



Paranoá is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
Fonte: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/issue/view/387>. Acesso em: 7 jan. 2022.

Referência

SOUZA, Valéria Morais Balduino de; ROMERO, Marta Adriana Bustos. Construindo um sistema de indicadores de sustentabilidade intra-urbano associados à ventilação nos espaços públicos. **Paranoá**, Brasília, n. 4, 2007. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n4.2007.12105>. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10526/9266>. Acesso em: 7 jan. 2022.

CONSTRUINDO UM SISTEMA DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE INTRA-URBANO ASSOCIADOS À VENTILAÇÃO NOS ESPAÇOS PÚBLICOS*

Valéria Morais Balduino de Souza
Marta Adriana Bustos Romero

RESUMO

A busca por indicadores de desempenho ambiental de sustentabilidade intra-urbana surge da necessidade de planejar a ocupação do solo considerando as condições climáticas do local e de estabelecer critérios de sustentabilidade. Almejando contribuir para a construção de indicadores de sustentabilidade intra-urbana, pesquisamos a ventilação nos espaços públicos associada ao desempenho ambiental.

Indicadores de ventilação nos espaços urbanos contribuem como parâmetros para fazer diagnósticos, definir prioridades de atuação, elaborar projetos e programas, avaliar o desempenho de uma atividade e direcionar investimentos. Desta forma, eles subsidiam a tomada de decisões que levam em consideração o contexto urbano, aferindo de forma mais científica os padrões de urbanização, o que facilita futuras soluções.

A ventilação natural é recomendada como importante estratégia de conforto térmico em regiões de clima quente e úmido e na estação quente do clima composto úmido, além de ser indispensável em qualquer clima para a renovação do ar (salubridade). Consideramos como atributos essenciais, os aspectos morfológicos urbanos, a massa edificada do entorno, a forma desta, sua dimensão e sua justaposição, elaborando parâmetros que visam à compreensão do complexo contexto urbano.

Palavras-chave: Ventilação, Conforto Térmico, Indicador de Sustentabilidade, Espaços Públicos.

ABSTRACT

The search for environmental performance indicators of intra urban sustainability has arisen from the need to plan soil occupation considering the local climatic conditions and to establish sustainability criteria. Aiming to contribute for establishing intra urban sustainability indicators, we researched the ventilation of public spaces associated with environmental performance.

The ventilation indicators in the urban spaces contribute as parameters to diagnose problems, define priorities, elaborate projects and programs, evaluate the performance of an activity and direct investments. This way, they give support to a decision making that process that takes into account the urban process, which facilitates future solutions.

Natural ventilation is recommended as an important comfort strategy in hot and humid weather and in the hot season of the compound humid weather, besides being indispensable in any climate for renewal of the air. The urban morphological aspects, the surrounding solid mass and its shape, dimension and distribution were considered as essential attributes, thus allowing the elaboration of parameters to comprehend the complex urban context.

Keywords: Ventilation, Thermal Comfort, Sustainability Indicator, Public Spaces.

* Artigo parcialmente apresentado no I International Congress on Environment Planning and Management. Challenges of Urbanization. Brasília, September 11 to 15, 2005. ISBN: 85-905036-2-3.

1. INTRODUÇÃO

Ao analisar as cidades adensadas, percebe-se que os efeitos da urbanização têm sido negativos ao conforto térmico e salubridade da população, por não observar os impactos que a má organização espacial urbana e arquitetônica provocam no meio ambiente. Desses impactos verifica-se que quanto mais alta a urbanização, maior será a quantidade de radiação armazenada pela excessiva cobertura do solo e pelos materiais dos edifícios, maior a produção de calor conseqüente do aumento de temperatura em razão da redução da difusão do calor, maiores os contaminantes atmosféricos, menores os índices de evaporação, maior a quantidade de obstáculos à penetração dos ventos, menor a impermeabilidade do solo e menor a umidade do ar. Além disso, indica-se como conseqüência que a temperatura do ar é maior em densa área urbana (principalmente centro urbano) do que nos arredores rurais.

Assim, para que o espaço público ofereça conforto, este deve ter forma definida, pensada e construída com tanta intenção quanto um edifício, no qual os elementos ambientais, climáticos, históricos, culturais e tecnológicos são os elementos que o configuram com estímulos dimensionais.

Dentre os elementos climáticos a ser aproveitado para o condicionamento climático dos espaços públicos, ressalta-se o vento, o qual é recomendado para conforto térmico em clima quente e úmido e na estação úmida do clima composto, por acelerar a perda da umidade do corpo humano; além de ser indispensável em qualquer clima com o fim de renovação do ar (salubridade) e remoção do calor interno dos ambientes. Este elemento climático possui a particularidade de ser o mais modificado pela urbanização, sendo o que mais pode ser controlado e modificado pelo desenho urbano.

Entretanto, atualmente, as soluções mais adequadas de ventilação natural para as cidades, nem sempre encontram amparo ou são estimuladas pela

legislação urbanística (uso do solo e regras de ocupação dos lotes), faltando leis que definam as relações entre ventilação urbana, morfologia urbana, e conforto térmico. Isso é constatado também pela ausência de estudos de caráter preventivo, adaptativo ou corretivo na integração do planejamento urbano ao vento; verificando isso no adensamento urbano e a crescente verticalização, decorrente da especulação imobiliária, que têm contribuído, decisivamente, para a perda da qualidade ambiental da cidade. Portanto, o aproveitamento da ventilação natural, fundamental para garantir o conforto térmico, passa a ficar cada vez mais comprometido.

Da necessidade de planejar a ocupação do solo integrando morfologia urbana e clima, considerando as condições de vento, surge a busca por indicadores de desempenho ambiental de sustentabilidade intra-urbana, associados à ventilação nos espaços públicos, para mensurar a melhor morfologia urbana que permitiria a adequada ventilação.

Para a construção de indicadores urbanos de ventilação estes devem ser quantificáveis, ser simples e de fácil interpretação e divulgação; apresentar tendências ao longo do tempo e indicar com antecedência o surgimento das irreversíveis; ser sensíveis a mudanças no ambiente ou na economia; ser referente a dados já existentes ou coletados a custos razoáveis e possibilitar atualizações a intervalos regulares de tempo; ser baseados em dados confiáveis e possuir um parâmetro com que possam ser comparados.

Os indicadores de ventilação nos espaços urbanos irão contribuir como parâmetros para fazer diagnósticos, definir prioridades de atuação, elaborar projetos e programas, avaliar o desempenho de uma atividade, direcionar investimentos; subsidiando a tomada de decisão, considerando o contexto urbano, aferindo de forma mais científica os padrões

de urbanização e as soluções adotadas no solo urbano, facilitando futuras soluções.

Buscando a construção dos indicadores de ventilação, será proposto relacionar conforto térmico e velocidade do vento, através de indicadores meteorológicos e fisiológicos do vento.

Entendendo que a morfologia urbana interfere na velocidade do ar, a qual influência nas condições de conforto; indicará também a necessidade de diagnosticar quais os atributos urbanos, identificados por diversos autores, que condicionam o movimento do ar no espaço urbano. Através desses dados, se chegará a uma listagem de atributos urbanos a serem observados na construção de indicadores de ventilação intra-urbana.

Por fim, ressaltará a importância desses indicadores de ventilação urbana para possibilitar cidades sustentáveis; e a necessidade de maiores estudos mensuráveis de indicadores de ventilação urbana, relacionando conforto térmico/ velocidade do vento/ morfologia urbana, para com eles criar leis de uso do solo com o melhor aproveitamento deste elemento climático.

2. CONFORTO TÉRMICO E VELOCIDADE DO AR

O homem, como ser homeotérmico, tende a manter a temperatura interna de seu corpo em torno de 37°C aproximadamente, independente das condições do meio. Para alcançar este equilíbrio, realiza processo de trocas térmicas com o ambiente, por meio de convecção, condução e radiação. Deste processo de trocas térmicas resulta o conceito de conforto térmico, o qual pode ser obtido quando o balanço de todas as trocas de calor a que o corpo está submetido, for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites.

Como variáveis de conforto térmico pode-se citar: variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar),

atividade física (taxa de metabolismo) e vestimenta (isolamento térmico da vestimenta).

Entre os parâmetros climáticos, ressalta-se a ventilação, por este elemento climático apresentar destacada possibilidade de alteração durante o processo de ocupação do solo, devido a mudanças na rugosidade, porosidade e compacidade do solo; na cobertura vegetal; e no relevo da região modificada.

O movimento do ar é gerado pela diferença de pressão atmosférica resultantes da temperatura do ar, sendo sua velocidade proporcional à diferença de temperatura entre duas regiões.

O aproveitamento do movimento do ar é importante para a salubridade das pessoas, sendo que um mínimo de ventilação permanente é indispensável para evitar a transmissão de doenças. Além disso, em regiões de climas quentes e úmidos e na estação quente úmida dos climas compostos, a ventilação contribui para acelerar a perda de umidade do corpo, facilitando a troca térmica entre a pessoa e seu entorno, através da convecção e evaporação; sendo que quanto mais o ar se move sobre a pele, mais facilmente ocorre a troca térmica. Assim, a velocidade do ar tem influência direta na sensação de conforto térmico, sendo essencial no espaço urbano.

Para garantir conforto térmico no espaço urbano através da ventilação, a elaboração de índices torna-se eficaz para determinar um valor no qual existe a mesma resposta térmica para diferentes combinações e proporções das variáveis climáticas e humanas. Em geral, esses índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e vestimenta utilizada pelo indivíduo.

Na busca pela construção de indicadores de conforto térmico em relação à ventilação urbana, Villas Boas (1983) indica que o mais antigo estudo sistemático sobre os efeitos do vento, em relação à escala de força deste, foi realizado pelo general Francis Beaufort (1806) cuja pesquisa continua em

uso para identificar condições confortáveis e perturbadoras do vento, sendo este um índice meteorológico (Tabela 01).

Tabela 01 - Escala de ventos de Beaufort

Efeitos causados pelo vento		Nº de Beaufort	Descrição	Velocidade (m/s)
No continente	No mar			
Ar imóvel; fumaça sobe verticalmente	Superfície espelhada	0	Calmo	0 a 0,2
Fumaça flutua, mas a 'biruta' não se move	Apenas pequenas ondulações	1	Ar suave	0,3 a 1,5
Vento sentido na face, as folhas crepitam, a 'biruta' se move	Pequenas ondulações, distintas mas sem redeniar	2	Brisa suave	1,6 a 3,3
As folhas e os pequenos galhos se movem constantemente; os caules se estendem	As ondulações maiores começam a se rebenotar, com espuma cristalina	3	Brisa leve	3,4 a 5,4
Levanta pó e papel solto, move ramos e galhos finos	Pequenas ondas calmas, mas de maior comprimento, com arrebentações muito freqüentes	4	Brisa moderada	5,5 a 7,9
Pequenas árvores e folhas começam a balançar	Ondas moderadas, distintamente alongadas, muitas arrebentações, provavelmente com borrifos isolados	5	Brisa forte	8,0 a 10,7
Galhos maiores se movem, os fios telegráficos assobiam, difícil o controle do guarda-chuva	As grandes ondas se iniciam, com extensas cristas e espumas brancas se arrebentando; prováveis borrifos	6	Ventos fortes	10,8 a 13,8
As árvores se movem; oferece alguma resistência para os pedestres	O mar se agita, linhas de espuma branca começam a ser sopradas a sotavento	7	Ventos severos ou ventania moderada	13,9 a 17,2
Os galhos das árvores se quebram; impede a caminhada	Ondas mediamente altas, com cristas de comprimento considerável	8	Vento violento ou ventania forte	17,3 a 20,7
Leva telhas e coberturas das chaminés	Ondas altas, mas com ondulações rotacionais, densas camadas de espuma; os borrifos já podem reduzir a visibilidade	9	Tempestade ou ventania forte	20,8 a 24,4
As árvores são arrancadas do solo; muitos danos às estruturas	Mar com ondulações rotacionais violentas; ondas muito altas com cristas elevadas; grande quantidade de borrifos, reduzindo visibilidade	10	Tempestade ou ventania muito violenta	24,5 a 28,4
Danos generalizados (muito raros no continente)	Ondas extraordinariamente altas, com borrifos impedindo a visibilidade	11	Tempestade tipo furacão	28,5 a 32,6
_____	O ar fica cheio de espumas e borrifos e o mar fica inteiramente branco	12	Furacão	32,7 a 36,9

Fonte: Villas Boas, 1983: 7.

Neufert (1976 apud Toledo, 2001) também apresenta índice meteorológico de escala de ventos, a partir de faixas de velocidades, qualificando seus efeitos (Tabela 02), sendo muito semelhante à escala de Beaufort (1806).

Tabela 02 - Escala de Ventos de Neufert a partir de Faixas de Velocidades

ESCALA DOS VENTOS					
	Vento	Velocidade m/s		Vento	Velocidade m/s
1	Vibração	1 a 2	7	Frescalhão	12 a 14
2	Fraquinho	2 a 4	8	Duro	14 a 17
3	Fraco	4 a 6	9	Muito duro	17 a 20
4	Bonançoso	6 a 8	10	Temporal	20 a 24
5	Fresquinho	8 a 10	11	Borrasca	24 a 30
6	Fresco	10 a 12	12	Furacão	>30

Fonte: Neufert, 1975: 74 (apud Toledo, 2001: 51).

Villas Boas (1983) também ressalta que Penwarden (1973) utilizou a escala de Beaufort (1806) para estudar as velocidades de ventos aceitáveis e inaceitáveis na cidade, observando seus efeitos sobre as pessoas, sendo um índice fisiológico, o qual pode ser observado na Tabela 03.

Tabela 03 - Efeitos do Vento segundo Penwarden

Número de Beaufort	Velocidade (m/s)	Efeitos	Fonte
0 a 1	0 a 1,5	Calmo, vento pouco notável	a; b
2	1,6 a 3,3	Vento é sentido na face	a
3	3,4 a 5,4	Vento estica uma bandeira leve	a
		Perturba o penteado	b
		As roupas se agitam	b
4	5,5 a 7,9	Levanta poeira e papéis soltos	a, c
		Desarranja os cabelos	
5	8,0 a 10,7	A força do vento é transportada pelo ar	b
		A neve em queda é transportada pelo ar	d
		Límite de ventos agradáveis	f
6	10,8 a 13,8	Guarda-chuvas são usados com dificuldade	a
		Os cabelos ficam esvoaçantes	b
		Dificuldade de andar apumado	b
		Vento é desagradável ao ouvido	b
		Nevasca	d
7	12,9 a 17,1	Sentida incomodidade para andar	a
8	17,2 a 20,7	Geralmente impede o avanço do pedestre	a
		Grande dificuldade em se manter equilibrado durante as rajadas de vento	e
9	20,8 a 24,4	As pessoas são deslocadas pelas rajadas	e

Onde: a. Beaufort escala para o continente; b. Observações do BRS; c. Chepil; d. Newburgh; e. Melbourne e Joubert; f. Shaw; Os valores decimais da velocidade do ar foram obtidos por conversão dos dados originais em nós (1m/s = 1,94 nós)

Fonte: Penwarden (apud Villas Boas, 1983: 08)

Penwarden (1973) (apud Villas Boas, 1983) determinou também índices de conforto para indivíduos à sombra e expostos ao sol, usando a equação de Hunphrey para condições internas adaptadas às condições externas, com a inclusão

de um fator para a radiação solar (a equação de Hunphrey envolve a relação entre a taxa de calor produzida pelo corpo e a taxa de calor perdida, através da roupa, para o meio externo) (Figura 01).

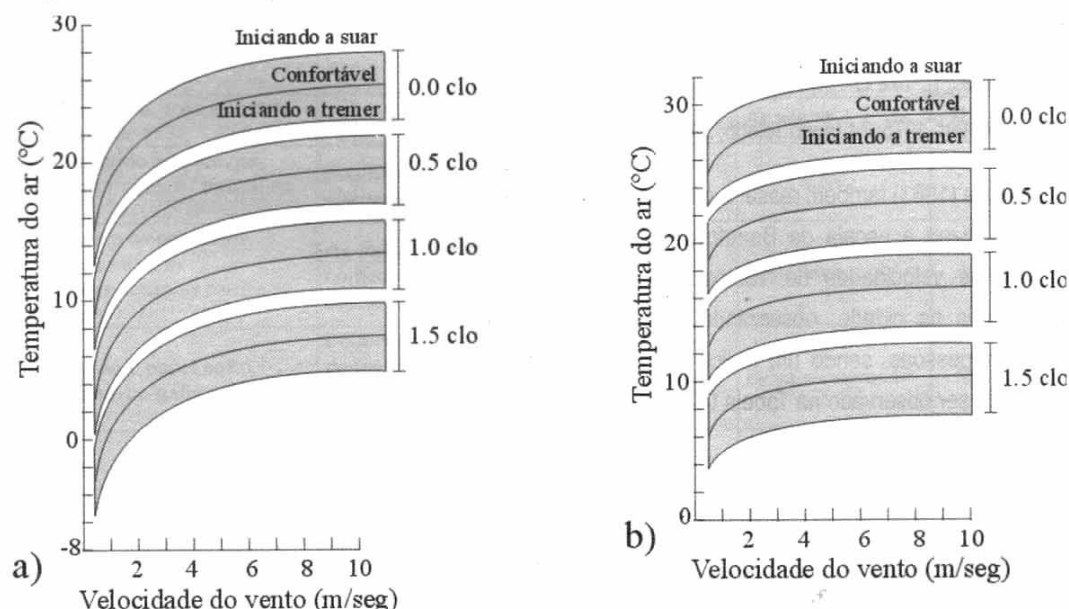


Figura 01 - Condições de Conforto para indivíduos correndo ao solo (a) e à sombra (b); sendo que "clo" indica a porcentagem de roupa utilizada, onde: clo = 0,0 = sem roupa; clo = 0,5 = roupa leve de verão; clo = 1,0 = terno; clo = 1,5 = roupa de frio com sobretudo.

Adaptado de Villas Boas (1983 : 09).

Lohmeyer et al. (apud Silva, 1999), indica ainda outros índices fisiológicos, observando que para velocidade de vento < 6m/s inexistem problemas de

conforto térmico; e para velocidade de vento > 3m/s a sensação é desagradável e incômoda (Tabela 04).

Tabela 04 - Relação entre a velocidade de rajadas de vento e sua ação sobre as pessoas.

Velocidade De rajada	Frequência ultrapassada	Critérios de julgamento
<6m/s	-	Inexistem problemas de conforto térmico
>6m/s	Max. 5%	Admitidos em parques, lugares de espera, cafés de rua e em parques de recreio
>6m/s	Max. 20%	Admitidos em áreas de curta permanência (critério menos forte), ou seja, que são transpostas com rapidez.
>15m/s	Max. 0,05%	
>8m/s	Max. 1%	Permitido em áreas com lugares para sentar e esperar
>10m/s	Max. 1%	Permitido em áreas para curto tempo de permanência (critério severo)
>13m/s	Max. 1%	Admitido em esquinas de edifícios Admitido para caminhar sem problemas
>13m/s	>1%	Desagradável e incômodo abrigo de proteção contra o vento
>18m/s	>1%	Perigo

Fonte: Lohmeyer et al., 1992 (apud Silva, 1999 : 18)

Saraiva (1994, apud Silva, 1999), desenvolveu critério de conforto para pedestre, tomando como base à velocidade média em 10 minutos a 2 metros do solo. Segundo este estudo, para U (Velocidade média) = 5 m/s, há início do desconforto; para U = 10 m/s, está claramente desconfortável e, para U = 20 m/s, é perigoso. Estudos posteriores verificaram que a velocidade efetiva (Ue), que combina, simultaneamente, o efeito das velocidades médias e o das rajadas, podem ser expressos pela equação:

$$U_e = U (1 + k / U)$$

Onde: k = constante que mede a importância das flutuações (a maioria dos autores aponta k = 3); e corresponde ao valor máximo de rajada que controla as condições de conforto e segurança.

Desta equação resulta como critérios de conforto, os valores indicados na Tabela 05:

Tabela 05 - Critérios de Conforto

Ue	Critério de conforto
6 m/s	Limite de conforto
9 m/s	Desempenho afetado
15 m/s	Controle do caminhar afetado
20 m/s	Perigoso para pessoas frágeis

Fonte: Silva (1999 : 19)

Mascaró (1996) traz ainda outras referências sobre velocidade do ar e conforto térmico; tomando como base à velocidade média em 10 minutos a 2m do chão, as quais podem ser vistas na Tabela 06:

Tabela 06 - Critérios de Conforto

Velocidade do ar	Critério de conforto
5 m/s	Início do desconforto
10 m/s	Claramente desconfortável
15 m/s	Controle do caminhar afetado
20 m/s	Perigoso para pessoas frágeis

Fonte: Mascaró (1996 : 43)

Davenport (apud Silva, 1999), desenvolveu, no Canadá, critérios que relaciona conforto com atividade humana a ser desenvolvida, o local, a frequência dos ventos mais fortes e a cota altimétrica de cálculo ou medições; sendo seus critérios válidos para temperaturas superiores a 10°C (Tabela 07). O objetivo deste autor é verificar de acordo com estes atributos se as condições de conforto relativa ao vento são perceptíveis, toleráveis, desagradáveis ou perigosas. A Tabela 08 relaciona o critério de Davenport com o número de Beaufort.

Outros indicadores de conforto térmico, relacionados à velocidade do vento, podem ser extraídos do comentário de outros autores: Rivero (1986), afirma que a velocidade do ar de 1,5m/s acarreta o mesmo efeito térmico sobre uma pessoa do que a diminuição de 3°C na temperatura do meio; Givoni (apud Maciel, 2002), em seus estudos sobre a carta bioclimática, destaca que o limite superior da sensação de conforto pode ser alterado de 27°C para 29,7°C, quando a velocidade do ar aumenta de 0,1 para 1,5m/s.

Partindo desses indicadores de conforto térmico, associados à velocidade do vento; percebe-se que, para haver este conforto térmico no espaço urbano, a morfologia urbana deve possibilitar que em seus espaços públicos, o movimento do ar flua permitindo a velocidade do vento dentro do limite de conforto para cada tipo de atividade a ser desenvolvida. Assim, antes de discorrer sobre os atributos urbanos que interferem na ventilação urbana, e conseqüentemente na construção de indicadores de ventilação urbana, serão indicadas as características do movimento do ar, para entender seu desempenho no espaço urbano.

Tabela 07 - Tentativa de critério de conforto para ventilação

Atividade	Área aplicável	Conforto relativo			
		Perceptível	Tolerável	Desagradável	Perigoso
Andar rápido	Calçada	5	6	7	8
Passear, patinar	Parques, entradas, pista de patinação	4	5	6	8
Estar, sentar: por curta exposição	Parques, praças	3	4	5	8
Estar, sentar: por longa exposição	Parte de fora de restaurante, faixas com escudos, teatro	2	3	4	8
Critério representativo para aceitação			< 1 Oeen / semana	< 1 Oeen / mês	< 1 Oeen / ano

Fonte: Davenport (apud Silva, 1999: 20)

Tabela 08 - Relação entre o número de Beaufort e a velocidade do vento (m/s)

Número de Beaufort	1	2	3	4	5	6	7	8
Velocidade do vento média na escala na altura de 10 m em região aberta	0,9	2,4	4,4	6,7	9,3	12,4	15,5	18,9
Velocidade de rajada em uma altura de 2 m de $(V2) = (V10) 1.5 \times 0,8$	1	3	5	8	11	15	19	23
Velocidade média do vento na escala da área da cidade em uma altura de 2 m de $(V2) = 0.5 \times (V2)$	0,5	1,5	2,5	4	5,5	7,5	9,5	11,5

Fonte: Davenport (apud Silva, 1999: 20)

3. CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO DO AR

Em cada lugar geográfico existe um regime de vento irregular, sendo muito difícil prever as possíveis condições de intensidade e direção deste num momento determinado, porque mesmo em um curto intervalo de tempo, não há constância de direção e velocidade. Romero (2000: 43) comenta que “dos dados meteorológicos, o vento é o mais variável, tanto no curso do dia, como de um dia para outro”. Disso resulta que, o fluxo do ar não é estável, e por isso pode variar segundo sua direção, velocidade, frequência diária e sazonal. Entretanto, existem fatores próprios de cada lugar, que condicionam a maior ou menor probabilidade de direção e intensidade de vento, como proximidade à zonas de costa (regime de brisas mar-terra de dia e terra-mar à noite), lagos, topografia (montanhas), bosques e zonas urbanas [sendo que desenvolvesse no espaço externo devido à própria força (pressão) do vento].

O movimento do ar também possui inércia, e por

isso, tende a ter velocidade e direção constante até encontrar algum obstáculo. Em relação à velocidade de deslocamento das massas de ar, esta é menor em regiões com maior rugosidade, porque perde energia por atrito. Quanto mais rugoso o solo, maior o atrito e menor a velocidade do ar, principalmente ao nível do piso, aumentando a turbulência de seu fluxo; sendo que próximo ao solo a velocidade tende a ser menor do que nas maiores alturas. Portanto, a velocidade de deslocamento das massas de ar é menor sobre a cidade do que sobre a superfície rural (Figura 02). Porém, quanto mais reduzida a velocidade dos ventos, mais tempo será necessário para o deslocamento dos poluentes da atmosfera urbana.

Quanto mais densamente construída é uma área, maior é a rugosidade do solo, e conseqüentemente, maior é a redução na velocidade do vento em alturas próximas ao solo e mais alta encontra-se a altitude em que o vento se desloca livremente.

Em relação à direção do movimento do ar, este mantém sua direção até encontrar algum

obstáculo (rugosidade do terreno), mudando sua direção através de série de fluxos ascendentes e descendentes, rotacionais ou não rotacionais que, se corretamente utilizado, pode aumentar as trocas térmicas por convecção com as superfícies dos obstáculos e a atmosfera (Figura 03).

O fluxo de ar também sofre interferência quanto à porosidade do sítio onde atua. Regiões com maior porosidade são melhor ventiladas do que as pouco porosas; conseqüentemente, nas muito porosas há melhores trocas térmicas, renovação do ar e possibilidade de ventilação cruzada, o que é o ideal para regiões quentes (Figura 4.a e 4.c). Regiões mais

opacas (não porosas) acumulam mais calor devido à propriedade térmica dos materiais, necessitando de maior ventilação para realizar trocas térmicas (Figura 4.b).

Verificando que a rugosidade e a porosidade interferem no movimento do ar, conclui-se que a ventilação urbana apresenta destacada possibilidade de alteração durante o processo de ocupação do solo; e que conhecer a tendência de comportamento do movimento do ar num determinado lugar, permite aproveitá-lo, controlando sua intensidade e fluxo, através das características físicas do sítio, e de desenho urbano adequado.

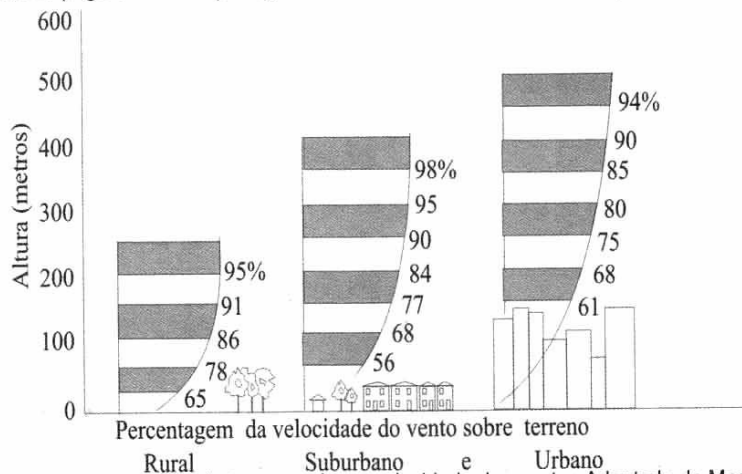


Figura 02 - Efeito da rugosidade do terreno sobre a velocidade dos ventos. Adaptado de Mascaró, 1991: 33.

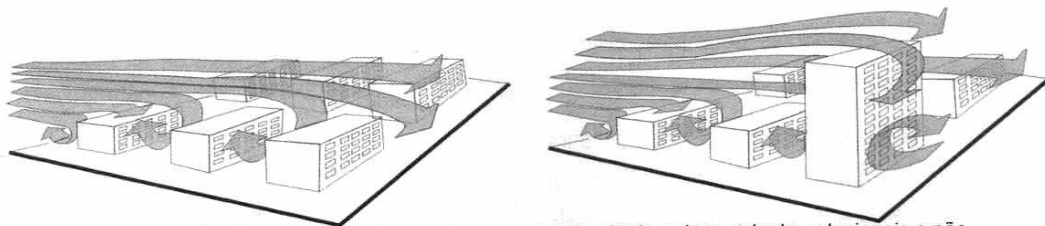


Figura 03. Movimento turbilhonar do movimento do ar; com ascendente e descendente, rotacionais e não rotacionais; causado por obstáculos ao vento. Adaptado de Mascaró, 1991: 34.

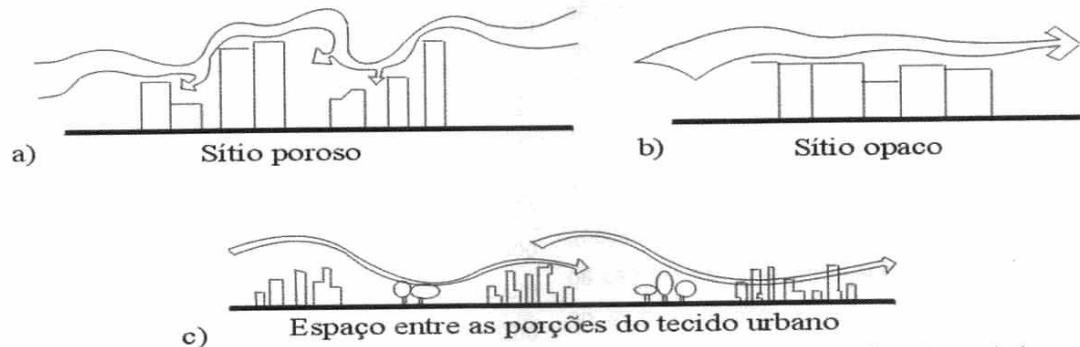


Figura 04. a) Sítio poroso; b) Sítio opaco; c) Sítio com espaços entre as porções do tecido urbano formando áreas porosas. Adaptado de Romero, 2000: 108.

4. INDICADORES DE VENTILAÇÃO QUANTO A MORFOLOGIA URBANA

Observando as características do comportamento do vento e sua velocidade para conforto térmico, ressalta-se, como comentado anteriormente, que a ventilação natural não possui direção, velocidade, frequência diária e sazonal constante. Portanto, para medir a velocidade do ar, em espaço urbano, realizam-se medições em diversos pontos do sítio a ser observado, fazendo a somatória das velocidades coletadas, dividido pelo número de medições realizadas. Assim, na formulação de indicadores de sustentabilidade intra-urbana, a fórmula para o desfrute da ventilação urbana para conforto térmico e salubridade, dependerá do somatório das velocidades do vento, dividido pelo número de medições num determinado horário, onde os dados da fórmula são: velocidade do vento por hora (m/s/horário), e pontos de medição (m), sendo esta medição com feição em linha.

Para o melhor aproveitamento da ventilação natural no espaço público, a morfologia urbana deve garantir que a ventilação esteja com a velocidade ideal para conforto térmico. Diversos autores apontam atributos urbanos que são a base de dados de análise para a construção dos indicadores de ventilação intra-urbanos. Veja a seguir algum desses autores.

Villas Boas (1983) relaciona como atributos para melhor ventilação cruzada: a altura, a forma, a localização de edifícios baixos frente aos mais altos, o tamanho da superfície do edifício exposta ao vento, as aberturas nos edifícios, a localização e a disposição de edifícios muito próximos ou distantes; e as barreiras vegetais.

Rivero (1986) comenta como dados de análise para ventilação no espaço externo: a altura e a distância do obstáculo ao fluxo de ar (muro, vegetação), a direção e a velocidade do vento em relação ao obstáculo (perpendicular ou oblíquo), largura da rua, adensamento; dimensão, altura e porosidade

dos edifícios.

Oliveira (1988) aponta como dados as características do sítio urbano: aspectos geomorfológicos; e as características da forma urbana: rugosidade, porosidade, densidade de construção e orientação.

Mascaró (1991) indica como dados de análise urbana: a largura e extensão das ruas, a forma e a altura dos edifícios, a distância entre eles e a posição em relação à direção do vento dominante, a latitude (quanto maior, melhor o aproveitamento do vento), a barreira de vegetação, a declividade do terreno, a localização em litoral ou continente, a distribuição dos edifícios altos entre os baixos e a distância entre eles, a densidade de ocupação, a distribuição dos edifícios entre si (paralelo, perpendicular, intercalado, oblíquo), a localização relativa dos prédios (observando comprimento, largura, altura e sua orientação em relação à direção do vento), a justaposição de construções de quaisquer alturas, e a porosidade do edifício, a topografia, a massa construída, vegetação. Aponta ainda que estes fatores podem desviar, alterar ou canalizar a ventilação, sendo que as barreiras podem ter efeito de obstrução (bloquear o fluxo de ar), deflexão (desviar a direção e velocidade do fluxo de ar), filtragem (reduzir a velocidade do fluxo de ar) e condução (direcionar o fluxo de ar, modificando sua velocidade).

Hertz (1998) estabelece como dados: a altura, o comprimento, a largura, a forma, a orientação, a quantidade e orientação de superfície exposta ao vento; a distância e a angulação entre edifícios; a inclinação do telhado; a localização de obstáculos como vegetação, muros e outras barreiras, a distância e a altura destes em relação aos edifícios; e a disposição dos edifícios altos entre os baixos.

Frota et al. (1999) comenta como atributos os obstáculos, produzidos por construções vizinhas, muros ou mesmo vegetação; distância entre edificações, topografia, disposição dos edifícios entre si e em relação a direção do vento incidente, largura

das ruas, malha urbana e partido arquitetônico.

Romero (2000) indica que o movimento do ar no meio urbano está em relação direta com a massa edificada, a forma destas, suas dimensões e sua justaposição. Esta autora observa ainda como elementos urbanos que modificam o comportamento do vento: a porosidade dos edifícios (pilotis), a orientação do edifício ao vento dominante, os obstáculos como vegetação, a forma do edifício, a largura e extensão das ruas, a variação de altura das edificações, a continuidade ou descontinuidade das edificações, o alinhamento ou não das edificações em relação à rua; a distância entre as edificações.

Romero (2001) comenta como dados urbanos que influenciam o movimento do ar e sua velocidade, a orientação das ruas com relação à direção dos ventos, o tamanho, a altura e a densidade dos edifícios, assim como a distribuição dos edifícios altos entre os baixos.

Lengen (2002) analisa como dados de análise a topografia, a porosidade dos edifícios e da morfologia urbana, a altura e distância entre edifícios, as barreiras vegetais, a disposição dos edifícios e vegetação em relação ao vento dominante, a inclinação dos telhados.

Mascaró et al. (2002) indica a vegetação (porte, forma, permeabilidade, período de desfolhamento e idade), a permeabilidade e perfil do recinto, a orientação com relação aos ventos dominantes, a densidade da ocupação, o gabarito das edificações, a topografia, a morfologia urbana e o tamanho relativo da vegetação em relação à edificação.

Serra (2002) aponta com dados de análise a localização geográfica (topografia, proximidade ao mar, lagos e rios); a forma e orientação dos edifícios; barreira de vegetação (forma, altura, densidade), ou de parede, ou edifício do entorno, ou o próprio edifício; e disposição dos edifícios entre si.

Adolphe (2003) expõe como dados a densidade, rugosidade, porosidade, altura dos edifícios,

compacidade, proximidade e morfologia da arquitetura.

Outros dados urbanos de análise utilizados por vários autores são: a forma da cidade; a disposição e amplitude de suas vias; o potencial construtivo dos lotes urbanos; os anteparos (obstáculos) naturais (vegetação) ou artificiais (muros, edifícios) e seus tamanhos; a rugosidade e a densidade da superfície do solo urbano; a altitude do sítio; a porosidade, a dimensão, a forma, a volumetria e a altura dos edifícios; e a disposição entre si.

Assim, através desses autores, chega-se os seguintes dados urbanos de análise para a construção de indicadores de ventilação intra-urbanos são:

- Densidade: densidade de edifícios;
- Rugosidade: topografia (declividade - %), material superficial (tipo / m²), obstáculos naturais: cobertura vegetal (m²), ou obstáculo construído: muros (m²) e edifícios (m³);
- Porosidade: volume útil do sítio pelo volume total do sítio
- Ocupação do solo: orientação em relação à direção dos ventos (ângulo), extensão (m), largura (m), localização (endereço), proximidade (m), forma (ângulo);
- Morfologia da arquitetura: altura (m), comprimento (m), largura (m), forma / volumetria (m³), porosidade (m³), orientação ao vento dominante (ângulo de incidência), inclinação da cobertura (%), continuidade ou descontinuidade (m), alinhamento ou não alinhamento (m), disposição entre os edifícios – distância, densidade, orientação (paralelo, perpendicular, intercalado, oblíquo entre si), distribuição dos edifícios altos entre os baixos (m).

5. CONCLUSÃO

A construção de indicadores urbanos associados à ventilação nos espaços públicos faz-se necessária para garantir leis urbanísticas de uso e ocupação do solo, visando a eficácia da ventilação para conforto térmico e salubridade nas cidades.

Assim, através de indicadores urbanos de ventilação seria possível estabelecer parâmetros para fazer diagnósticos, definir prioridades de atuação, elaborar projetos e programas, avaliar o desempenho de uma atividade, direcionar investimentos, subsidiando a tomada de decisão, considerando o contexto urbano, garantindo de forma científica os padrões de urbanização e facilitar futuras soluções.

Para construção de indicadores urbanos de ventilação, deve-se observá-lo em relação ao conforto térmico. A ventilação é de fundamental importância para garantir aceleração de perda de umidade do corpo em regiões de clima quente e úmido e na estação quente úmida de climas compostos, por facilitar a troca térmica entre a pessoa e seu entorno através da convecção e evaporação, sendo que quanto maior a velocidade do ar em contato com a pele, mais facilmente ocorre a troca térmica. Assim, a velocidade do ar é importante dado para a construção de indicadores de conforto térmico associados à ventilação.

Vários autores estudaram indicadores meteorológicos de ventilação, os quais serviram de base para a construção de indicadores fisiológicos de ventilação, diagnosticando o limite de conforto térmico para velocidade do ar, entre 5 a 6 m/s.

Entretanto, para que o espaço urbano permita condições adequadas de velocidade de vento, a morfologia deste deve observar o comportamento do vento, o qual pode variar segundo sua direção, velocidade, frequência diária e sazonal. Outro fator é que o fluxo de ar por possuir inércia, e tende a ter velocidade e direção constante até encontrar algum obstáculo; portanto, a rugosidade, a porosidade

e a densidade do sítio interferem diretamente no comportamento do vento.

Diversos autores apresentam dados urbanos que contribuem para alterar o comportamento do ar no espaço urbano. Estes dados são simplificados em densidade, rugosidade, porosidade, ocupação do solo e morfologia da arquitetura; e servem de base para a construção de indicadores de ventilação intra-urbanos.

Conclui-se que na construção de indicadores de ventilação urbana para possibilitar cidades sustentáveis, faz-se necessário, maiores estudos englobando conforto térmico, velocidade do vento e morfologia urbana, garantindo eficiência quanto a ventilação urbana.

6. REFERÊNCIAS

- ADOLPHE, L. Sustainability Indicators for Environmental Performance of Cities. Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago – Chile, 1 CD, 20Th, Plea, 9-12 Novembro, 2003.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de Conforto Térmico. 3. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1999. 243p.
- HERTZ, J. Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1998. 125 p.
- LENGEN, J. v. Manual do arquiteto descalço. Rio de Janeiro: Casa do Sonho, 2002. 724 p.
- MACIEL, Alexandra A. Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritório. Florianópolis, 2002. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- MASCARÓ, L. R. Energia na Edificação: Estratégia para minimizar seu consumo. 2. ed. São Paulo: Projeto, 1991. 216 p.
- _____. Ambiência urbana: Urban environmet. Porto Alegre: DC Luzzatto, 1996. 199 p.
- MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. Vegetação Urbana. Porto Alegre: FINEP; UFRGS, 2002. 242 p.
- OLIVEIRA, Paulo Marcos Paiva de. Cidade apropriada ao clima: A forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. 1988. 134f.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Faculdade de Arquitetura, Universidade de Brasília, Brasília.

RIVERO, R. Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural. 2. ed. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986. 239 p.

ROMERO, M. A. B. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. 2. ed. São Paulo: ProEditores, 2000. 128 p.

_____. Arquitetura Bioclimática do espaço urbano. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 226 p.

SERRA, R. Arquitectura y climas. 3.ed. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 2002. 94 p.

SILVA, F. A. G. O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: Uma aplicação ao nordeste do Brasil. 1999. 234 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

TOLEDO, A. M. Ventilação Natural e Conforto Térmico em Dormitórios: Aspectos bioclimáticos para uma revisão do código de obras e edificações de Maceió. 2001. 270 f. Monografia (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura UFRGS, Porto Alegre. 2001.

VILLAS BOAS, M. Ventilação em arquitetura. 1983. 65f. Monografia - Faculdade de Arquitetura - UnB, Brasília. 1983.