A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES FATORES MORFOLÓGICOS URBANOS NO AMBIENTE TÉRMICO DA CIDADE

R. G. de Lima, G. de M. Barbirato, L. S. Bittencourt, C. A. de S. Souza.

RESUMO

Fatores morfológicos como a verticalidade, rugosidade e porosidade podem influenciar a qualidade ambiental e o desempenho térmico do ambiente construído. Este artigo buscou avaliar o comportamento térmico e dinâmico de diferentes configurações urbanas de Maceió – AL, cidade de clima quente e úmido localizada no nordeste brasileiro, objetivando verificar a influência da morfologia no desempenho térmico exterior. Foram selecionadas duas dentre cinco classes tipológicas consideradas representativas do tecido urbano de Maceió para análise do ambiente térmico: a tipologia Colonial Contínuo e a tipologia Vertical Alto, por apresentarem os maiores valores de rugosidade e porosidade, comparado às demais tipologias. As tipologias selecionadas foram simuladas no programa Envi-Met, versão 4.0, considerando-se a exposição de uma quadra típica exposta às condições climáticas locais em diferentes incidências de ventilação. Os resultados indicam que assentamentos densos e de altura praticamente uniforme contribuem para a diminuição da velocidade do vento e prejudica a dispersão do calor.

1 INTRODUÇÃO

A cidade pode ser entendida como um ponto focal de consumo de energia. Suas características morfológicas, infraestrutura, dinâmicas socioeconômicas e densidade é que definirão o seu desempenho térmico e consumo energético.

Para STEEMERS (2003), o relativo baixo custo da energia nos últimos séculos contribuiu para o aumento da dispersão das atividades e pelo decréscimo da densidade de muitas cidades do planeta. Esta baixa densidade tem resultado no aumento da separação física e difusão das atividades, necessitando de um incremento do transporte de massa, como também, contribuindo para o aumento da circulação de transportes individuais. Como ônus, têm-se o aumento do consumo de energia por transportes e da poluição ambiental.

Sabe-se que tecidos urbanos com alta densidade de construção contribuem para o compartilhamento de infraestrutura, energia, redes de água, drenagem, transportes públicos, dentre outros serviços. Esse compartilhamento em um primeiro momento pode contribuir para a redução do consumo *per capita* de energia, em relação a áreas menos adensadas. Contudo, áreas frequentemente marcadas por forte verticalização, podem causar efeitos negativos no microclima local, resultando no comprometimento do desempenho térmico das edificações e na qualidade dos espaços urbanos, caso não seja levado em conta parâmetros como a taxa de ocupação do solo, além das características físicas e climáticas do lugar em questão.

A verticalidade nem sempre é sinônimo de alta densidade, a exemplo de edifícios implantados em lotes onde a maior porcentagem do solo é deixada livre por razões de acessibilidade viária e direito ao sol. Apesar do grande número de pavimentos, estes ainda assim estariam entre as formas menos densas, quanto à taxa de ocupação do solo, e podem contribuir para a melhoria do sombreamento da envoltória e do entorno.

Além da verticalização, outros fatores como a rugosidade e porosidade do tecido urbano e do próprio edifício podem influenciar na qualidade ambiental e no desempenho térmico do espaço urbano.

No Brasil, na maioria de suas cidades, o acelerado processo de urbanização não acompanhou um planejamento urbano eficiente, devido a fatores como a ausência de políticas públicas de controle e normalização do uso do solo e das construções urbanas. Levando as cidades a reproduzirem modelos urbanos de baixa qualidade ambiental, com malhas urbanas desordenadas, elevados processos de verticalização, uso intensivo do solo e a proliferação de assentamentos irregulares (GOMES; LAMBERTS, 2009).

Dentre as principais consequências da rápida urbanização das cidades estão às alterações nos microclimas locais, pois a falta de planejamento urbano e a desconsideração do clima podem contribuir para: o aumento ou redução da velocidade do vento, de acordo com o grau de obstrução dos arredores da edificação; maior exposição a elevadas cargas térmicas, como também, a níveis sonoros elevados (HIRASHIMA et al, 2009).

No que tange às edificações, as características de cânion urbano, a orientação da implantação e o dimensionamento dos lotes e quadras podem afetar a disponibilidade de luz e ventilação natural no interior dos edifícios, refletindo diretamente no desempenho térmico e energético dos mesmos (Martins, 2014).

Segundo Salat (2010), um planejamento focado na morfologia urbana pode contribuir para: otimizar a densidade (populacional e habitacional); reduzir o consumo de energia, ao equilibrar a transmissão de calor através da envoltória com o exterior, a penetração da luz e do calor do sol, a permeabilidade ao vento; reduzir as necessidades de transportes individuais, e consequentemente as emissões de carbono.

2 OBJETIVO

Este artigo buscou avaliar o comportamento da temperatura do ar e da ventilação natural em diferentes configurações urbanas de Maceió – AL, cidade de clima quente e úmido e localizada no nordeste brasileiro, com vistas a verificar a interferência de fatores morfológicos urbanos (rugosidade e porosidade), associados a incidências dos ventos Leste (90°), Sudeste (135°) e Sul (180°), no desempenho térmico resultante.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do Objeto de Estudo

O trabalho teve como base avaliações paramétricas de dois cenários urbanos, de maneira a analisar o comportamento da temperatura do ar e ventilação natural nestas configurações, identificando as alterações e magnitude desse fluxo de ar e a influência no desempenho térmico do ambiente construído.

Martins (2014), a partir da avalição de características morfológicas e métodos estatísticos, identificou cinco classes tipológicas representativas do tecido urbanos de Maceió: (horizontal disperso, vertical baixo, colonial contínuo, vertical alto e horizontal denso), como mostra a tabela 1. A partir dessa classificação, foram selecionadas duas dentre as cinco classes para análise do ambiente térmico: a tipologia colonial contínuo e a tipologia vertical alto, por apresentarem em sua configuração os maiores valores de rugosidade e porosidade, fatores morfológicos de forte influência na velocidade do vento (figura 1).

Tabela 1: cinco classes tipológicas com suas características morfológicas.

Classe	Altura média ponderada	Coeficiente de forma	Contiguidade	Rugosidade	Densidade Construída (DC)
1 Horizontal disperso	4,223	4,75	0,071	0,104	0,08
2. Vertical baixo	9,112	5,18	0,022	0,252	0,88
3 Colonial contínuo	6,294	3,87	0,385	2,80	2,38
4 Vertical alto	17,042	4,94	0,226	3,60	4,15
5 Horizontal denso	5,157	3,66	0,036	1,714	0,75

Fonte: Adaptado de Martins (2014).

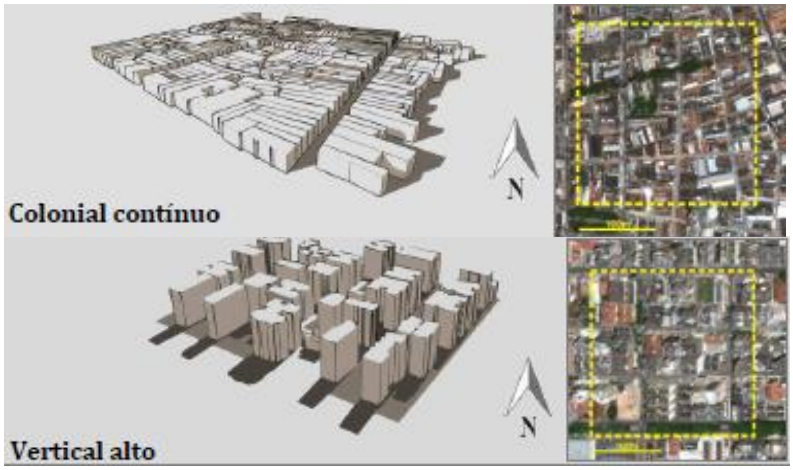


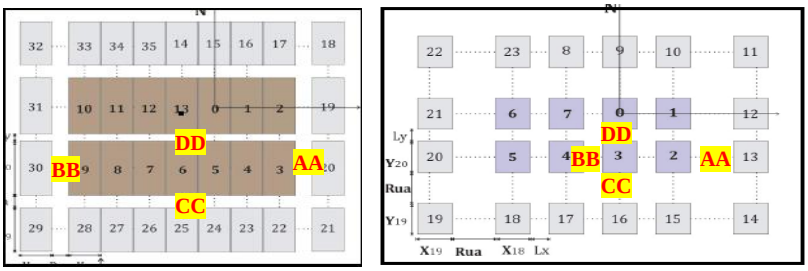
Figura 1: Classes tipológicas escolhidas.
Fonte: Adaptado de Martins, 2014 e Google, 2014.

3.2 Simulação Computacional

Utilizaram-se simulações computacionais com o software Envi-Met, versão 4 (BRUSE, 2015). Trata-se de um software gratuito que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente a partir de modelos tridimensionais de clima urbano.

3.3 Definição dos modelos de simulações

Com base nas classes tipológicas citadas, considerou-se para a Classe 3 um arranjo de 35 edificações com 4 a 5 pavimentos (Figura 2). Para a Classe 4, um arranjo de 23 edifícios com 9 a 12 pavimentos (Figura 3). Consideraram-se quatro receptores (AA, BB, CC e DD): pontos escolhidos dentro dos arranjos urbanos que registraram os dados horários de temperatura do ar e velocidade do vento. A localização destes foi escolhida estrategicamente de acordo com as características do recorte urbano a fim de avaliar o comportamento dessas variáveis climáticas sobre a interferência da configuração do tecido urbano e da direção do vento predominante considerado (Figuras 2 e 3).



Figuras 2 e 3: Classes tipológicas 3 e 4, respectivamente.
Fonte: Adaptado de Martins, 2014.

3.4 Dados de entrada para a simulação

Seguindo as recomendações do tutorial do programa Envi-Met, realizaram-se simulações com duração total de mais de 24 horas, iniciando às 21:00 horas (sem influência do aporte solar), do dia 16 de fevereiro. Foram escolhidos para análise os horários das 00hs, 03hs, 06hs, 09hs, 12hs, 15hs, 18hs e 21hs do dia 17 de fevereiro (dia intermediário da simulação), desprezando assim as primeiras horas da simulação que serviu apenas para alinhar o programa.

Foram utilizados os mesmos parâmetros climáticos de entrada para as simulações, de modo a viabilizar a avaliação comparativa entre os resultados, variando apenas a incidência da ventilação. Conforme tabela 2:

Tabela 2: Dados climáticos utilizados na simulação.

Dados Principais	Valores
Velocidade do vento a 10m de altura	4,18m/s
Direção do vento	Leste (90°); Sudeste (135°) e Sul (180°)
Rugosidade do local	0.01
Temperatura do ar	299.45 K = 26.3 °C
Umidade específíca a 2500m	5.3 g/kg
Umidade relativa do ar em 2m	76.6 %

Fontes: Universidade de Wyoming. 2015 e Inmet. 2016.

Os dados climáticos de entrada foram retirados das Normais Climatológicas de Maceió entre 1961 e 1990 (INMET, 1990), de acordo com as médias do mês de fevereiro. Já os dados de umidade específica a 2.500m foram considerados os da cidade de Natal, cidade próxima e com condições climáticas similares às da região de estudo (por inexistir dados provenientes de balões atmosféricos na cidade de Maceió - AL), a partir dos dados disponibilizados pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming, nos Estados Unidos (disponível em: http://weather.uwyo.edu/upperair/).

Após a simulação dos modelos, realizaram-se análises comparativas das velocidades, da distribuição do escoamento do vento e temperatura do ar nos recortes estudados, para as três incidências de vento consideradas (Leste, Sudeste e Sul).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As figuras 4 a 15 mostram os resultados da simulação do comportamento temperatura do ar e da velocidade do vento para os dois modelos avaliados, às 0h, 03h, 06h, 09h, 12h, 15h, 18h e 21h. Foi analisada a seção horizontal no nível dos usuários (1,5m) e de um pavimento intermediário, representado pelo 4º andar (10,5m), considerando a direção do vento à leste (90° de azimute), sudeste (135° de azimute) e sul (180° de azimute).

4.1 Modelo: Colonial contínuo - Classe 3

4.1.1 Orientação Leste – 90° de azimute

Na simulação do modelo Classe 3, com edificações de 4 a 5 pavimentos e recuos entre 3 m e 8m, a análise dos resultados mostra que a temperatura do ar aumenta gradativamente ao longo do dia nos horários testados, reduzindo novamente no período noturno.

Ao considerar a ventilação Leste, a diferença de temperatura entre a localização dos quatro receptores foi de menos de 1 grau. As maiores temperaturas foram registradas no receptor AA, localizado por trás da edificação a barlavento (Figura 2), uma média de 24,91°C. Já as menores foram registradas no receptor DD, situado no sentido da direção do vento Leste, com uma média de 24,58°C. Observa-se que a variação térmica ao longo do dia foi em torno de 20,15°C a 30,23°C (Figura 4).

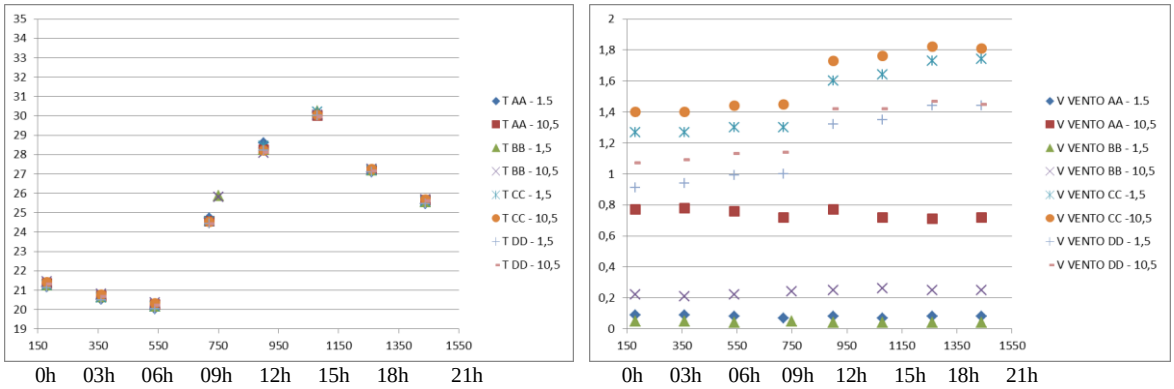


Figura 4 e 5: Comportamento da temperatura do ar. / Comportamento da ventilação do vento. - Classe 3, orientação leste.

Os pontos analisados registraram diferenças no fluxo da ventilação natural. Além disto, observa-se também um incremento da velocidade do vento ao longo de eixo vertical. Comparando-se os níveis analisados, no receptor AA na altura de 1,5m do solo observa-se uma pequena variação diária de 0,07 a 0,09 m/s. Enquanto que no mesmo receptor a 10,5m do solo, essa variação foi de 0,71 a 0,78m/s. No receptor BB essa variação de nível é ainda menor, de 0,04 a 0,05m/s e 0,21 a 0,26m/s, na altura de 1,5m e 10,5m do solo, respectivamente (Figura 4).

Ao longo do dia, a maior variação da velocidade do ar foi registrada no receptor CC de 1,40 a 1,81m/s a 10,5m do solo, conforme pode ser verificada na figura 5.

A localização do receptor AA foi prejudicada pela barreira formada pelo edifício a barlavento, já o receptor CC ficou localizado em um corredor de vento, recebendo sem nenhuma obstrução a ventilação leste. Ver figura 2.

Ou seja, percebe-se na Classe 3 com ventilação predominante a leste, que ao longo do dia as variações de velocidade de ar não foram significativas, porém os receptores localizados à sotavento (AA e BB) registraram as menores velocidades se comparados aos pontos CC e DD (localizados ao longo do sentido de vento, livre de obstruções) que tiveram velocidades de vento de mais de 0,90m/s.

4.1.2 Orientação Sudeste – 135° de azimute

Ao considerar o modelo Classe 3 com incidência da ventilação a sudeste, verifica-se que a temperatura do ar obedeceu a mesma curva de crescimento ao longo do dia, com variações de menos de 1°C entre os pontos registrados (Figura 6). Porém, os resultados apontam para valores de temperatura do ar maiores do que o caso anterior: O receptor AA apresentou uma média de 25,26°C; O receptor BB uma média de 24,89°C; O receptor CC média de 24,96° C e; No receptor DD uma média de 24,77°C. Observa-se ao longo do dia uma variação térmica que vai de 20,18°C a 31,5°C.

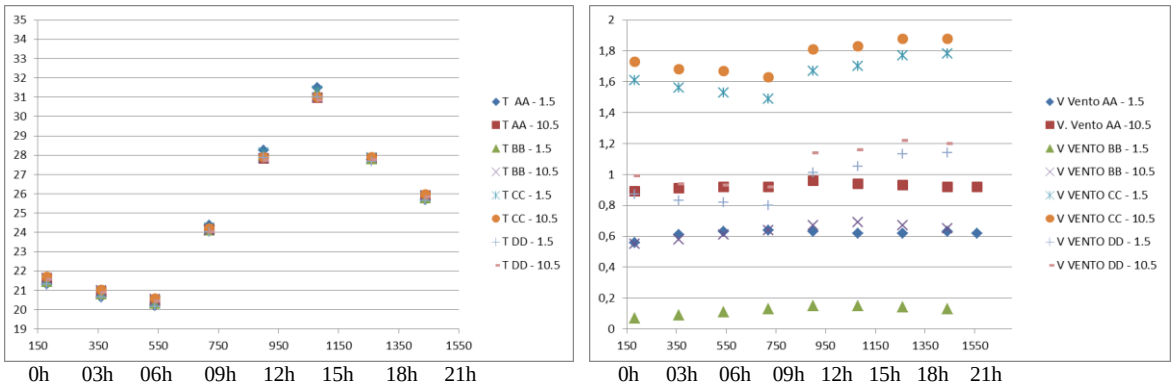


Figura 6 e 7: Comportamento da temperatura do ar. / Comportamento da ventilação do vento. - Classe 3, orientação sudeste.

A velocidade do ar apresentou variações significativas comparando a localização dos quatro receptores analisados. Os menores valores da velocidade do vento foram registrados nos receptores BB a 1,5m do solo (0,7 a 0,15m/s) e no receptor AA a 1,5m do solo (0,56 a 0,64m/s). As mais altas velocidades foram registradas no ponto CC a 10,5m do solo (1,73 a 1,88m/s) e em seguida no ponto DD a 10,5m do solo (0,92 a 1,22m/s). Ver figura 7. Acredita-se que no ponto CC a ventilação apresentou maior intensidade pelo receptor está em uma rua mais larga, de 8m e devido a um menor desvio na direção do vento. A canalização do vento também contribuiu para uma maior pressão do vento no receptor DD.

Os registros da velocidade do ar apresentaram seus maiores valores considerando o pavimento intermediário, ou seja, mais distante do solo.

4.1.3 Orientação Sul – 180° de azimute

Considerando a ventilação Sul, observa-se que a temperatura do ar apresenta-se com valores mais baixos se comparados aos dos casos anteriores. A média da temperatura do ar no receptor AA foi de 24,30° C; no receptor BB foi de 24,37°C; no receptor CC com média 24,44°C e; no receptor DD, média 23,83°C.
Verifica-se menores temperatura no receptor DD a 1,5m do solo, que ao longo do dia vai de 18,2°C a 30,71°C.

Os resultados da simulação com vento predominante a sul mostram ser a situação com maior estagnação do vento, dentre as três orientações, com velocidades que vão de 0,03 até no máximo 1,26m/s.

A velocidade do vento sofreu variação nos quatro receptores. O receptor DD a 1,5m do solo registrou as menores velocidades (de 0,03 a 0,06m/s), em seguida o CC a 1,5m do solo (0,06 a 0,12m/s). No receptor BB a 10,5m do solo houveram as maiores velocidades

do vento e maior variação (1,14 a 1,26m/s), seguida pelo receptor AA a 10,5m do solo (0,96 a 1,05m/s).

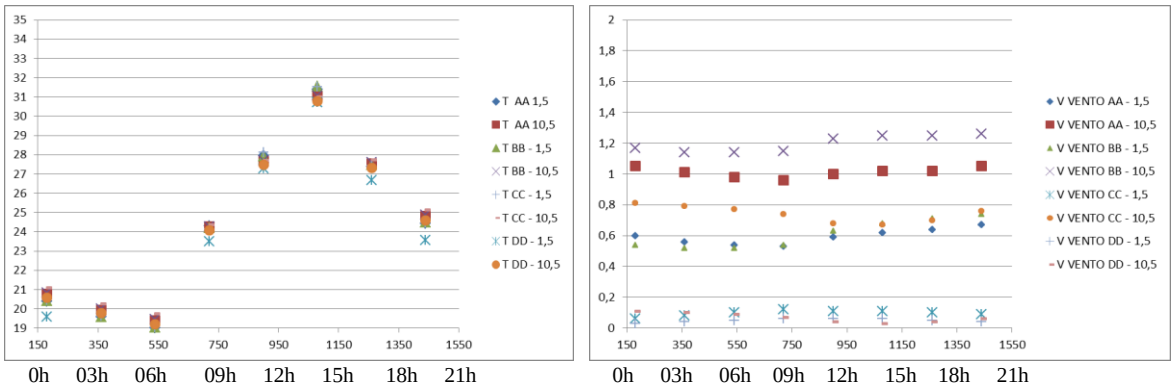


Figura 8 e 9: Comportamento da temperatura do ar. / Comportamento da ventilação do vento. - Classe 3, orientação sul.

Esses receptores AA e BB encontram-se em ruas no sentido da direção do vento, contribuindo para um melhor escoamento e magnitude do fluxo de ar. Já os receptores CC e DD estão entre os edifícios, onde estes serviram de barreiras.

4.2 Modelo: Vertical alto - Classe 4

4.2.1 Orientação Leste – 90° de azimute

Na simulação do modelo Classe 4, com edificações de 9 a 12 pavimentos e recuos entre 6m e 15m, a análise dos resultados mostra que a temperatura do ar apresentou comportamento semelhante ao modelo anterior ao longo do dia nos horários testados, crescente e reduzindo novamente no período noturno. Verifica-se que a temperatura do ar permaneceu praticamente inalterada nos quatro receptores analisados (Figura 10), apresentando as seguintes temperaturas médias: Receptor AA, 24,93°C; Receptor BB, 24,78°C; Receptor CC, 24,95°C; Receptor DD, 24,74°C. Observa-se ao longo do dia variação térmica que vai de 20,15°C a 30,59°C.

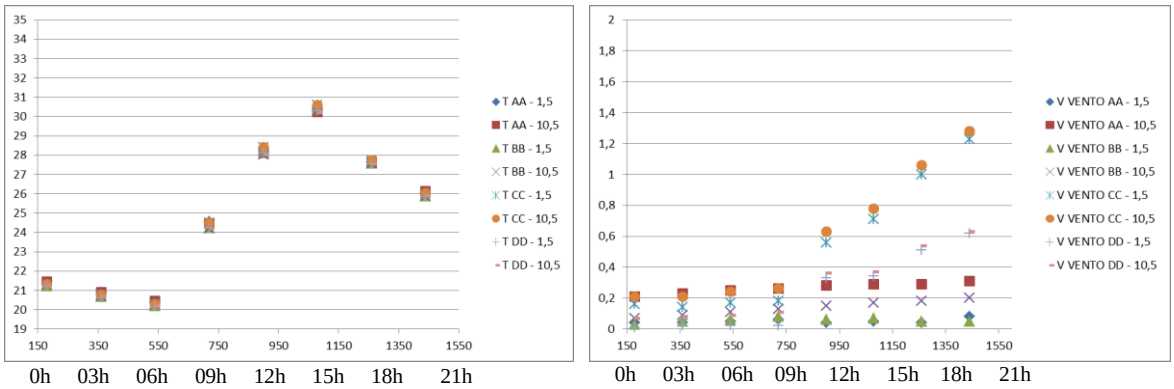


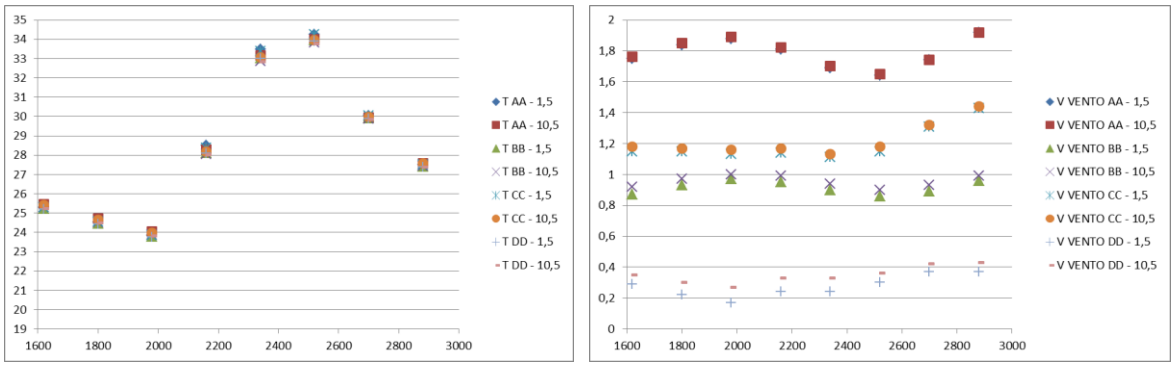
Figura 10 e 11: Comportamento da temperatura do ar. / Comportamento da ventilação do vento. - Classe 4, orientação leste.

Para esta configuração de arranjo, a ventilação vinda da orientação leste (90°) resultou em uma velocidade de vento diária praticamente estável na localização dos receptores AA a 1,5m do solo (velocidade entre 0,04 a 0,08m/s) e BB a 1,5m do solo (velocidade entre 0,03 a 0,08m/s), por estarem localizados a sotavento dos edifícios. Percebe-se uma maior

variação da velocidade do ar no receptor CC a 1,5m do solo (entre 0,14 a 1,23m/s) e no DD a 1,5m do solo (entre 0,01 a 0,62m/s), por se localizarem no mesmo sentido do fluxo do vento e livres de obstruções.

4.2.2 Orientação Sudeste – 135° de azimute

O modelo Classe 4 sobre a incidência de vento a sudeste contribuiu para maiores temperatura no arranjo estudado.
Observa-se que sua variação térmica diária varia de 23,8°C a 33,97°C no receptor BB a 1,5m do solo. As temperaturas médias do ar nos receptores foram de: AA 28,43°C; BB 28,24°C; CC 28,41°C; DD 28,20°C (Figura 12). Ou seja, a temperatura do ar manteve-se praticamente a mesma nos receptores, com uma diferença de menos de 1°C.



0h 03h 06h 09h 12h 15h 18h 21h 0h 03h 06h 09h 12h 15h 18h 21h

Figura 12 e 13: Comportamento da temperatura do ar. / Comportamento da ventilação do vento. - Classe 4, orientação sudeste.

Assim como nos demais modelos, cada receptor apresentou características específicas de oscilação de velocidade do ar ao longo do dia, de acordo com a sua posição e a modificação no regime do vento.

As maiores velocidades foram registradas no receptor AA a 10,5m do solo (entre 1,65 a 1,92m/s). Em seguida no receptor CC a 10,5m do solo (1,16 a 1,44m/s), devido as suas localizações em ruas mais largas, de 15m. Conforme figura 13.

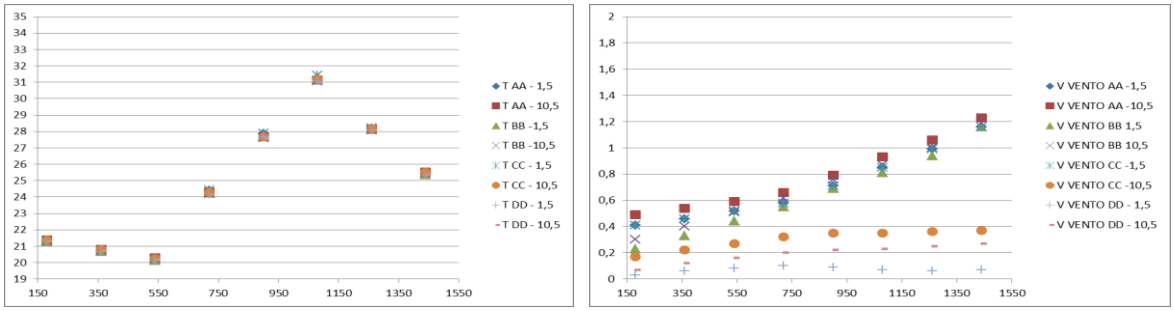
As velocidades do ar mais baixas foram registradas no ponto DD a 1,5m do solo (entre 0,17 a 0,37m/s), seguida pelo receptor BB a 1,5m do solo (entre 0,86 a 0,97m/s), conforme figura 13. Ambos sofreram interferência das construções que serviram de barreira para a ventilação (Figura 3).

4.2.3 Orientação Sul – 180° de azimute

Ao considerar a ventilação do ar em uma orientação a sul, observa-se variação térmica diária entre 20,1°C a 31,07°C no receptor AA a 1,5m do solo (Figura 14). As médias de temperatura diária foram: no receptor AA 24,90°C; no receptor BB 24,87°C; no receptor CC 24,94°C e; no receptor DD 24,78°C. Ou seja, permaneceu praticamente inalterada nos quatro pontos de análise escolhidos (Figura 14).

A barreira formada pelo próprio arranjo construtivo contribuiu para pequenos registros e variação diária da ventilação do ar no receptor DD a 1,5m do solo (0,03 a 0,09m/s), e CC a 1,5m do solo (0,07 a 0,25m/s). Ao longo do dia, a maior variação de velocidade do vento

foi registrada no receptor AA a 10,5m do solo que variam entre (0,49 a 1,23m/s), seguida do receptor BB (0,3 a 1,19m/s), ambos localizados no sentido do escoamento do ar. Ver figura 15.



0h 03h 06h 09h 12h 15h 18h 21h 0h 03h 06h 09h 12h 15h 18h 21h

Figura 14 e 15: Comportamento da temperatura do ar. / Comportamento da ventilação do vento. - Classe 4, orientação sul.

4.3 Análise comparativa dos resultados

A temperatura do ar e velocidade do vento nos dois modelos simulados sofreram variações de acordo com as direções predominantes de vento adotadas. Ao considerar a ventilação Sudeste, as simulações apresentaram as maiores temperaturas, com variação diária de 20,18°C a 31,5°C no modelo Classe 3 e de 23,8°C a 33,97°C no modelo Classe 4. Os modelos citados também apresentaram as maiores velocidades do ar, conforme tabela 3.

Tabela 3: Temperaturas e velocidades médias do ar apontadas nas simulações.

Modelo	Temperatura média do ar (ºC)				Velocidade média do ar (m/s)			
	AA	BB	CC	DD	AA	BB	CC	DD
Classe 3 (90°)	24,91	24,86	24,70	24,58	0,41	0,14	1,54	1,22
Classe 3 (135°)	25,26	24,89	24,96	24,77	0,77	0,37	1,70	1,0
Classe 3 (180°)	24,30	24,37	24,44	23,83	0,80	0,90	0,41	0,05
Classe 4 (90°)	24,93	24,78	24,95	24,74	0,15	0,09	0,55	0,25
Classe 4 (135°)	28,43	28,24	28,41	28,20	1,78	0,93	1,20	0,31
Classe 4 (180°)	24,90	24,83	24,94	24,78	0,74	0,67	0,24	0,13

As características morfológicas, retiradas de Martins (2014), dos casos analisados indicam que o modelo Classe 4 apresenta maiores valores de rugosidade (3,6) e porosidade (0,90) se comparados ao modelo Classe 3, com rugosidade (2,80) e porosidade (0,70). Isso explica o fato do modelo Classe 4 apresentar as menores velocidades de vento e maiores temperatura do ar, uma vez que o incremento da rugosidade do solo pode modificar o sentido e a magnitude do vento, dificultando a dispersão de calor. Além disto, as maiores temperaturas do ar decorrem também da alta densidade construída (4,15) e elevado prospecto médio (grandes alturas construídas com espaçamentos entre edifícios nunca superiores à 15 m).

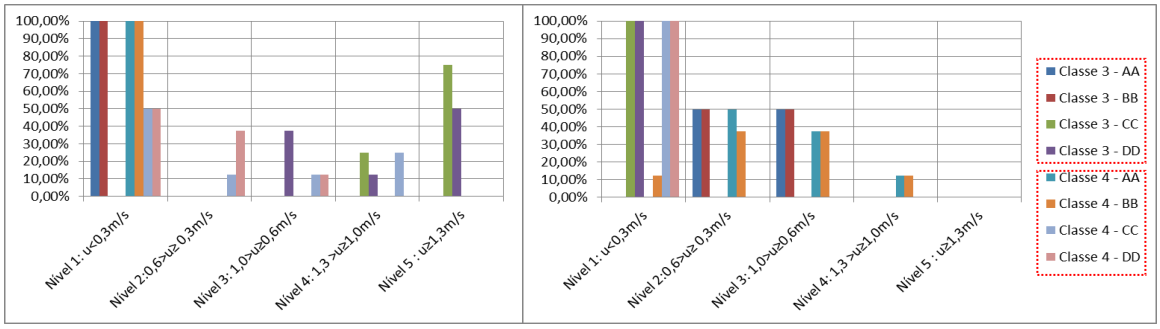
Sabendo que a porosidade urbana pode melhorar a ventilação natural no nível do pedestre, para a análise do desempenho das velocidades do vento obtidas nos resultados das simulações, utilizou-se a classificação da velocidade de vento desenvolvida por Yuan e Ng, (2011). Esta classificação foi baseada no conforto térmico externo que a velocidade do vento pode trazer ao pedestre.

Os autores desenvolveram essa classificação da velocidade do vento a partir de outros estudos como os de Murakami e Deguchi (1980) que classificaram o efeito da carga de vento no nível do pedestre a partir de vários ensaios em túneis de vento; e Ng et al (2008),

que realizaram pesquisas para identificar os valores limites de velocidade do vento a nível do pedestres, para a obtenção do conforto térmico externo em Hong Kong, utilizando a temperatura equivalente (PET).

Sendo assim, baseado na revisão de literatura e considerando os benefícios que a ventilação pode trazer ao meio, Yuan e Ng, (2011), definiram tais níveis de classificação: **Nível 1**: u <0,3 m/s - Estagnada; **Nível 2**: 0,6m/s> u ≥0,3m/s – Pobre; **Nível 3**: 1,0m/s> u ≥ 0,6m /s - Baixa; **Nível 4**: 1,3 m /s> u ≥1.0 m /s - Satisfatória e; **Nível 5**: u ≥1,3 m /s – Boa.

A partir dessa classificação, os dados de ventilação dos dois **modelos** analisados foram organizados utilizando a frequência relativa da distribuição da velocidade do vento, nos quatro pontos simulados (AA, BB, CC e DD), para avaliar os desempenhos em cada um deles nas três incidências de vento consideradas (Figuras 16, 17 e 18):



Figuras 16 e 17: Frequência relativa da velocidade do vento no nível do pedestre nas classes 3 e 4 - Direção do vento: Leste (90°) e Sul (180°), respectivamente.

Os resultados sugerem que as frequências relativas da velocidade do vento, nas configurações urbanas examinadas variaram de acordo com o sentido da ventilação predominante e da localização do receptor avaliado. Vale ressaltar, que os quatro receptores foram situados na parte central de 4 ruas localizadas entre os edifícios que compõem a malha, como pode ser observado nas figuras 2 e 3.

Considerando o sentido da ventilação oriunda de leste (90°), os receptores AA e BB das duas classes analisadas, apresentaram 100% da frequência relativa no nível de ventilação menor do que 0,3m/s, ou seja, em todos os horários analisados, no nível do pedestre, a área se encontra com velocidade do ar estagnada, conforme figura 16. Os receptores CC e DD da Classe 4 também apresentaram frequência relativa de 50% da velocidade do vento abaixo de 0,3m/s. Os outros 50% ficaram distribuídos no nível 2 (0,6m/s> u ≥0,3m/s – Pobre) e nível 3 (1,0m/s> u ≥ 0,6m /s – Baixa).

Os receptores CC e DD da Classe 3 apresentaram respectivamente 75% e 50% de frequência relativa no nível 5 (u ≥1,3 m /s - boa). E foram os pontos e o modelo que apresentaram a melhor ventilação para o pedestre na maior parte do dia, considerando a ventilação Leste.

As áreas de maior estagnação do vento registradas foram as sobre o regime de vento de orientação sul (180°). Os receptores CC e DD de ambas as classes apresentaram 100% de estagnação do ar. Os receptores AA e BB da Classe 3 obtiveram 50% da ventilação no nível 2 (pobre) e 3 (baixa) nas horas analisadas. Já os pontos AA e BB da Classe 4 distribuiu sua frequência relativa entre os níveis 2, 3 e 4. Sendo o nível de ventilação satisfatória alcançado em apenas 12,5% das horas analisadas (Figura 17).

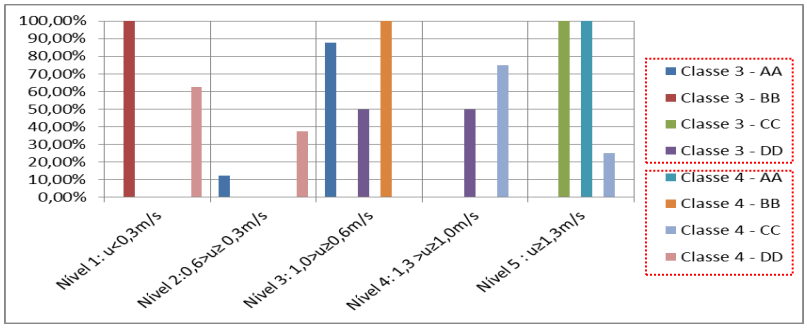


Figura 18: Frequência relativa da velocidade do vento no nível do pedestre nas classes 3 e 4 - Direção do vento: Sudeste (135°).

As classes 3 e 4 registraram os melhores desempenhos de velocidade do ar quando considerada a velocidade predominante a Sudeste. Os receptores CC da Classe 3 e AA da Classe 4 registraram frequência relativa de 100% no nível 5 (u ≥1,3 m/s), considerada uma boa ventilção para a área a nível do pedestre (Figura 18).

Os receptores CC da Classe 4 e DD da Classe 3 apresentaram respectivemente 75% e 50% de ventilação satisfatória na área. Já os receptores BB e AA da Classe 4 registraram frequência relativa de 100% e 87,5%, respectivamente, no nível 3 – uma baixa ventilação para o pedestre.

Ressalta-se que as duas classes tipológicas escolhidas para a análise foram extraídas do estudo de Martins (2014), onde a autora classificou cinco arranjos urbanos considerados representativos do tecido urbano da cidade de Maceió. Apesar das duas classes analisadas apresentarem os maiores índices de porosidade e rugosidade, observa-se a partir da classificação da velocidade do vento, que as duas classes apresentaram poucas situações de boa ventilação ao nível do pedestre. E uma frequência relativa muito alta de velocidade do ar estagnada.

Contudo, vale ressaltar que as simulações foram realizadas a partir de uma modelagem simplificada, onde não foi considerada a presença de vegetação e as obstruções consideradas foram apenas dos edifícios que compõem o próprio arranjo construtivo. Mas se acredita que assentamentos densos e de altura praticamente uniforme, como os analisados, contribuem para a diminuição da velocidade do vento e prejudica a dispersão do calor.

5 CONCLUSÕES

De uma maneira geral, o comportamento registrado nas simulações efetuadas, e para os casos estudados, mostrou que a influência causada pela porosidade e rugosidade foi percebida de forma significativa apenas nos modelos onde há a incidência da ventilação predominante a Sudeste, devido à própria distribuição espacial do arranjo, onde o vento iria incidir de forma oblíqua a malha. Quanto a temperatura, as simulações com a ventilação Sudeste também apresentaram os maiores registros, principalmente no modelo Classe 4, acredita-se que tal resultado se deve a alta densidade construída e elevado prospecto médio (grandes alturas construídas com espaçamentos entre edifícios nunca superiores à 15 m).

De qualquer forma, mostraram, apesar da pequena diferença em magnitude, a importância de uma malha urbana mais porosa, associada a outros parâmetros como orientação da rua,

e menor rugosidade, podem melhorar a eficiência da ventilação nas áreas urbanas e consequentemente no desempenho térmico ao nível do pedestre. Por exemplo, na situação da Classe 4 na orientação a Sudeste, percebeu-se uma leve alteração da temperatura do ar nos quatros pontos analisados, mas registraram os melhores desempenhos de velocidade do ar ao nível do pedestre.

Ressalta-se que os resultados apresentados limitaram-se à análise do comportamento térmico levando em conta os fatores rugosidade, porosidade e incidência do vento. Novos estudos podem ser aprofundados com a simulação de outros cenários, variando outros parâmetros, como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, entre outros.

Apesar das limitações apresentadas nas simulações, os resultados comprovam que mudanças como: na direção do sentido da rua (a partir do sentido da ventilação predominante), maiores afastamentos e permeabilidade das construções podem melhorar o desempenho da ventilação no nível do pedestre. No entanto, os níveis de interferencias destas ações diferem. E para a garantia da eficiência da ventilação nas áreas urbanas, é necessária a combinação de várias estratégias de planejamento urbano e de projeto de edificações, de maneira a melhorar o desempenho térmico no tecido urbano.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e FAPEAL – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas, pelas bolsas de doutorado concedidas.

7 REFERÊNCIAS

BRUSE, M. ENVI-met 4.0 Updated Model Overview. 2015. Disponível em: <http://www.envi-met.com/#section/intro>. Acesso em: Novembro, 2015.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. **O Estudo do Clima Urbano e Legislação Urbanística:** considerações a partir do caso Montes Claros, MG. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, jan./mar. 2009.

INMET. **Normais climatológicas** (1961-1990). Brasília, 84 p. 1992.

MARTINS, T. A. de L.; BONHOMME, M.; ADOLPHE, L. **Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações**: um estudo de caso na cidade de Maceió, AL. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 213-233, out./dez. 2013.

MARTINS, T. A. de L. **De condicionantes solares à oportunidades de desenho urbano:** otimização de tipo-morfologias urbanas em contexto. Tese (Doutorado em Arquitetura) – UFRJ/ Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Rio de Janeiro, 2014.

SALAT, S. **Morfologia urbana e impacto energético.** Anais do Seminário Internacional: iniciativas urbanas de eficiência energética e redução de emissões. Brasília - DF : Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

STEEMERS, K. **Energy and the city**: Density, buildings and transport. Energy and Buildings, v. 35, p. 3–14, 2003.