

METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO DOS FATORES MICROCLIMÁTICOS

Jussana Maria Fahel Guimarães Nery

Telma Cortes Quadro Andrade

Universidade Federal da Bahia;

Laboratório de Conforto Ambiental da Faculdade de Arquitetura

Rua Caetano Moura 121, Federação, 40.210-340;

tel.(071) 235-7615; fax (071) 247-3511

e-mail: jussana@svn.com.br

RESUMO

Foi necessário estabelecer uma metodologia que permitisse explicar os valores dos dados pontuais de temperatura, umidade relativa, direção e velocidade do ar e radiação global, levantados pela Pesquisa Clima Urbano em Salvador, e generalizá-los para uma escala topoclimática. Essa metodologia, aqui apresentada, parte dos conceitos de balanço energético e desvio climático. Ela sistematiza uma avaliação integrada das ações dos fatores microclimáticos sobre os elementos do microclima, possibilitando uma definição mais precisa das isolinhas topoclimáticas preliminarmente traçadas. Comparando-se os resultados da avaliação metodológica e a análise dos dados medidos e tratados estatisticamente, observou-se uma concordância entre ambos.

ABSTRACT

It was necessary to establish an approach which would allow to explain the values of the local data gathering of environmental variables such as temperature, relative humidity, air direction and speed, and global radiation measured by the urban climate research in Salvador, and generalize them to a topoclimatic scale. The approach presented here starts from the energetic balance and climatic deviation notions and systematizes an integrated evaluation of the microclimatic factors on the microclimate elements, allowing a more accurate definition of the topoclimatic isolines preliminarily drawn. Comparing the results of the methodological evaluation and the data analysis it was observed an agreement between them.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho integra a Pesquisa Clima Urbano de Salvador, a qual tem procedido medições *in loco* dos elementos climáticos que caracterizam o ambiente térmico da cidade, com o objetivo de delimitar e caracterizar seus diversos topoclimas, tendo como referencial o conforto térmico.

A médio prazo, o conhecimento mais detalhado do clima da cidade deverá indicar as favorabilidades e restrições de cada área em relação ao conforto térmico, gerando, conseqüentemente, diretrizes quanto à ocupação e uso do solo que incrementem essa qualidade.

Dos resultados dessas medições, foi gerada uma coleção de dados de temperatura, velocidade e direção do vento, umidade relativa e radiação global para cada local, ao longo de percursos pré-estabelecidos na cidade, durante quatro estações, em três períodos do dia e em dois anos consecutivos. Com base na morfologia da cidade apresentada em NERY *et al.* (1997) e no modelo de ocupação apresentado em KATZSCHNER *et al.* (1999), foi proposto um zoneamento topoclimático preliminar.

Agora, este trabalho apresenta uma abordagem pontual dos fatores microclimáticos, que possa permitir tanto a interpretação da coleção de dados como a sua generalização para as áreas definidas por esse zoneamento.

Na metodologia adotada na Pesquisa Clima Urbano Salvador, o levantamento dos dados tem sido feito através de medições pontuais, sujeitas à ação de fatores microclimáticos. Por essa razão, foram escolhidos em cada local três pontos de medição, visando observar o grau de homogeneidade climática. O tratamento estatístico dos dados, realizado por ANDRADE *et al.* (1999), revelou, em alguns locais, uma variação acentuada entre os três pontos, não permitindo generalização. Como pretende-se conhecer e mapear o clima na escala topoclimática, torna-se necessário investigar os fatores responsáveis pelo afastamento da homogeneidade. A metodologia para essa investigação se constitui no objeto do presente trabalho.

2. O MICROCLIMA

MONTEIRO (1976) apresenta o clima local como a unidade básica de observação meteorológica, correspondente à área de uma metrópole sendo o mesoclima, o topoclima e o microclima suas subdivisões sucessivas. Este autor, considerando o microclima como última unidade das escalas climáticas, propõe sua abordagem na escala cartográfica de 1:2000, relacionando-o com a extensão espacial de até “algumas dezenas de metros”. Com relação à essa dimensão horizontal, RIBEIRO (1993) conclui que a mesma tem chamado pouca atenção dos pesquisadores e, por isso mesmo, resultando em grande variedade de tratamento.

O conceito de microclima empregado refere-se ao desvio do clima de uma escala climática superior, resultante, prioritariamente, da interferência no balanço energético dessa área pela maior ou menor exposição à radiação solar e ao vento. Esse desvio pode ser positivo ou negativo e sua relação com o conforto térmico é função das características do clima local, podendo ocorrer simultaneamente, um equilíbrio neste balanço e uma condição de desconforto térmico, ou até um desvio acentuado e uma condição de conforto.

A regularidade do desvio é uma característica do microclima, conforme destaca MASCARÓ (1996). Isso significa que seu comportamento cíclico pode ser predominantemente mais frio (negativo) ou mais quente (positivo), em um turno do dia ou durante o dia todo.

A distinção entre um fator climático e um microclimático é uma questão de escala, sendo seus efeitos relacionados à sua própria extensão física. Os fatores microclimáticos possuem extensão e intensidade bastante reduzidas. Por exemplo, a falha geológica de Salvador, que dá origem à encosta que separa a Cidade Alta e a Cidade Baixa, se mantém bastante uniforme em declividade, altura e orientação, em uma grande extensão (aproximadamente 22 km no município), tornando-se um fator topoclimático, capaz de caracterizar, nesta escala, a condição térmica de toda a borda da Baía de Todos os Santos no município de Salvador. Já a encosta de São Lázaro, de extensão bem mais reduzida (aproximadamente 1,4 km) tem seu efeito restrito a uma parte específica do bairro de Ondina, onde se localizam três pontos de medição. Sua influência é dominante no primeiro ponto (13a), secundária no segundo (13b) e nula no terceiro (13c). A figura 1 apresenta os pontos 13a e 13b.

Na escala microclimática, esses fatores estão relacionados à geomorfologia da área – modelagem, orientação, exposição, declividade e elevação; à estrutura urbana – densidade, área ocupada, gabarito, uso do solo e índices urbanísticos; às características superficiais do solo – permeabilidade, reflectividade e condutividade; e à presença de objetos tridimensionais – edificações, elevações e árvores. Algumas dessas categorias foram apresentadas por KOENIGSBERGER *et al.* (1977) em uma das primeiras publicações a analisar os fatores microclimáticos e seus efeitos na perspectiva da arquitetura. Esses fatores comparecem simultaneamente e com diversas feições e valores em cada ponto de medição, agindo de forma integrada em maior ou menor grau de intensidade, tornando cada área uma situação microclimática específica.

3. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DOS FATORES MICROCLIMÁTICOS

A metodologia empregada para a análise dos fatores microclimáticos constou de duas etapas distintas. Na primeira, foram identificados os fatores microclimáticos em cada ponto de medição. Na segunda,

analisou-se de forma isolada e conjugada a ação dos mesmos para as condições de verão e inverno, objetivando-se verificar dominância e intensidade de cada um nas imediações do ponto.

Na primeira etapa, o levantamento dos fatores presentes em cada local foi realizado através de observações *in loco*, análise das informações cartográficas e fotográficas da cidade, disponíveis na base de dados do cadastro técnico do Município de Salvador e no Atlas Digital Salvador (PEREIRA, 2001). Os fatores climáticos e microclimáticos considerados neste trabalho estão apresentados no Quadro 1, organizados em categorias genéricas.

Quadro 1 – Fatores topo e microclimáticos

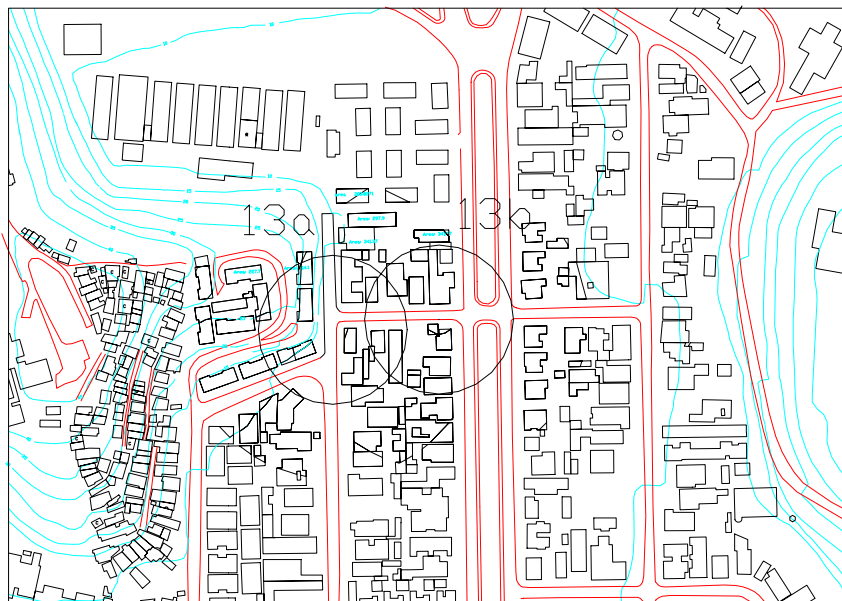
Geomorfologia	Estrutura Urbana	Objetos tridimensionais	Características Superficiais da área
Elevação / Cotas	Área edificada	Árvores	Permeabilidade
Declividade	Área de Vias	Edificações	Presença de corpos d'água
Orientação	Área impermeabilizada	Relevo	Cobertura vegetal
Modelagem	Altura das edificações		

Para permitir uma análise quantitativa, delimitou-se a área de abrangência da análise cartográfica traçando-se uma circunferência de 50 m de raio, com centro no ponto de medição (Figura 1). Neste círculo, foram levantadas as áreas e obtidos os percentuais de área construída, pavimentada, impermeabilizada, recoberta de vegetação e área de corpos d'água.

Ainda na base cartográfica, procedeu-se a análise das curvas de nível para levantamento das cotas, forma do relevo, declividade, orientação e grau de exposição à radiação solar e aos ventos dominantes. *In loco*, estimou-se a altura das edificações e verificou-se as atividades existentes.

Figura 1 - Mapa de dois pontos de medição com a delimitação da circunferência de 50m de raio, Pontos 13 a e b, local Bairro de Ondina.

Na segunda etapa, considerando-se a área do círculo de raio de 50m, construiu-se uma tabela onde estão



quantificadas as cotas, as declividades e os percentuais de área construída, de vias, superfícies impermeabilizadas e de corpos d'água (Tabela 1).

Também procedeu-se a descrição e análise dos fatores microclimáticos de cada ponto (Tabela 2) em seus aspectos gerais: geomorfologia, estrutura urbana, características superficiais da área e presença de objetos tridimensionais. A descrição das características do ponto 13a, tomado como exemplo, encontra-se na segunda linha da Tabela 2 e a análise, na terceira linha.

Dentro dos aspectos geomorfológicos, foram observadas as cotas de cada ponto, a forma do relevo e a distância à orla. Em relação à estrutura urbana, foram observados os usos do solo genéricos predominantes, a área total construída no círculo de 50m a área ocupada do lote, os recuos e gabaritos praticados, a existência de espaço aberto e vegetação no lote e na área delimitada, o tipo de via e intensidade do tráfego de veículos. Quanto à superfície do solo, foram analisados o tipo e a extensão da pavimentação e da cobertura das edificações, além da extensão das áreas recobertas por vegetação, corpos d'água e solo natural. Quanto aos objetos tridimensionais, observou-se a presença e a extensão de elevações, edificações, alvenarias e arborização de porte.

Tabela 1 -Modelo da planilha de informações quantitativas e percentuais dos pontos de medição, mostrando os Pontos 13 a, b e c, local Ondina

Pontos de Medição	Local	Classificação Geográfica	Fatores Microclimáticos					
			Geomorfologia			Estrutura Urbana Superfície do Solo		
			Cota	Declividade	Área de Corpos D'Água	Área Construída	Área Pavimentada (Vias)	Área Impermeabilizada
		1,2,3	m	%	%	%	%	%
13a	Ondina	1	9	15	0	26	18	44
13b		1	9	15	0	31	20	51
13c		1	8	2	0	12	44	56

A Tabela 2 apresenta ainda o enquadramento do ponto na classificação climática apresentada em NERY *et al.* (1997) e nos critérios estabelecidos em KATZSCHNER *et al.* (1999) para o zoneamento topoclimático preliminar. No primeiro caso a cidade está dividida em três áreas distintas, a Planície Atlântica, a Borda da Baía de Todos os Santos e o interior da cidade, compreendido entre essas duas faixas litorâneas. No segundo caso, os critérios são: ilha de calor máxima, média e mínima; ilha de calor com desconforto térmico; condição climática das dunas, condição climática das áreas industriais; passagens do vento SE, passagens do vento NE, áreas de circulação local e áreas refrigeradas. Esses critérios estão relacionados à estrutura urbana.

Analisa-se então a implicação de fatores microclimáticos sobre os elementos do microclima mais significativos do ponto de vista térmico: exposição à radiação global e ao vento, armazenamento de calor pelas superfícies naturais ou construídas, e umidade do ar, enunciada em ordem de eficácia (Tabela 2). O Quadro 2 mostra os fatores microclimáticos considerados intervenientes na avaliação de cada elemento do microclima:

Quadro 2 – Relação entre Elementos e Fatores Microclimáticos

	Radiação Solar	Direção e Velocidade do Ar	Armazenamento de calor	Umidade do ar
Geomorfologia	X	X		
Estrutura Urbana	X	X	X	
Superfícies			X	X
Objetos tridimensionais	X	X		

Tabela 2. Modelo da Tabela descritiva, analítica e avaliativa da área delimitada por raio de 50m a partir do ponto de medição. Exemplo do ponto 13a.

Pontos de Medição	Local	Critérios Katzschner	Classificação Geográfica	Geomorfologia	Estrutura Urbana	Caracterização das Superfícies	Objetos tridimensionais	Avaliação
Ponto 13 A	Local Ondina	HR - Ilha de Calor Mínima	Planície Atlântica	Plano e baixo; Próximo de encosta leste; Próximo à praia .	Uso: Residências e serviços Área construída: média Ocupação do lote: alta Densidade média Recuo: < 4 m Vegetação no lote: pouca Arborização: < 10 árvores p. médio Gabarito: Edificações térreas, 3 edifícios até 6 andares Tipo de via: secundária na direção N-S, <i>Tendência ao aquecimento:</i>	Pavimentação: asfalto e concreto Coberturas: cimento e cerâmica Vegetação: poucas árvores e pouca cobertura vegetal Solo natural: algum solo exposto	Elevação de 40m de altura à NW do ponto muro e construções adjacentes à leste próximo a árvore de porte médio	Variabilidade sazonal. Verão aquecido pela tarde Inverno e Equinócios menos aquecidos. O ponto provavelmente não reflete de maneira adequada a condição microclimática devido a proximidade a objetos tridimensionais Exposto à radiação solar; Protegido do vento Umidade alta; Armazenamento de calor médio; Avaliação global: Área ligeiramente aquecida.
					<i>Tendência ao resfriamento:</i> alta ocupação do lote, pouco sombreamento devido ao gabarito baixo e pouca vegetação, muito exposto a radiação solar <i>Tendência ao resfriamento:</i> favorável à captação do vento S devido a direção da via e ventilação dominante SE, E, NE com alguma obstrução devido a rugosidade da área.	Devido a pouca área coberta por vegetação e grande área pavimentada ou construída, o armazenamento de calor é médio;	Protegido parcialmente da Radiação nos equinócios e inverno à tarde pela elevação próxima Sombreado pelas manhãs pelas construções e árvore	
					<i>Tendência ao aquecimento:</i> nível do mar, encosta íngreme voltada para E muito exposta à radiação solar pela manhã, protegido do vento devido ao desvio do vento na vertical pela encosta. <i>Tendência ao resfriamento:</i> aumento de umidade devido a proximidade à orla, encosta voltada para E produzindo sombreamento na maior parte do ano à tarde, exceto no verão.			

4. ANÁLISE DO MICROCLIMA

A avaliação e conclusão sobre o microclima de cada ponto considera seu comportamento diário e sazonal, e a predominância dos efeitos de cada fator (Tabela 2). Com isso, obtém-se o efeito térmico em relação ao topo ou mesoclima, resultante da ação conjugada dos fatores microclimáticos e a identificação daqueles fatores predominantes, apresentado na última coluna desta tabela.

Adotando-se o conceito de balanço energético e desvio climático, pode-se ter uma diferença positiva ou negativa saldo entre a quantidade de calor recebida e perdida comparativamente à condição mesoclimática. A parcela dos ganhos resulta da maior exposição à radiação global e maior acumulação de calor. A parcela das perdas resulta, mais efetivamente, da ação refrigerante do vento, seguido do sombreamento e mais distante do efeito refrigerante da umidificação do ar. O balanço energético será positivo, com provável elevação da temperatura, quando o local estiver exposto ao sol e protegido do vento. O balanço será negativo, com provável redução na temperatura, quando o local for sombreado e estiver a barlavento. Nas outras duas situações, protegido da radiação e do vento ou exposto ao sol e ao vento, o resultado tenderá a manter a condição de referência, ou seja a condição mesoclimática (Quadro 3).

Quadro 3 – Balanço energético dos efeitos micro climáticos

AÇÃO DOS FATORES SOBRE OS ELEMENTOS DO MICROCLIMA		EFEITO TÉRMICO EM RELAÇÃO AO MESOCLIMA
Exposição à Radiação Solar	Exposição ao Vento	
Sim	Não	Aquecimento
Não	Sim	Resfriamento
Sim	Sim	Manutenção da condição mesoclimática
Não	Não	

A essa síntese acima apresentada deve-se considerar a intensidade da ação global de cada fator, a capacidade de absorver e armazenar calor pelas superfícies e a ação da umidade do ar. Os critérios de intensidade e projeto são definidos no Quadro 4.

Quadro 4 – Intensidade da ação dos fatores sobre os elementos do micro clima

	Exposição à Radiação Solar e ao Vento	Armazenamento de calor Refrigeração diurna pela Umidade
Níveis de intensidade	Muito Exposto	Alto
	Exposto	Médio
	Pouco Exposto	Baixo
	Protegido	
	Muito Protegido	

A combinação de ações com diferentes níveis de intensidade sobre os elementos implica em um determinado grau de afastamento do microclima em relação ao mesoclima, tornando o local mais ou menos aquecido ou resfriado em relação às condições climáticas em escala superior. Para o clima de Salvador considerou-se os critérios de avaliação apresentados no Quadro 5, onde a condição neutra não se refere às condições de conforto térmico, e sim, à inexistência de um microclima particularizado neste ponto. Neste mesmo quadro estão relacionados os critérios propostos por KATZCHNER (1999) para uma definição preliminar das isolinhas topoclimáticas.

Quadro 5 – Critérios de avaliação dos micro climas em Salvador

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA	CRITÉRIOS DE ZONEAMENTO TOPOCLIMÁTICO
muito aquecido	Ilha de calor máxima Ilha de calor com desconforto térmico Condição climática das áreas industriais
aquecido	Ilha de calor média Condição climática das áreas industriais
Ligeiramente aquecido	Ilha de calor mínima Condição climática das dunas Condição climática das áreas industriais
Neutro	Passagem de vento NE Circulação local
Ligeiramente resfriado	Passagem do SE
Resfriado	Áreas refrigeradas

5. RESULTADO: A INSERÇÃO DOS FATORES MICROCLIMÁTICOS NO TOPOCLIMA

Como resultado principal deste trabalho apresenta-se uma metodologia de análise que permitiu identificar, na área investigada, os locais mais e menos aquecidos e seus respectivos fatores dominantes, segundo os critérios mostrados no Quadro 5.

Para referendar essa metodologia, recorreu-se à planilha dos dados dos medidos e tratados estatisticamente, tendo havido concordância entre a avaliação metodológica e a análise estatística dos mesmos. Por exemplo, avaliou-se que os pontos do Comércio, Túnel e Sete Portas, estariam na categoria de muito aquecidos e, portanto, deveriam apresentar maiores temperaturas e radiação global (desvio positivo) e menores valores de velocidade e umidade relativa do ar (desvio negativo), o que de fato ocorreu.

Em relação à classificação proposta por KATZSCHNER (1999), tornou-se possível seu detalhamento por terem sido agregados mais critérios de classificação. Isso implicará em uma revisão das isolinhas topoclimáticas propostas anteriormente.

6. CONCLUSÃO

Embora a natureza do clima seja complexa e acrescida ainda mais da complexidade das interferências humanas no meio urbano, com essa sistematização de procedimentos propõe-se uma simplificação na análise dos fatores microclimáticos e seus efeitos sobre o microclima, com uma visão mais objetiva e considerando ainda a intensidade desse desvio.

Essa metodologia de investigação dos fatores microclimáticos permitiu uma avaliação dos diversos microclimas dos pontos de medição, oferecendo informações capazes de subsidiar o desenvolvimento da pesquisa de Clima Urbano.

A metodologia apresentada poderá também orientar os profissionais da área de arquitetura e urbanismo a procederem de forma semelhante com referência a um terreno, obtendo subsídios para a elaboração de projetos bioclimáticos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, T., FREIRE, T., NERY, J., (1999) Tratamento Estatístico dos Dados do Clima Urbano de Salvador. In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO II ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Fortaleza. *Anais*. ANTAC, arq.212.html.
- KATZSCHNER, L., FREIRE, T., NERY, J., CARVALHO, L. (1999) Urban Climate Study of Salvador: Thermal Comfort Pattern In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO

AMBIENTE CONSTRUÍDO II ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Fortaleza. *Anais*. ANTAC, arq.211.html.

KOENIGSBERGER et alli. (1977) *Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas y Tropicales*. Madrid, Paraninfo.

MASCARÓ, L. (1996) *Ambiência Urbana = Urban Environment*. Porto Alegre; Sagra, DC Luzzatto.

MONTEIRO, C.A. (1976). *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo, IGEOG-USP, Série Teses e Monografias v.25.

NERY, J. *et al* (1997) Primeira aproximação para estudo de clima urbano em Salvador. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador. *Anais*. FAUFBA/LACAM – ANTAC. p 124-128.

PEREIRA, G. (2001) *Atlas Digital Salvador*. Salvador, LCAD – FAUFBA,

RIBEIRO, A. (1993) As escalas do clima. In: BOLETIM DE GEOGRAFIA TEORÉTICA, 23 (45-46):288-294.

8. AGRADECIMENTOS

À Cleide Bittencourt, Bolsista PIBIC – CNPq pela produção dos dados e informações desta pesquisa.

À Equipe do LACAM – Laboratório de Conforto Ambiental da FAUFBA pela realização da Pesquisa de Clima Urbano em Salvador.

À Prefeitura do Campus da UFBA pela viabilização do trabalho de campo.