenta as rosetas de ICDD médio nas estações do ano para o período de 1961-1970. Observa-se que a direção S foi a mais crítica no verão, no outono e no inverno. No inverno os ventos S e SO foram os que mais contribuíram para o índice de chuva dirigida. Na primavera as direções N, SE, S e SO foram as mais críticas. No verão, estação com o maior ICD sazonal, a chuva dirigida apresentou-se melhor distribuída entre os quadrantes N e S, 41% e 48% do ICD sazonal desta estação, respectivamente. No outono e no inverno, vê-se claramente que o quadrante sul foi o mais crítico.

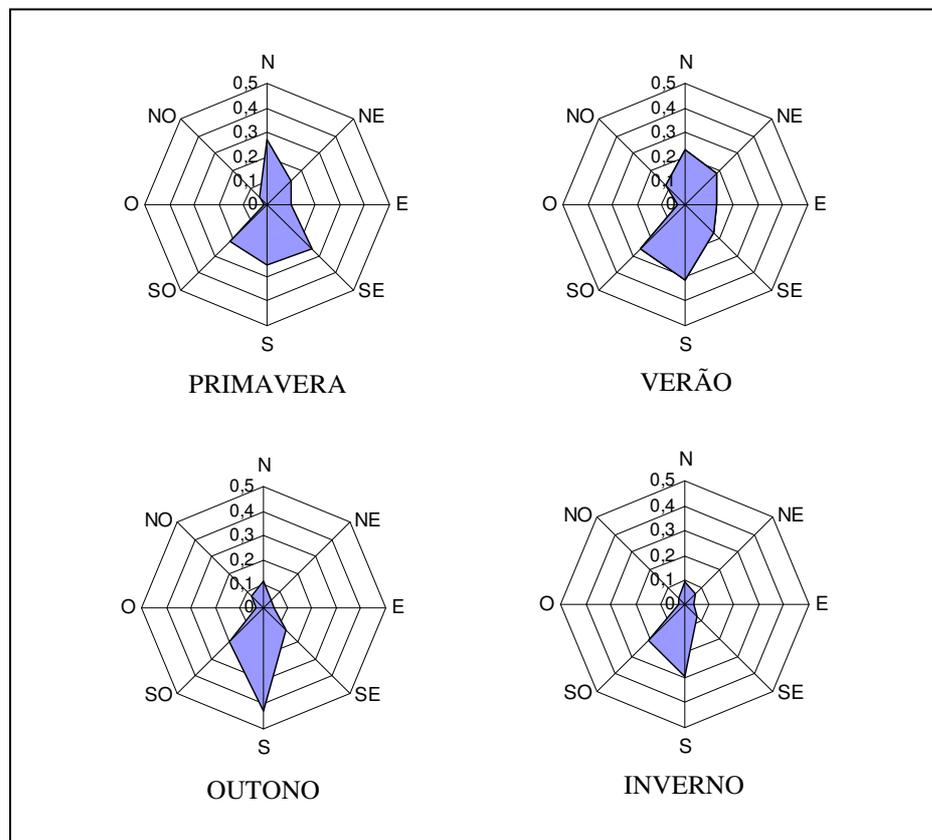


FIGURA 43 - Índices de Chuva Dirigida direcionais sazonais (m^2/s), Florianópolis 1961-1970.

A Figura 44 apresenta as rosetas de ICDD sazonais médios dos cinco anos analisados do período de 1991/1993-1996. Com auxílio das rosetas, observa-se que no verão, na primavera e no outono a direção mais crítica foi a direção SE e, no inverno, a direção SO foi a que mais contribuiu na composição do ICD sazonal. Esse resultado diverge um pouco do período de 1961 a 1970, no qual a direção mais crítica foi a direção S em três das quatro estações do ano. No entanto, o quadrante sul continua sendo o que apresenta mais perigo acerca de problemas com

chuva dirigida. No verão, a estação mais crítica neste período, a direção SE aparece claramente como a mais crítica com um ICDD igual a $0,65\text{m}^2/\text{s}$, 29% do ICD sazonal de verão. As direções SO e N vêm em terceiro com ICDD sazonal de aproximadamente $0,3\text{m}^2/\text{s}$. Merece destaque também a direção NE com ICDD sazonal de $0,26\text{m}^2/\text{s}$.

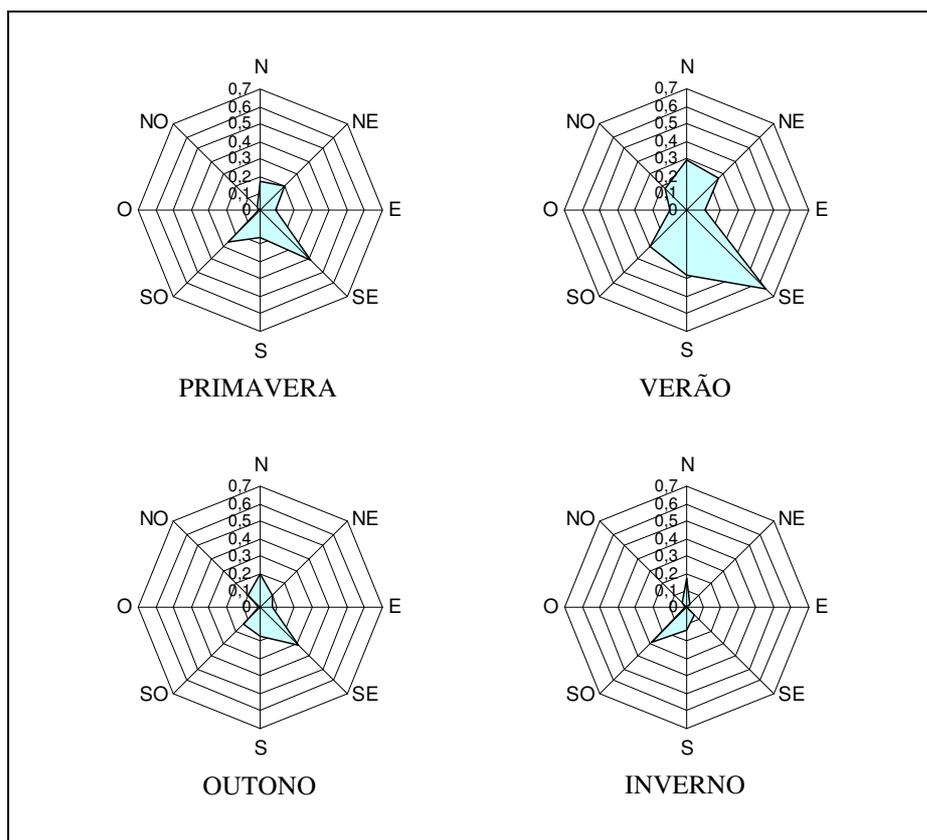


FIGURA 44 - Índices de Chuva Dirigida direcionais sazonais (m^2/s), Florianópolis 1991/1993-1996.

As rosetas de ICDD sazonais estão representadas na Figura 52. É importante lembrar que os dados da estação do LAHIMAR foram fornecidas em 16 direções, por isso os ICDD estão representados em 16 direções. Ao observar as rosetas é possível verificar que em todas as estações do ano as direções mais críticas foram a S, a SSO e a SO, resultado semelhante ao obtido no período de 1961 a 1970, apesar do ICDD deste período ter sido bem menor que o do período de 1961-1970. Na primavera, a estação com o maior ICD sazonal, a direção mais crítica foi a SSO com um ICDD de $0,20\text{m}^2/\text{s}$.

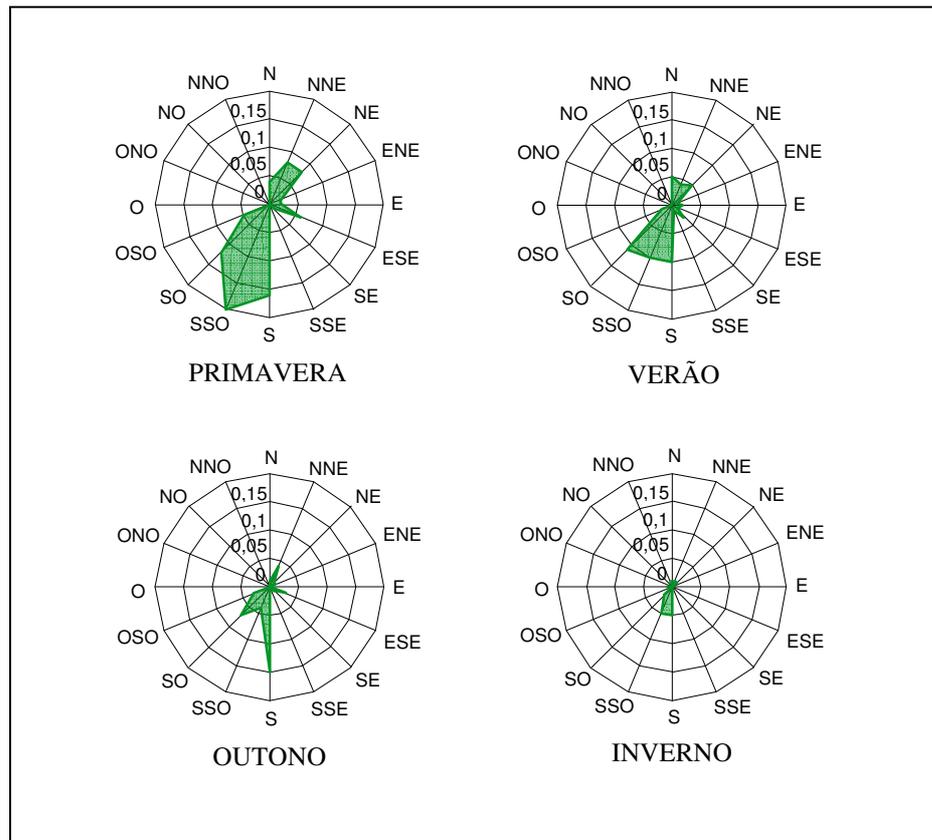


FIGURA 45 - Índices de Chuva Dirigida direcionais sazonais (m^2/s), Florianópolis setembro/05-agosto/06.

A Tabela 10 apresenta os valores dos ICD médios nas estações do ano. No período de 1961-1970, o verão é a estação mais crítica com ICD igual a $1,52m^2/s$, sendo responsável por 31% do ICDA médio. A primavera representa 29% do ICDA médio deste período.

Para o período de 1991/1993-1996, O verão foi a estação mais crítica com um ICD sazonal de 2,27 (42,2% do ICDA médio), o que era esperado, já que os meses que apresentaram os maiores ICD mensais foram precisamente os meses de verão, como foi visto na análise dos resultados dos índices mensais.

O período de setembro/05-agosto/06 apresentou o maior índice na primavera, $0,88 m^2/s$, representando 43% do ICDA do período. O verão apresentou o segundo maior índice, $0,58 m^2/s$, representando 28% do ICDA deste período. Este resultado, em que a primavera apresenta maior índice que o verão, contrariando a tendência dos períodos anteriores, pode ser atribuído à contribuição do mês de setembro, que apresentou o maior ICD mensal neste período. É interessante observar que para os dois primeiros períodos, cujos ICDA foram de valores próximos, a maior diferença nos índices sazonais foi no verão, com um aumento de 33% no valor do ICD sazonal do primeiro para o segundo período.

TABELA 10 - Índices de chuva dirigida sazonais e índice de chuva dirigida anual (m^2/s), Florianópolis, 1961-1970, 1991/1993-1996 e set/05 a ago/06.

	<i>ICDsazonal médio (m^2/s)</i>		
	1961-1970	1991/1993-1996	set/05-ago/06
Primavera	1,43	1,34	0,88
Verão	1,52	2,27	0,58
Outono	1,06	1,09	0,40
Inverno	0,91	0,70	0,18
Soma	4,92	5,40	2,04
ICDa	4,94	5,40	2,07

4.5 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA EM PAREDE VERTICAL

Os valores dos índices de chuva dirigida em parede vertical (I_0) para o período de 1961-1970 estão representados na Figura 46. O gráfico apresenta a fachada com a face direcionada para S como sendo a mais crítica, seguida pela fachada SO e depois pela SE. A fachada N é a quarta com maior índice de exposição. As fachadas O e NO são as menos afetadas.

Observando os gráficos dos índices de chuva dirigida em parede vertical para cada ano do período analisado nas Figuras 47 e 48, observa-se que, em geral, os gráficos apresentam um padrão parecido, com as fachadas S e SO mais expostas. As exceções são para os anos de 1967 e de 1969 que mostram uma tendência de maior concentração de chuva na fachada SE. Nesses gráficos permanece a tendência indicada pelas rosetas de ICDD para maior exposição na direções S, SO e SE, sendo o quadrante sul o que detém maior risco de problemas com chuva dirigida.

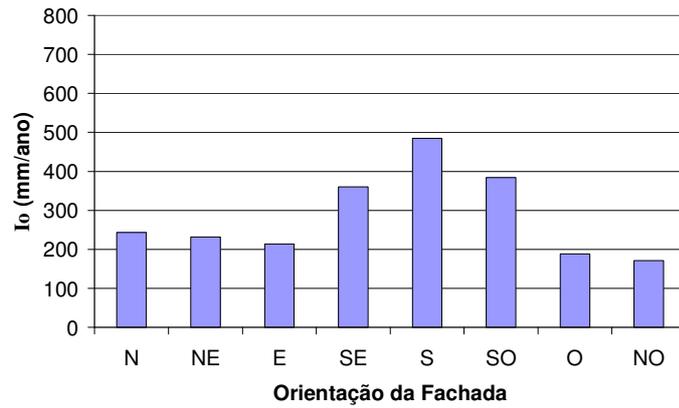


FIGURA 46 – Índice de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis 1961-1970

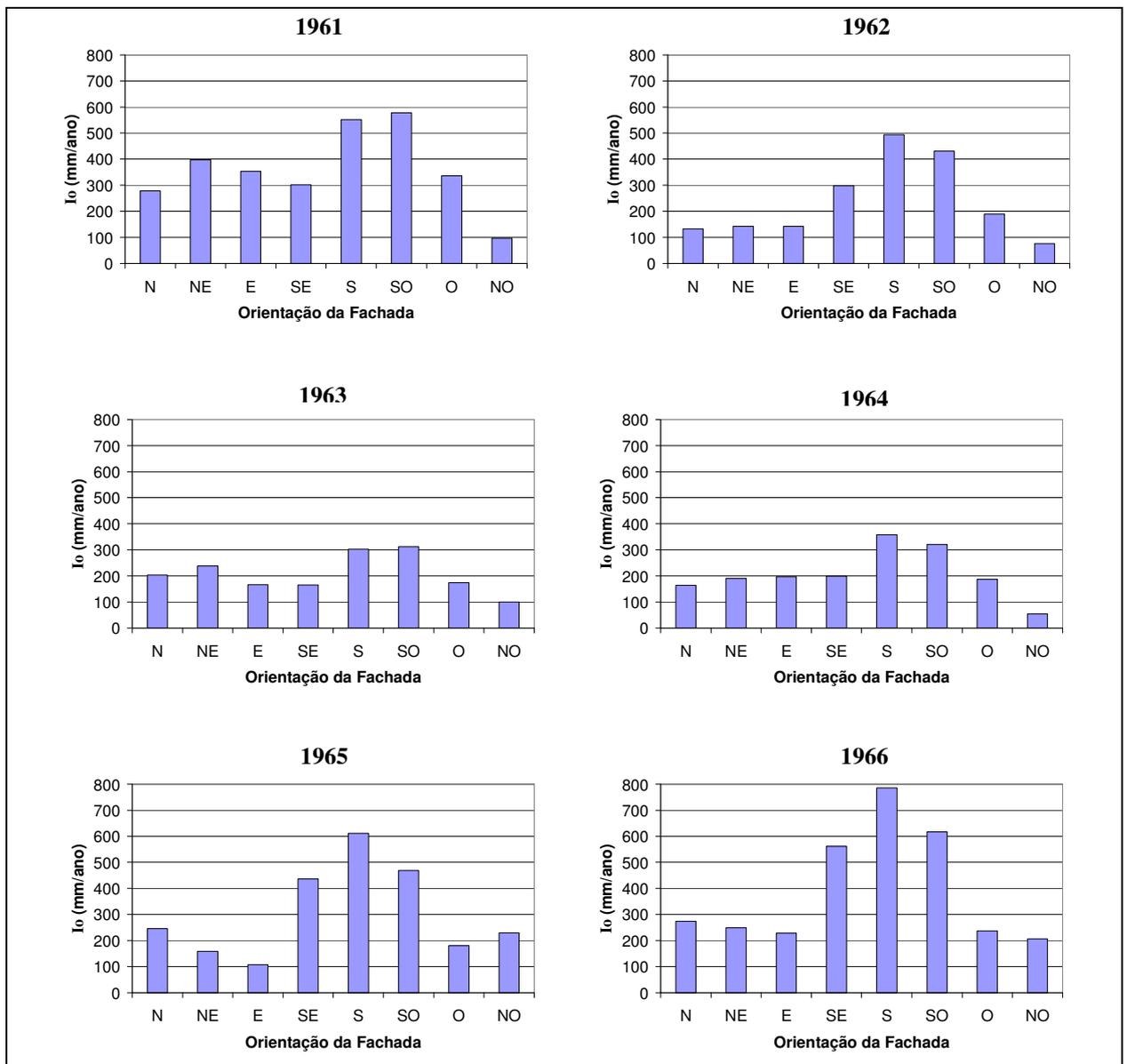


FIGURA 47 – Índices de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis anos de 1961 a 1966.

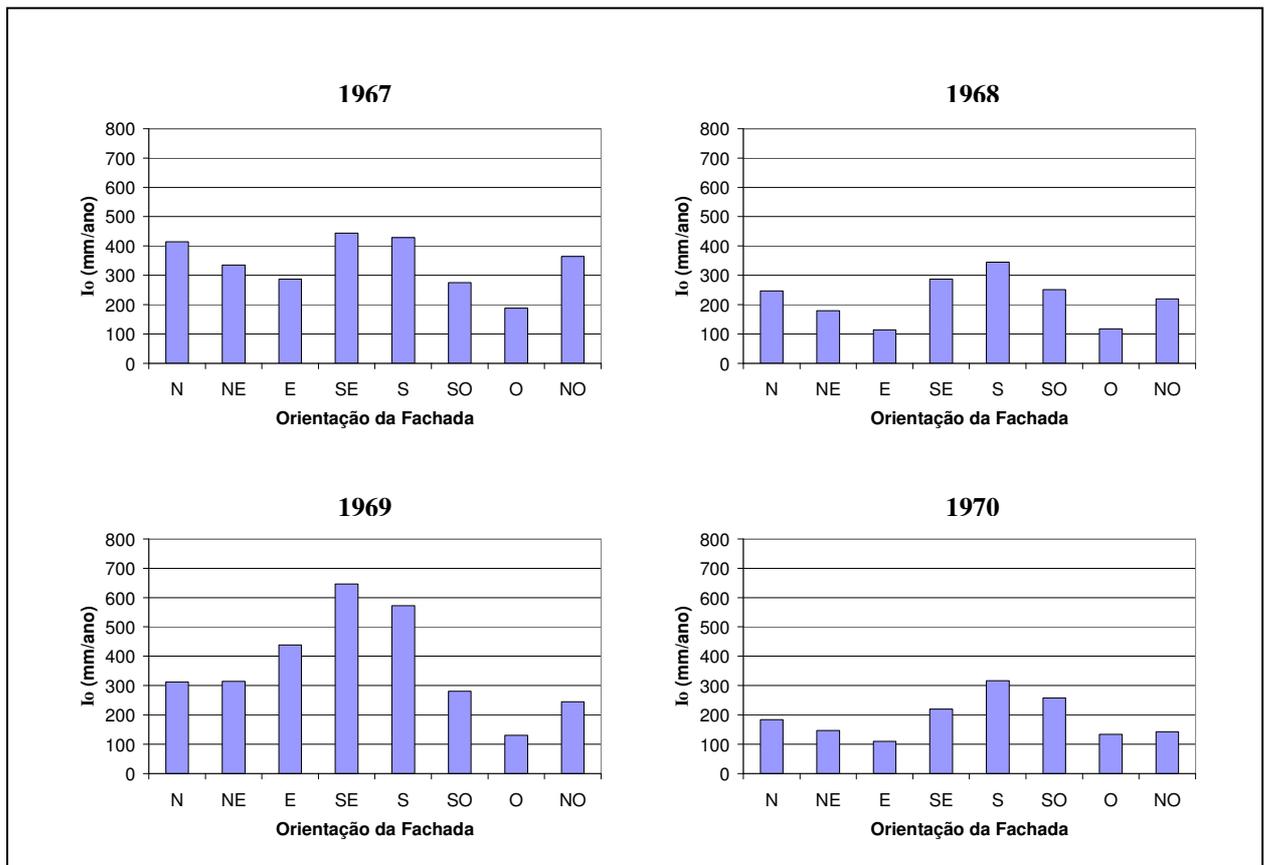


FIGURA 48 – Índices de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis anos de 1967 a 1970.

Os índices de chuva dirigida em parede vertical médios para o período de 1991/1993-1996 são apresentados pelo gráfico da Figura 49. Observa-se que, apesar da direção SE ter se destacado como a direção mais agressiva quanto à chuva dirigida no período de 1991, 1993 a 1996, a fachada mais exposta foi a fachada S, assim como o indicado nos resultados do período de 1961 a 1970. A segunda fachada mais crítica foi a fachada SE. Esse resultado está claramente ligado ao fato desta direção ter sido a maior contribuinte do ICDa médio. As fachadas E e SO aparecem em terceiro lugar em termos de exposição com índices iguais e com pouca diferença em relação à fachada N. As fachadas O e NO são as menos críticas apresentando os menores índices.

A Figura 50 apresenta os índices de chuva dirigida em parede vertical (I_0) em cada ano do período de 1991/1993-1996. Os resultados indicam que a fachada S foi a mais exposta em quase todos os anos, menos no ano de 1994 no qual a fachada SE foi a mais crítica. Houve uma variação nos índices de um ano para outro principalmente nos índices das fachadas SE e SO.

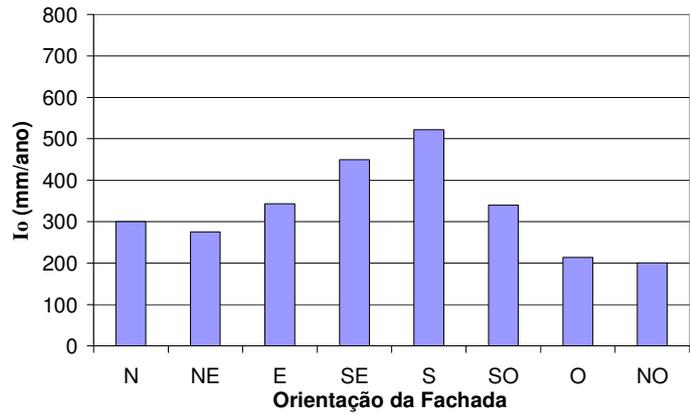


FIGURA 49 – Índice de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis 1991/1993-1996

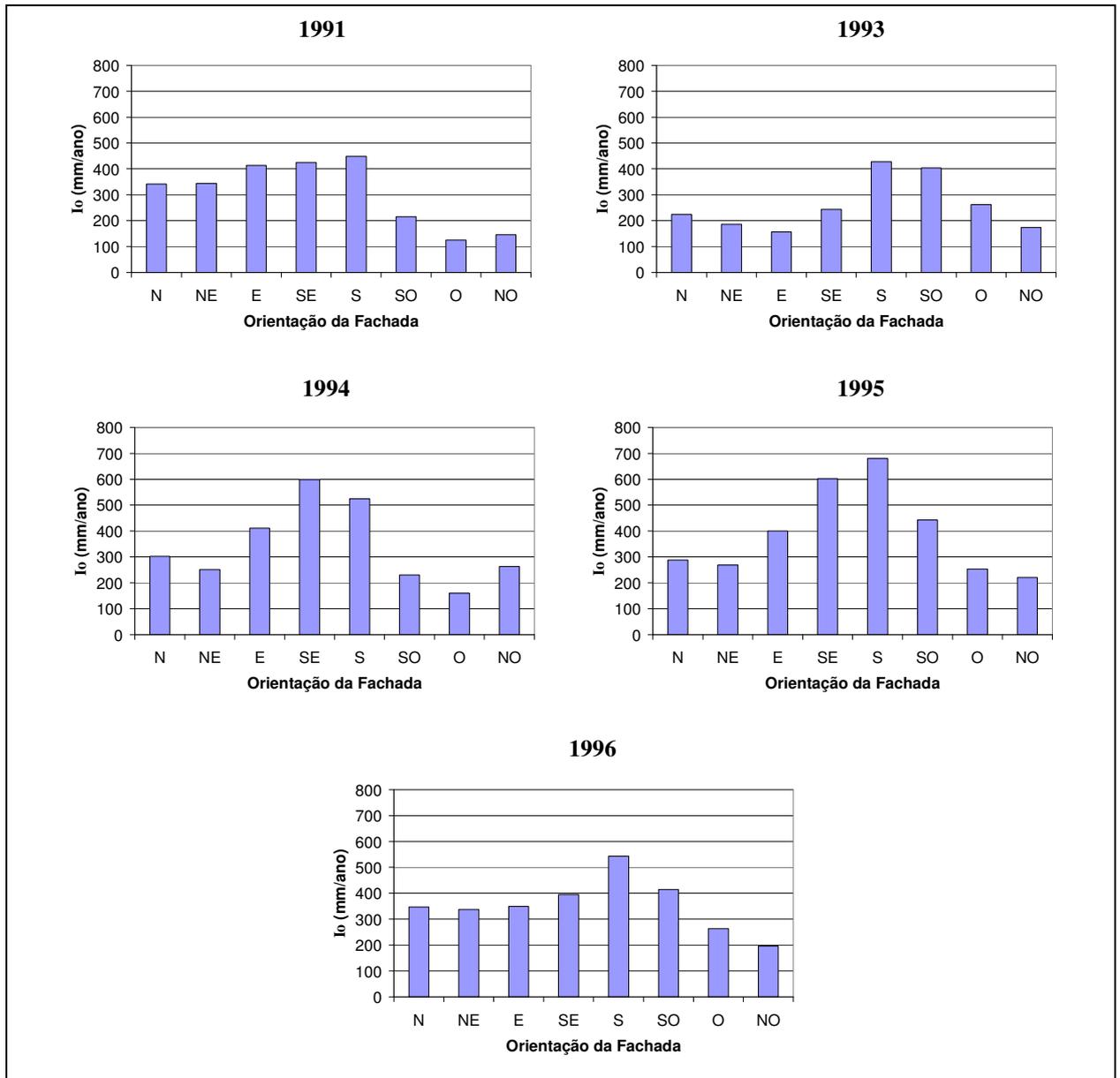


FIGURA 50 – Índices de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis, anos de 1991 e 1993 a 1996.

Os índices de chuva dirigida em parede vertical (I_0) do período de setembro/2005-agosto/2006 são apresentados pela Figura 51 . Nesse período, observa-se que o quadrante sul se apresenta como o mais crítico, sendo as direções S e SO as que apresentam os maiores valores. A direção NO foi a menos crítica.

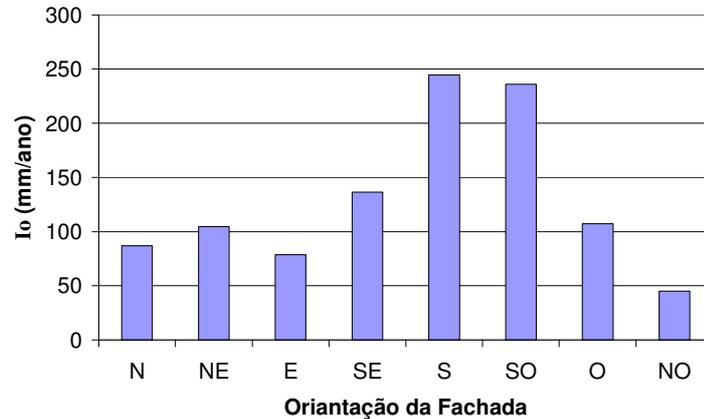


FIGURA 51 - Índice de Chuva Dirigida em Parede Vertical – Florianópolis, set/2005 a ago/2006

A Figura 52 apresenta um gráfico de linhas com os valores dos I_0 dos três períodos e a média desses. O gráfico indica que a fachada mais crítica é a fachada com face para S. As fachadas SE e SO são as segundas mais críticas. E claramente observa-se que as fachadas NO e O são as menos expostas à chuva dirigida.

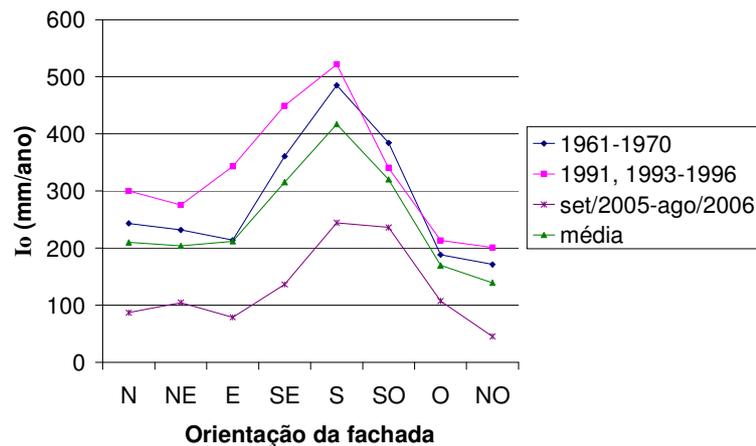


FIGURA 52 - Índices de Chuva Dirigida em parede vertical (mm/ano), Florianópolis 1961-1970, 1991/1993-1996 e setembro/05-agosto/06.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A chuva dirigida tem motivado muitos estudos no mundo devido à sua ação deletéria nas construções, sendo fonte de água que causa problemas de umidade e deterioração das fachadas e seus componentes, além de ser um importante agente que influencia o conforto higrotérmico das edificações. Tendo em vista o reduzido número de trabalhos sobre o tema no Brasil, houve uma motivação no sentido de investigar o comportamento deste evento em Florianópolis, onde nenhum trabalho havia sido desenvolvido até então.

A maior dificuldade encontrada no desenvolvimento do presente trabalho foi a obtenção de dados em quantidade e qualidade suficientes para que se pudesse chegar a bons resultados. Entre as séries de dados conseguidas apenas a da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz possui 10 anos, quando o recomendado para análises de clima é que se tenham séries de 20 a 30 anos devido às possíveis mudanças climáticas, sendo 10 anos o tamanho mínimo recomendado.

Além disso, por ser a chuva dirigida um evento resultante da interação dos fenômenos vento e chuva, para sua avaliação o ideal seria trabalhar com dados horários, evitando, assim, as uniformizações e obtendo resultados mais precisos. No entanto, dados horários nem sempre são medidos nas estações meteorológicas brasileiras e mesmo quando o são, os arquivos climáticos dificilmente são fornecidos, mesmo que o objetivo seja o desenvolvimento de pesquisas, devido à política de proteção desses dados pelas instituições que gerenciam as estações meteorológicas no Brasil. Em muitos casos, os dados horários ou brutos são fornecidos apenas mediante compra, contudo, a pesquisa pode se tornar inviável devido ao montante necessário para adquiri-los.

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que a área objeto deste estudo está submetida a níveis de exposição à chuva dirigida que variam de moderado a alto, segundo a metodologia de Lacy/Chand e Bhargava (2002) e de acordo com as recomendações dos BRS Digests 23 e 127 *apud* Lacy (1977) quanto a locais próximos ao mar. Houve uma grande variabilidade nos resultados dos índices anuais de chuva dirigida entre os anos de cada período analisado e dos índices de um período para o outro, conseqüência da característica estocástica do vento e da chuva. O maior valor de ICDA médio foi de 5,4 m²/s para o período de 1991/1993-1996. A diferença entre o maior e o menor valor de ICDA médio foi de 62%. O maior ICDA encontrado foi no ano de 1966, com valor de 7,19m²/s, o que o classifica como sob uma exposição severa à chuva dirigida, segundo a metodologia adotada.

Quanto ao comportamento da chuva dirigida durante o ano, não foi possível eleger um mês como sendo o mais crítico em relação à ação da chuva dirigida, no entanto ficou clara uma tendência de haver maiores índices nos meses do verão.

Pode-se afirmar ainda que os ventos provenientes do quadrante sul (SE, S e SO) são os que possuem maior agressividade associada à chuva dirigida para as construções na área de estudo. Entre eles, não é possível indicar o que possui a maior agressividade, pois houve variações entre um e outro período analisado, ora se destacando os ventos de direção SE, ora os de S e ora os de SO.

Conclui-se também, diante dos resultados dos índices de chuva dirigida em parede vertical, que a orientação de fachada mais exposta aos efeitos da chuva dirigida em Florianópolis é a fachada com face para a direção S. Isso se deve ao fato de que esta fachada recebe os ventos de S, SE e SO que são precisamente os que trazem a maior quantidade de chuva dirigida. Depois da fachada S, as fachadas com orientação para SE e SO são as que mais sofrem a ação do evento. Mesmo quando os ICDd médios foram maiores nas direções SE e SO os índices de chuva dirigida em parede vertical foram menores nas fachadas com essas direções do que na fachada S, pois elas recebem chuva dirigida vinda das direções E, SE, S e S, SO, O respectivamente, sendo que as direções E e O geralmente foram as que apresentaram os menores índices anuais de chuva dirigida. Diante disso, é importante que os projetistas dêem atenção especial para as fachadas com essas orientações quando da concepção de novas edificações.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para novas pesquisas sugere-se:

- Realizar a implantação de coletores de chuva dirigida livre e em paredes de edificações juntamente com estações meteorológicas para iniciar uma base de dados sobre o evento.
- Fazer novas análises de índices de chuva dirigida com dados horários de precipitação pluviométrica e de vento.
- Fazer análises das intensidades máximas de chuva dirigida para avaliar quais as direções mais críticas quanto à estanqueidade de elementos de vedação.
- Realizar a verificação da validade dos coeficientes adotados nos cálculos de chuva dirigida em parede vertical para a área de estudo e para outras regiões do Brasil.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 Pavimentos – Parte 4: Fachadas e Paredes Internas, **Projeto de Norma 02:136.01.004**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <cobracon>. Acesso em: nov/2004.

BAUER, E. **Resistência à Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos**: uma análise de desempenho, 1987. xvi, 168 f. : il. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1987.

BLESSMAN, J. **O Vento na Engenharia Estrutural**. 1. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade, UFRGS, 1995. 166 p.

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: jan/2005.

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: jun/2006.

BRITISH STANDARDS INSTITUTE. **BS 5262**: Code of practice for external rendered finishes. BSI, 1976. 21p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTE. **BS 8104**: Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain. BSI, 1992. 74p.

CARLO, J. C. **Diferenças na Simulação do Consumo de Energia Elétrica em Edificações Decorrentes do Uso de Arquivos Climáticos de Sítios e Anos Distintos**, 2002. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2002.

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: jan/2005.

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: jan/2005.

CIRIA. Wall Technology, Volume A: Performance Requirements. **Construction Industry Research and Information Association**. Special Publication 87, 1992.

DAVISON, J.I. **Rain Penetration and Design Detail for Masonry Walls**. Building Practice Note. Division of Building Research, National Research Council of Canada. Ottawa, 8 p., out/1979.

DIAS, F.P.; HERRMANN, M.L. de P. Susceptibilidade a deslizamentos: Estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis – SC. **Caminhos de Geografia**. Ano 3, v. 6, p. 57-73, jun/2002. Disponível em: <www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html>. Acesso em: fev/2006.

FAZIO, P.; MALLIDI, S.R.; ZHU, D.A Quantitative Study for the Measurement of Driving Rain Exposure in the Montreal Region. **Building and Environment**, v. 30, n. 1, p. 1-11, jan/1995. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: nov/2004.

GAPLAN. **Atlas de Santa Catarina**. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Florianópolis: GAPLAN/SUEGI; [Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro], 1986. 173 p.: il., mapas.

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: jun/2006.

GILMAN, C.S. Rainfall. In: **Handbook of Applied Hydrology**: a Compendium of Water-Resources Technology. McGraw-Hill, 1964. seção 9, p. 1-68.

GOULART, S.G.V. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. 1993. 111 f. Disponível em <www.labeee.ufsc.br>. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

GOULART, S.G.V.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projetos e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2ª ed. Florianópolis:

Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, out. 1998. arquivo pdf. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/publicacoes.html>>.

HJLMFELT, A.T.; CASSIDY, J.J. **Hydrology for Engineers and Planners**. 1 ed. Iowa: The Iowa State University Press, 1975, 210p.

HOGBERG, Anneli B.; KRAGH, Mikkel K.; van MOOK, Fabien J. R. **A Comparison of Driving Rain Measurements with different Gauges**. 5th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Goteborg, 24–26 August 1999. Disponível em: <<http://sts.bwk.tue.nl/drivingrain/goteborg2.pdf>> Acesso em: nov/2006.

IOSHIMOTO, E. Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações Habitacionais. **Anais EPUSP, Sér. A. Pt. 5**, São Paulo, p. 361-378, 1988.

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: mar/2005.

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.

LACY, R.E. **Survey of Meteorological Information for Architecture and Building**. Publicado anteriormente no CIB como report n°15, Rotterdam, 1972. (S.l): Building Research Station, Departamento of the Environment, 22 p., 1972.

LACY, R.E.; SHELLARD, H.C.. An Index of Fringing Rain, **Meteorol. Mag.** **91**, p. 177-184, 1962.

LIDDAMENT, Martin W. **Air infiltration calculation techniques - an applications guide: catálogo de produtos**. Great Britain: AIVC, 1986. Paginação irregular.

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>.

MARCELINO, I.P.O. **Análise de episódios de tornados em Santa Catarina**: caracterização sinótica e mineração de dados / I. P. O. Marcelino. – São José dos Campos: INPE, 2003. 223p. – (INPE-12145-TDI/969).

MARSH, P. **Air and Rain Penetration of Buildings**. London: The Construction Press, 1977.

MEIRA, Alexandra Rocha; PADARATZ, Ivo José. **Levantamento de Manifestações Patológicas na Visão dos Usuários das Edificações**: um estudo de caso. Recife, PE. 1999. 9p. In: . Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho, 1º, Recife, 1999. Artigo Técnico. Disponível em: <www.infohab.org.br>.

MELHORAMENTOS **Dicionário da Língua Portuguesa** Comp. Melhoramentos de São Paulo, 8ª edição, 1994. ISBN 85-06-01102-7.

MONTEIRO, M.A. Caracterização Climática do Estado de Santa Catarina: Uma Abordagem dos Principais Sistemas Atmosféricos que atuam durante o Ano. **Geosul**: Revista do Departamento de Geociências da UFSC, Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 79-102, Editora da UFSC, jan./jun. 2001.

MONTEIRO, M.A. **Dinâmica Atmosférica e a Caracterização dos Tipos de Tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá**. 2007. 221 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, fev/2007.

MONTEIRO, M.A; FURTADO, S. O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. **Geosul**: Revista do Departamento de Geociências da UFSC, Florianópolis, ano 10, n. 19/20, p. 117-133, 1995.

MUSTELIER, N.L. **Avaliação do Desempenho de Blocos e Argamassas com Cinza Pesada de Carvão Mineral Incorporados para Seu Aproveitamento nos Conjuntos Habitacionais**. 2002. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002

NERILO, N.; MADEIROS, P.A.; CORDEIRO, A. **Chuvas Intensas no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Ed. Da UFSC; Blumenau: Ed. da FURB, 2002, 156 p.

NORE, K.; BLOCKEN, B.; JELLE, B.P.; THUE, J.V.; CARMELIET, J. A Dataset of Wind-Driven Rain Measurements on a Low-Rise Test Building in Norway. **Building and Environment**, v.42, n. 5, p.2150-2165, fev/2007. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: fev/2007.

PADARATZ, I. J. **Velocidade Básica do Vento no Brasil**. 1977. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, mai/1977.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSINGAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R. **Atlas Climatológico Digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.

PANWARDEN, A.D.; WISE, A.F.E. **Wind Environment around Building**. London: H. M. S. O., 1975.

PEREZ, A.R. Umidade nas Edificações: Recomendações para a Prevenção da Penetração de Água pelas Fachadas. In: **Tecnologia de Edificações (1ª parte)**. São Paulo, PINI, IPT-Divisão de Edificações, 1988. p. 571-574.

PETRUCCI, H.M.C. **Manchamento das Fachadas dos Edifícios por Contaminação Atmosférica**: Interação entre as Condições Ambientais e a Forma Construída. Foz do Iguaçu, PR. 2002. p. 1443-1451 In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Disponível em: <www.infohab.org.br>. Acesso em: 31/10/2005.

PETRUCCI, H.M.C.; DAL MOLIN, D.C.C.; LOREDO-SOUZA, A.M. **Interação entre Escorrimento da Água da Chuva e Características Formais da Fachada na Ocorrência de Manchas por Contaminação Atmosférica**. São Paulo, SP. 2004. 14 p. Conferência Latino-americana de Construção Sustentável: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, 2004, São Paulo, SP. Disponível em: <www.infohab.org.br>. Acesso em: 31/10/2005.

PINTO, N.L. de S.; HOLTZ, A.C.T.; MATINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia Básica**. 6. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 1998, 278 p.

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

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: jan/2006.

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, nov/2005. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: Set/2005.

SABBATINI, F.H. Umidade por Infiltração em Paredes de Alvenaria. **Anais EPUSP, Sér. A. Pt. 5**, São Paulo, p. 95-104, 1988.

SAHAL, N. Proposed approach for defining climate regions for Turkey based on annual driving rain index and heating degree-days for building envelope design. **Building and Environment**, v. 41, n. 4, p. 520-526, abr/2006. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: fev/2006.

SATTLER, Miguel Aloysio. **Banco de dados climáticos para Porto Alegre**. Florianópolis, SC. 1991. p. 256-259. In: Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações, 1º, Florianópolis, 1991. Artigo técnico. Disponível em: <www.infohab.org.br>.

SAUER, P. An Annual Driven-Rain Index for China. **Building and Environment**, v. 22, n. 4, p.239-240, 1987.

SILVA, Antonio César S.B.; GIRALT, Romulo Plentz. **Estabelecimento de um Índice de Chuva Dirigida para Porto Alegre**. Rio de Janeiro, RJ. p.605-610. ENTAC 95, Rio de Janeiro, 1995. Artigo Técnico. Disponível em: <www.infohab.org.br>.

STRAUBE, J.F.; BURNETT, E.F.P. **Driving Rain on Building Façades**. Anais de CLIMA 2000, Bruxelas, 30/agosto a 02/setembro/1997.

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.

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: set/2006. Ph. D. thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Netherlands, 2002.

ZHU, D.; MALLIDI, S.R.; FAZIO, P. Approach for Urban Driving Rain Index by Using Climatological Data Recorded at Suburban Meteorological Station. **Building and Environment**, v. 30, n. 2, p. 229-236, Jan/1995a. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: nov/2004.

ZHU, D.; MALLIDI, S.R.; FAZIO, P. Quantitative Driving Rain Exposure on a Vertical Wall at Various Canadian Cities. **Building and Environment**, v. 30, n. 4, p. 533-544, Out/1995b. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: nov/2004.

ANEXO A - Tabelas com exemplos dos dados utilizados

TABELA 11 – Dados da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz com transformação das medidas de vento de acordo com o número de medições diárias de precipitação (Florianópolis, 01 a 03/01/1961).

<i>Ano</i>	<i>Mês</i>	<i>Dia</i>	<i>Hora</i>	<i>Direção do vento (graus)</i>	<i>Direção do vento (8 direções) (graus)</i>	<i>Velocidade do vento (m/s)</i>	<i>Precipitação (mm)</i>	<i>Moda da direção do vento</i>	<i>Velocidade média (m/s)</i>
1961	1	1	0	20	360	3,09	0	360	3,09
1961	1	1	1	20	360	2,57	-		
1961	1	1	2	20	360	2,06	-		
1961	1	1	3	0	0	0	0	360	2,31
1961	1	1	4	0	0	0	-		
1961	1	1	5	0	0	0	-		
1961	1	1	6	0	0	0	-		
1961	1	1	7	0	0	0	-		
1961	1	1	8	0	0	0	-		
1961	1	1	9	0	0	0	9,6	0	0,00
1961	1	1	10	270	270	1,54	-		
1961	1	1	11	230	225	4,12	-		
1961	1	1	12	220	225	5,14	-		
1961	1	1	13	240	225	3,60	-		
1961	1	1	14	240	225	4,62	-		
1961	1	1	15	270	270	2,57	22,6	225	3,60
1961	1	1	16	0	0	0	-		
1961	1	1	17	100	90	1,54	-		
1961	1	1	18	170	180	1,54	-		
1961	1	1	19	0	0	0	-		
1961	1	1	20	0	0	0	-		
1961	1	1	21	0	0	0	3,1	0	1,54
1961	1	1	22	0	0	0	-		
1961	1	1	23	0	0	0	-		
1961	1	2	0	0	0	0	0	0	
1961	1	2	1	0	0	0	-		
1961	1	2	2	0	0	0	-		
1961	1	2	3	0	0	0	0	0	0,00
1961	1	2	4	180	180	1,03	-		
1961	1	2	5	0	0	0	-		
1961	1	2	6	200	180	1,03	-		
1961	1	2	7	200	180	1,03	-		
1961	1	2	8	180	180	2,06	-		
1961	1	2	9	180	180	2,06	0	180	1,44
1961	1	2	10	100	90	2,06	-		
1961	1	2	11	100	90	2,06	-		
1961	1	2	12	90	90	2,57	-		
1961	1	2	13	80	90	3,09	-		
1961	1	2	14	80	90	2,06	-		
1961	1	2	15	90	90	2,57	0	90	2,40
1961	1	2	16	110	90	2,57	-		
1961	1	2	17	100	90	2,06	-		
1961	1	2	18	150	135	3,60	-		
1961	1	2	19	130	135	2,57	-		
1961	1	2	20	160	135	2,57	-		
1961	1	2	21	170	180	1,03	0	135	2,40
1961	1	2	22	180	180	1,54	-1		
1961	1	2	23	0	0	0	-1		
1961	1	3	0	0	0	0	0	0	1,54

TABELA 12 – Dados de vento da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz e de precipitação da estação meteorológica de São José, com transformação das medidas de vento de acordo com o número de medições diárias de precipitação (Florianópolis, 01 a 03/01/1993).

<i>Ano</i>	<i>Mês</i>	<i>Dia</i>	<i>Hora</i>	<i>Direção do vento (graus)</i>	<i>Direção do vento (8 direções) (graus)</i>	<i>Velocidade do vento (m/s)</i>	<i>Precipitação (mm)</i>	<i>Moda da direção do vento</i>	<i>Velocidade média (m/s)</i>
1993	1	1	0	240	225	1,5			
1993	1	1	1	-	-	-			
1993	1	1	2	70	45	3,0			
1993	1	1	3	0	0	0			
1993	1	1	4	0	0	0			
1993	1	1	5	0	0	0			
1993	1	1	6	330	315	1,5			
1993	1	1	7	270	270	1,5			
1993	1	1	8	0	0	0			
1993	1	1	9	0	0	0	4,6	0	1,9
1993	1	1	10	0	0	0			
1993	1	1	11	320	315	1,5			
1993	1	1	12	250	225	2,0			
1993	1	1	13	0	0	0			
1993	1	1	14	140	135	4,6			
1993	1	1	15	160	135	3,6	0	0	2,9
1993	1	1	16	100	90	4,6			
1993	1	1	17	140	135	6,1			
1993	1	1	18	130	135	4,1			
1993	1	1	19	130	135	4,6			
1993	1	1	20	140	135	4,6			
1993	1	1	21	190	180	2,6	28,1	135	4,4
1993	1	1	22	210	225	2,0			
1993	1	1	23	0	0	0			
1993	1	2	0	0	0	0			
1993	1	2	1	0	0	0			
1993	1	2	2	0	0	0			
1993	1	2	3	0	0	0			
1993	1	2	4	280	270	1,5			
1993	1	2	5	260	270	2,5			
1993	1	2	6	280	270	2,1			
1993	1	2	7	320	315	2,5			
1993	1	2	8	320	315	3,0			
1993	1	2	9	310	315	3,1	0,1	0	2,4
1993	1	2	10	340	315	4,6			
1993	1	2	11	320	315	3,6			
1993	1	2	12	320	315	4,6			
1993	1	2	13	320	315	3			
1993	1	2	14	320	315	3,6			
1993	1	2	15	300	315	3,1	37,2	295	3,8
1993	1	2	16	160	135	4,1			
1993	1	2	17	240	225	9,2			
1993	1	2	18	240	225	3			
1993	1	2	19	0	0	0			
1993	1	2	20	0	0	0			
1993	1	2	21	110	90	1,5	0,5	225	4,5
1993	1	2	22	120	135	1,5			
1993	1	2	23	0	0	0			
1993	1	3	0	0	0	0			
1993	1	3	1	0	0	0			
1993	1	3	2	0	0	0			

TABELA 13 - Dados de vento e de precipitação da estação meteorológica do LAHIMAR (Florianópolis, 01 a 02/09/2005).

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	<i>Direção do vento</i>	<i>Velocidade do vento (m/s)</i>	<i>Precipitação (mm)</i>
01/09/2005	0:30	SSW	1,341117	0,254
01/09/2005	1:00	SSW	1,788156	0,254
01/09/2005	1:30	SSW	2,235195	0,508
01/09/2005	2:00	SSW	1,788156	1,016
01/09/2005	2:30	S	1,788156	0,508
01/09/2005	3:00	SSW	1,341117	0,254
01/09/2005	3:30	SW	0,894078	0
01/09/2005	4:00	SW	2,235195	0
01/09/2005	4:30	SSW	2,235195	0,254
01/09/2005	5:00	SSW	2,235195	0
01/09/2005	5:30	S	1,788156	0
01/09/2005	6:00	SSW	2,235195	0
01/09/2005	6:30	SSW	2,235195	0
01/09/2005	7:00	SSW	1,788156	0
01/09/2005	7:30	WSW	1,788156	0
01/09/2005	8:00	WSW	1,341117	0
01/09/2005	8:30		0,447039	0
01/09/2005	9:00		0,447039	0
01/09/2005	9:30		0,447039	0
01/09/2005	10:00	SW	1,788156	0
01/09/2005	10:30		0	0
01/09/2005	11:00		0,447039	0
01/09/2005	11:30		0,447039	0,254
01/09/2005	12:00		0,447039	0
01/09/2005	12:30	ENE	0,894078	0
01/09/2005	13:00		0,447039	0
01/09/2005	13:30		0	0,508
01/09/2005	14:00	ENE	1,341117	1,27
01/09/2005	14:30	NE	0,894078	1,27
01/09/2005	15:00		0	0,762
01/09/2005	15:30	NE	0,894078	0,508
01/09/2005	16:00	NE	0,894078	0
01/09/2005	16:30	NE	0,894078	0,254
01/09/2005	17:00		0,447039	0,508
01/09/2005	17:30		0	0,762
01/09/2005	18:00		0	0
01/09/2005	18:30	NE	0,447039	0,254
01/09/2005	19:00	NNE	0,894078	0
01/09/2005	19:30	NE	0,894078	0
01/09/2005	20:00	NE	1,341117	0
01/09/2005	20:30	NE	1,788156	0
01/09/2005	21:00	NNE	2,682234	0
01/09/2005	21:30	NE	2,235195	0
01/09/2005	22:00	ENE	1,341117	0
01/09/2005	22:30		1,341117	0
01/09/2005	23:00		0,447039	0
01/09/2005	23:30	NW	0,447039	0
02/09/2005	0:30		2,235195	0