

# INFLUÊNCIA DO AMBIENTE NATURAL SOBRE O AMBIENTE CONSTRUÍDO: UM ESTUDO SOBRE O ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA

---

FABIANO MORELLI<sup>1</sup>  
MARYANGELA GEIMBA DE LIMA<sup>2</sup>  
WILSON CABRAL DE SOUSA JÚNIOR<sup>3</sup>

## Introdução

As relações entre o ambiente natural e o ambiente construído são analisadas, geralmente, tendo em vista o impacto do segundo sobre o primeiro. No entanto, considerando uma perspectiva onde a atividade antrópica é parte do ambiente, cabe analisar também a influência dos fatores naturais, como clima e tempo, sobre as edificações, já que estes afetam direta e indiretamente a forma como as interferências antrópicas impactam o ambiente natural, em uma relação cíclica. Segundo Sousa Júnior (2006), as discussões envolvendo as mudanças climáticas e a economia dividem aqueles que defendem que as primeiras têm sido aceleradas pelo “*modus operandi*” humano na Terra, daqueles que acreditam que tais mudanças são parte de um movimento cíclico natural do planeta e sua atmosfera.

Desta forma, o que se pode afirmar é que o aumento das construções provoca mudanças no ambiente, como por exemplo os fenômenos de Ilhas de Calor em grandes áreas urbanas, e por outro lado as mudanças no clima local e no microclima catalizam a ocorrência de patologias em edificações.

O ambiente construído sofre ação deletéria de agentes agressivos presentes no meio ambiente, tais como temperatura, umidade relativa, chuva, insolação, vento, etc. A ação conjunta destes diferentes agentes, que incidem na construção, aumenta a complexidade dos estudos de degradação do ambiente construído, pois aumenta as dificuldades de modelagem dos processos de degradação, geração de curvas dose-resposta, ensaios de envelhecimento natural e outros. Uma vez que a sinergia entre

---

<sup>1</sup> Mestre em em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo ITA. E-mail: fabianomorelli@gmail.com (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, SP - Brasil)

<sup>2</sup> Engenheira e Matemática, Professora Associada do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, chefe da Divisão de Cooperação do Instituto. (Instituto de Aeronáutica, São José dos Campos, SP - Brasil)

<sup>3</sup> Professor adjunto do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). (Instituto de Aeronáutica, São José dos Campos, SP - Brasil)

vários agentes provoca, em geral, ação deletéria superior a ação isolada de cada um dos agentes em separado, seja na forma ou na intensidade. A ação destrutiva pode ser acelerada e/ou agravada pelas condições do entorno da edificação, como outros prédios, relevo, vegetação, etc. (Silva & Giral, 1995).

Um dos agentes de degradação que pode atuar como resultado da sinergia de outros é o Índice de Chuva Dirigida (ICD)<sup>4</sup>. Este parâmetro tem como objetivo expressar a ação conjunta de chuva e vento quando incidentes nas fachadas das construções. A norma BS 8104/92 da British Standard Institution (1992) relata que a quantidade de chuva que escorre por uma fachada é proporcional à quantidade de chuva que cai em uma superfície horizontal e a velocidade do vento no local; sendo assim, apresenta o Índice de Chuva Dirigida anual, como sendo resultado do produto da média anual de vento com o total de precipitação anual em um determinado local.

Os conceitos relativos ao termo “chuva dirigida” foram evoluindo com o passar do tempo e o investimento em pesquisas sobre seu impacto nas edificações também. Segundo o British Standard Institution (1992), o ICD é calculado, onde existem dados disponíveis, considerando a velocidade do vento durante a precipitação, o número de horas de precipitação e a quantidade de precipitação, além de fatores de correção como irregularidades no terreno, vegetação, tipo de entorno, etc., permitindo uma análise bem localizada e completa do fenômeno, sua aplicação continua sendo utilizada com poucas variações.

A Inglaterra é pioneira em termos de pesquisas e normas envolvendo este conceito. A norma britânica BSI 8104 (BRITISH, 1992) utiliza vários coeficientes para correção dos índices, calculados através das médias disponíveis, e apresenta mapas para 19 sub-regiões do país, cobrindo toda sua extensão territorial. Apesar da importância de se quantificar e mapear os valores de ICD, o Brasil ainda não possui uma norma semelhante, ou mesmo qualquer consideração sobre esse parâmetro.

O estudo de caso proposto a seguir tem o objetivo de exemplificar o uso de Sistemas de Informações Geográficas como ferramenta de integração e processamento de dados ambientais de diferentes fontes em estudos da influência do ambiente natural sobre o construído, visando a reduzir a falta de conhecimento específico e introduzir a discussão sobre a elaboração de mapas de ICD para o país utilizando dados obtidos por estações meteorológicas espalhadas sobre o território brasileiro.

## Subsídios teóricos

Utiliza-se a média anual da velocidade do vento para o estabelecimento do Índice de Chuva Dirigida, pois a velocidade do vento durante a chuva normalmente não é registrada. Sendo esta aplicação das médias baseada em resultados de estudos que mostraram uma relação constante entre a média anual e a média durante o período de chuva.

O Índice de Chuva Dirigida é expresso em  $m^2/s$ , sendo que o valor de ICD igual a  $1 m^2/s$  corresponde a aproximadamente 200 mm de chuva que cai em uma superfície vertical de  $1 m^2$  (MARSH, 1977). Desta forma, sendo o ICD uma estimativa obtida a

partir da média anual, é correto afirmar que isto representa um volume total de 200 litros de chuva que atingiram 1 m<sup>2</sup> de parede durante um ano.

Originalmente, o ICD foi proposto em 3 faixas de agressividade assim distribuídas: a) até 3 m<sup>2</sup>/s corresponde a uma exposição protegida; b) entre 3 e 7 m<sup>2</sup>/s corresponde a uma exposição moderada, e c) 7 e 20 m<sup>2</sup>/s corresponde a uma exposição severa. No entanto, Chand e Bhargava (2002) propõem uma modificação da classificação incluindo “protegida”, “moderada”, “alta” e “severa”, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Faixas de agressividade de chuva dirigida**

<b>Faixa (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Grau de Agressividade</b>
< 3	Exposição Protegida
Entre 3 e 7	Exposição Moderada
Entre 7 e 11	Exposição Alta
> 11	Exposição Severa

Fonte: Chand & Bhargava (2002).

Esta classificação não considera nenhum aspecto do entorno da edificação ou da própria edificação. Existem propostas de correções destes valores, ou seja, do grau de agressividade, como o proposto por Marsh (1977) que diz que estes valores, apresentados na Tabela 1, devem ser corrigidos em função da proximidade das regiões costeiras. Marsh (1977) propõe que, na consideração de exposição protegida devem ser excluídas todas as áreas que estejam a menos de 8 km da costa; e que, neste caso, sempre se deve considerar o número obtido como uma faixa de agressividade acima. No entanto, esta afirmação ainda precisa ser melhor avaliada e validada para as condições brasileiras, visto que a grande diversidade da geomorfologia costeira e também continental pode causar variações nos ventos. A BSI 8124 (BRITISH, 1992) também apresenta diversos coeficientes de correção aplicáveis à Inglaterra.

## **Materiais e métodos**

Este estudo utilizou dados obtidos pelas estações sinóticas (SYNOP) do período de 2000 a 2010. Segundo o Comando da Aeronáutica (2001), SYNOP é um código meteorológico utilizado para descrição de observações sinóticas, à superfície, procedente de estações meteorológicas terrestres, convencionais ou automáticas. As mensagens SYNOP são transferidas em intervalos de 3 e/ou 6 horas, dependendo da estação. Estes dados foram tratados segundo metodologia descrita neste trabalho e, com o conjunto de dados devidamente consistente e integrado, realizou-se o processamento e cálculo do Índice de Chuva Dirigida (ICD) segundo a metodologia proposta por Lacy (1980) e representada pela Equação 1.

$$DRI = \frac{VP}{1000} \quad (1)$$

em que: V = velocidade média anual do vento (m/s)

P = total de precipitação anual (mm)

O processo de integração de dados proveniente de estações de monitoramento exigiu uma reformatação e avaliação dos dados recebidos para atender as técnicas de modelagem do banco de dados. Foram então separadas as medidas físicas obtidas pelos sensores instalados nas plataformas de coleta de dados, dos descritores de cada estação e, em alguns casos, da descrição dos equipamentos como, por exemplo, Nome da Estação, Código da Estação, Nome do Município (onde está localizada a estação).

Para as operações de avaliação dos dados, foi definido e executado um conjunto de procedimentos, desenvolvido especificamente para este estudo. Esta metodologia pode ser seguida para tratamento dos dados em outros casos similares, e foi proposta inicialmente por Morelli (2008). Na Tabela 2 é apresentado o conjunto de etapas percorrido para a integração dos dados ainda brutos, porém padronizados em um único banco de dados.

**Tabela 2**  
**Procedimento para auditoria e validação dos dados para obtenção do ICD**

<b>Etapa</b>	<b>Atividades</b>
Pré-processamento	Identificação dos Dados a serem manipulados
	Levantamento das variáveis disponibilizadas
	Reconhecimento do padrão de armazenamento (decimais, intervalos, escalas, representação dos valores nulos, etc. )
	Modelagem dos campos para cada variável no banco de dados
Extração	Criação de campos de verificação para cada variável
	Eliminação dos valores representados como nulos
	Importar todos os registros para o banco de dados
	Confirmar o sucesso de importação para todos os campos e total dos dados recebidos
	Confirmar os valores com decimais
	Verificar a unicidade de cada Estação (Latitude, Longitude e Código da Estação)
	Verificar ausência de valores (Latitude, Longitude e Código da Estação)
	Verificar se todos os "Código da Estação" são válidos segundo uma referência
	Verificar a consistência das Datas Completas (Dia, Mês, Ano, Hora, Minuto e Segundo)
	Tabular o "número total de estações recebidas" pelo "número de estações válidas"
Avaliação	Tabular a "Hora Completa", "Código da Estação" e a "Quantidade de dados recebido" por "Parâmetro"
	Preparar um histograma para cada parâmetro por mês
	Tabular a "Quantidade de dado" de cada "Parâmetro" por "Dia" por "hora" e "Mês"
	Identificar quantas e quais são as estações que estão perdendo dados
	Identificar o padrão de envio dos dados ao longo das horas
	Verificar se há horário predominante para ausência de dados por estação
	Buscar a presença de dados anômalos

Quanto à consistência, devem ser analisados valores extremos, visando a identificar erros de digitação, coleta, comunicação (transferências diversas) e/ou armazenamento, bem como a padronização do formato, pois normalmente os dados meteorológicos/ambientais são recebidos de fontes distintas e em arquivos variados e raramente se observa uma uniformização entre as medidas das diferentes fontes.

Foram analisadas as seguintes variáveis: Velocidade e Direção do Vento, Precipitação Acumulada das últimas 24 horas, Código da Estação Meteorológica, Latitude, Longitude e Data Completa. Avaliou-se a quantidade de dados recebidos por mês em cada estação para validar a eficiência do monitoramento de cada local. No entanto, a quantidade total de dados recebidos considerando todas estas estações representou aproximadamente 45% do esperado.

Para exemplificar como foi obtido este valor utilizou-se aleatoriamente um dos anos de estudo. Durante o ano de 2004 houve um total de 313 estações operando e que enviaram dados; destes houve predomínio nos horários 00:00, 12:00 e 18:00hs, e desta forma é esperada uma média de 91 medidas de cada variável por mês. A Tabela 3 apresenta o resultado da avaliação dos dados recebidos.

**Tabela 3**  
**Avaliação da quantidade de dados por mês no total de estações de 2004**

<i>n° meses</i>	<i>quant. dados esperados</i>	<i>quant. de estações</i>	<i>% simples</i>	<i>% cumulativo</i>
1	91	141	45%	45%
2	182	0	0%	45%
3	273	13	4%	49%
4	364	0	0%	49%
5	455	2	1%	50%
6	546	4	1%	51%
7	637	4	1%	52%
8	728	14	4%	57%
9	819	47	15%	72%
10	910	9	3%	75%
11	1001	17	5%	80%
12	1092	62	20%	100%

Devido à variação na quantidade de dados mensal por estações, foram utilizadas apenas aquelas que possuíam pelo menos 11 meses de dados, a fim de selecionar as estações mais regulares e contínuas. Neste caso, 79 estações enviaram pelo menos 1.001 medidas, que representa uma eficiência de 98% no recebimento dos dados.

Foi executado um procedimento para qualificar os dados, e filtrar aqueles considerados ruins ou inadequados. Foram verificadas também as datas completas, ou

seja, dia, mês, ano, hora, minuto e segundo de todos os registros até então válidos, e neste caso não foi verificada nenhuma anomalia quanto aos intervalos. Ou seja, todos os dias variaram entre 1 e 31; os meses, entre 1 e 12; todos os registros no mesmo ano, o mesmo acontecendo para os demais intervalos de tempo (hora, minuto e segundo). No entanto, existem registros fora do intervalo de três horas, ou seja, foram registrados em algum horário diferente do padrão (00h00min, 03h00min, 06h00min, 09h00min, 12h00min, 15h00min, 18h00min ou 21h00min) como pode ser observado na Tabela 4. As linhas sombreadas, na Tabela 4, destacam os horários fora do intervalo padrão definido pela Organização Meteorológica Mundial – OMM – para estes dados. Assim, todos estes registros foram devidamente marcados como suspeitos e não considerados nas análises posteriores. Observa-se também nesta tabela que há uma predominância para os horários 00h00min, 12h00min e 18h00min, pois representam os horários onde há registros tanto das estações automáticas como de medições manuais.

**Tabela 4 - Quantidade de dados recebidos por mês e por hora em 2004 a partir das Mensagens Meteorológicas SYNOP.**

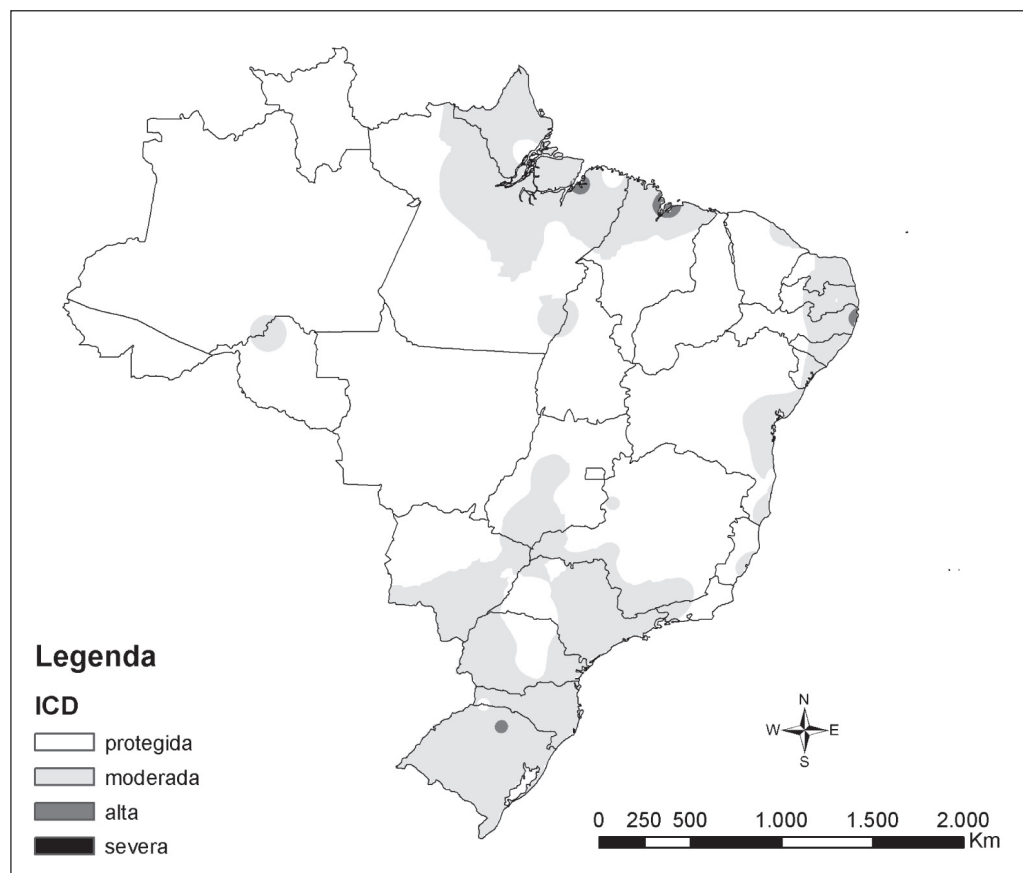
Hora	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
0000	4.268	4.133	4.013	4.027	4.447	3.447	2.614	2.739	4.181	4.463	4.418	4.708	47.458
0100											143		143
0300	711	649	641	532	538	341	357	551	603	664	625	643	6.855
0600	645	665	605	590	717	392	438	524	570	689	725	715	7.275
0900	725	616	532	571	671	384	435	594	643	712	693	709	7.285
1200	4.363	4.657	4.566	4.246	4.771	3.843	2.577	3.307	4.218	4.937	4.904	4.859	51.248
1500	798	683	763	646	722	458	537	688	646	815	811	811	8.378
1800	4.179	4.172	4.252	4.076	4.535	3.226	2.660	3.277	3.964	4.528	4.327	4.636	47.832
2000								1					1
2100	770	699	671	641	791	443	548	684	743	821	821	852	8.484
Total	16.459	16.274	16.043	15.329	17.192	12.534	10.166	12.365	15.568	17.629	17.467	17.933	184.959

Após a execução de todos os procedimentos metodológicos em todos os anos de estudo, foi possível montar um banco de dados consistente, bem como ter uma ideia da confiabilidade dos dados recebidos e da dificuldade de se manter uma base de dados confiável, que demanda uma equipe focada e preocupada com todo o sistema de monitoramento de dados no país; além de registrar a necessidade de recursos diversos para instalação, calibração, manutenção das PCDs até transmissão, recepção e armazenamento dos dados. É sabido que em cada uma destas etapas pode haver ou não um fator de erro que contribua para diminuir a confiabilidade dos resultados de qualquer investigação científica posterior.

## Resultados

Os resultados apresentados são mapas interpolados pelo método de inverso do quadrado da distância, para permitir uma visualização contínua dos resultados ao invés de um conjunto de pontos. A Figura 1 apresenta o Índice de Chuva Dirigida médio para as estações selecionadas. Este mapa representa uma média dos valores calculados de ICD com dados SYNOP para o período de 2000 até 2010.

**Figura 1**  
Mapa de Índice de Chuva Dirigida médio para o período entre 2000 e 2010.

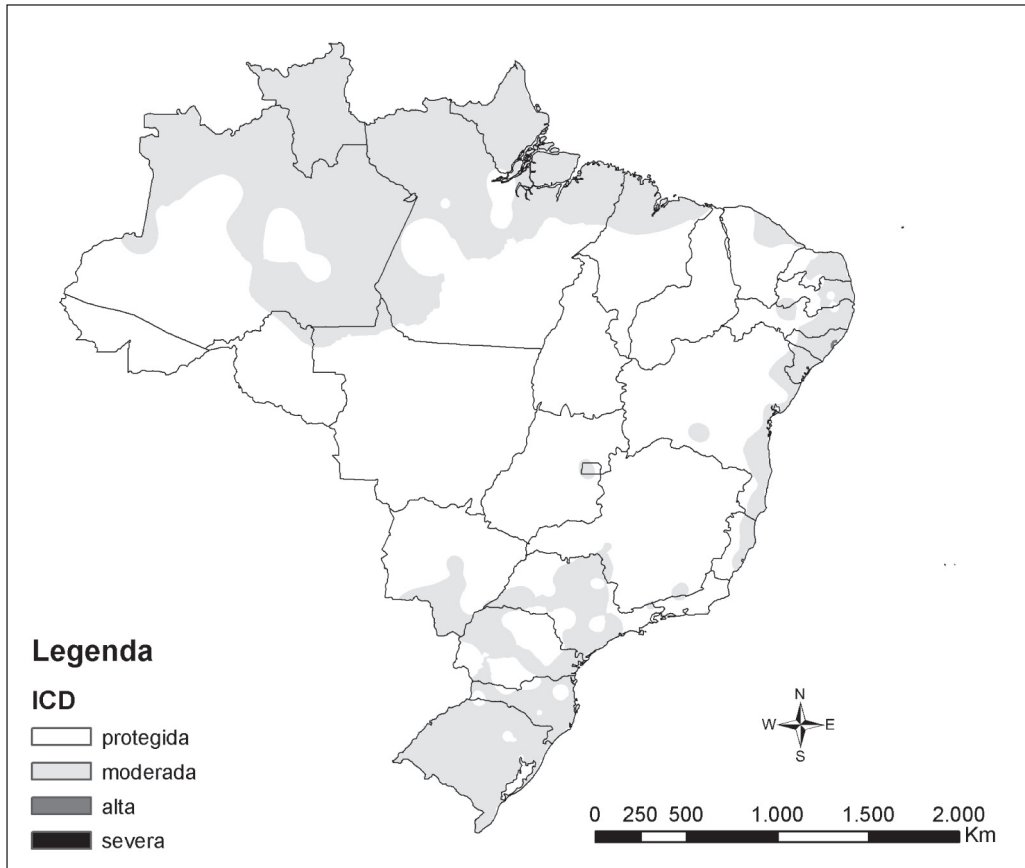


O mapa de Índice de Chuva Dirigida produzido com dados SYNOP, indica uma severidade variando entre moderada e protegida em quase todo o Brasil com exceção de apenas quatro pontos classificados em severidade alta.

Devido à recente disponibilidade dos dados da Normal Climatológica, pelo Instituto Nacional de Meteorologia, foi calculado, mesmo não sendo objetivo deste

trabalho e com intuito de comparação, o Índice de Chuva Dirigida com estes dados que representam a média histórica entre 1960 até 1990 (Figura 2).

**Figura 2**  
Mapa de Índice de Chuva Dirigida para o período entre 1960 até 1990.

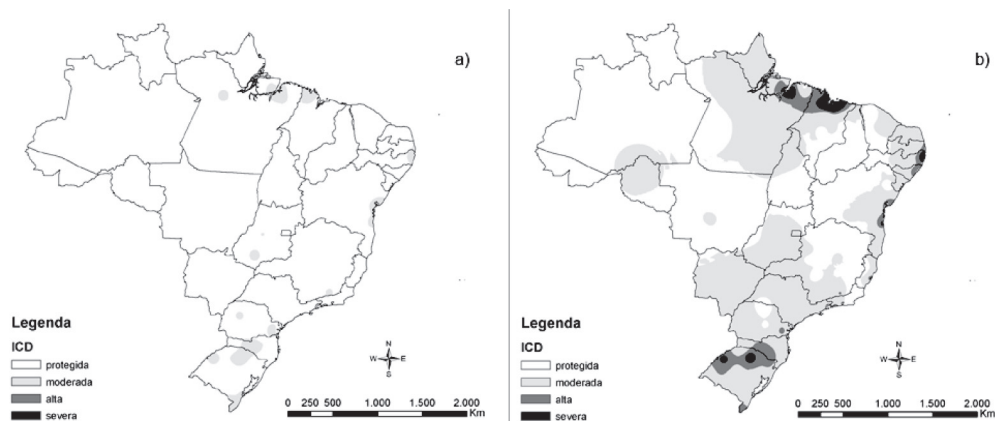


Como pode ser observado na Figura 2, os valores de ICD também variam entre protegido e moderado, corroborando os resultados encontrados com dados mais recentes do mapa anterior.

Em função das variações interanuais foram elaborados os mapas com os extremos mínimos e máximos de 2000 até 2010. Com estes dados é possível observar-se grandes variações especialmente nos valores máximos, onde áreas próximas ao litoral apresentam um aumento da severidade do ICD (Figura 3). A região serrana entre Santa Catarina e o Rio Grande do Sul foram as áreas continentais que tiveram maior variação nos índices, possivelmente devido a maior ação das entradas de frentes frias vindas do Sul do continente que sempre acarretam em aumento da velocidade do vento e das chuvas.



**Figura 3**  
Mapa de ICD Mínimo (A) e Máximo (B) para o período entre 2000 e 2010.



## Considerações Finais

A utilização dos dados SYNOP se mostrou eficiente, uma vez que os mesmos estão disponíveis em sites da internet a cada hora, e com uma distribuição bastante abrangente para todos os estados brasileiros. Verificou-se também que, utilizando critérios de controle de qualidade para selecionar estações e descartar medidas anômalas, os resultados são condizentes com séries históricas largas, como é o caso da Normal Climatológica.

Estes resultados similares obtidos com o processamento sugerido e a Normal Climatológica corrobora para validar a metodologia proposta para o processamento dos dados uma vez que, utilizando os dados conforme sugerido neste trabalho, as condições extremas são suavizadas a partir de um controle de qualidade nos dados.

O tipo de registro ideal para ser aplicado em estudos de ambiente construído envolveria a obtenção de dados de precipitação acumulada e vento médio em um mesmo intervalo de tempo. Este estudo tratou os dados de maneira específica, visando a se aproximar desta condição, de maneira que as análises e cálculos foram produzidos com medidas com chuva e vento diferentes de zero, ou seja, com ocorrências simultâneas, pois sabe-se que no momento da chuva a velocidade do vento pode ser diferente das condições que a precedem ou sucedem.

O Índice de Chuva Dirigida é uma variável complexa, sua metodologia vem sendo adaptada para novos estudos de projeto de especificação de materiais para as fachadas e construções, como também na especificação de detalhes, em especial aqueles relacionados à estanqueidade à água (beirais, esquadrias, etc.).

O modelo usado para o cálculo do ICD não faz uso da direção do vento, e, portanto, não foi possível inferir o sentido preferencial de incidência de chuva dirigida.

A consideração de sentido preferencial do vento é importante para projetos de fachadas, ou quando há um interesse em avaliar as influências ambientais no entorno de uma construção. Para isto é necessário que se tenha monitoração de vento e chuva em escala horária e com uma malha de estações que permita estudos de microclima, ou, pelo menos, de mesoclima. A necessidade de tais peculiaridades se dá devido a alguns detalhes, como as condições de contorno da edificação e topografia, que contribuem para a formação de corredores de vento, o que interfere sensivelmente no valor do índice de exposição. Nessas condições há uma modificação dos valores esperados para o índice devido a variações localizadas na velocidade, direção e condições de abrigo ou proteção de uma construção.

Os resultados apresentados apontam para a necessidade da elaboração de mapas mostrando os valores desses parâmetros em uma escala regional ou até mesmo local. Mostram também que a quantidade de estações espalhadas pela superfície não é adequada para a elaboração de mapas com elevada confiabilidade, visto que na interpolação foram encontrados núcleos isolados que podem ser fontes de incertezas devido à baixa densidade espacial das amostras.

As contribuições de estudos desta natureza, em que se analisa o ambiente natural para fins de inserção do ambiente construído, podem orientar uma mudança nos padrões construtivos, de forma a aumentar a vida útil de edificações e, conseqüentemente, reduzir os impactos da construção civil sobre o ambiente, especialmente no que concerne à pressão sobre os recursos naturais.

## Referências Bibliográficas

- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 8104: Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain.** London, BSI, 1992.
- CHAND, I.; BHARGAVA, P.K. Estimation of driving rain index for India. **Building and Environment.** n.37, 2002, p.549-554.
- COMANDO DA AERONÁUTICA. **Manual de códigos meteorológicos.** MCA 105-10, Rio de Janeiro: Parque de Material de Eletrônica da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2001. 383p.
- LACY, R.E. An index of driving rain. **Meteorological Magazine**, v. 91 (1080), p.177-84, 1962.
- MARSH, P. **Air & Rain Penetration of Buildings.** The Construction Press Ltd. New York, 1977. 30p. ISBN 0.904406.31.8.
- MORELLI, Fabiano. **Aplicações de sistemas de informações geográficas ao ambiente construído: mapeamento dos agentes de degradação dos materiais e sistemas de construção.** São José dos Campos: ITA, 2008. 158 p. Tese (Programa especial de doutorado em engenharia mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CTA/ITA/TD-015/2008). Disponível em: <[http://www.bd.bibl.ita.br/tesesdigitais/lista\\_resumo.php?num\\_tese=000549397](http://www.bd.bibl.ita.br/tesesdigitais/lista_resumo.php?num_tese=000549397)>. Acesso em: 15 jun 2011.

SILVA, A. C. S. B.; GIRALT, R. P. Estabelecimento de um índice de chuva dirigida para Porto Alegre. Rio de Janeiro, RJ, 1995. **Anais...** ENTAC 95, Rio de Janeiro, 1995. p. 605-610.

SOUSA JÚNIOR, W. C. **Influência da meteorologia nas decisões econômicas e ambientais**. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 30, p. 11-14, 2006.

## NOTA

<sup>4</sup> Em inglês, o ICD é denominado DRI (*Driven Rain Index*).

Submetido em 31/08/2011

Aceito em 08/03/2012