



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

EFEITO DA ALTURA E POROSIDADE DE EDIFÍCIOS NA VENTILAÇÃO URBANA

SOUSA, Joana (1); LAMENHA, Melyna (2); FREITAS, Ruskin (3); BITTENCOURT, Leonardo (4);

(1) UFPE, e-mail: joanapacksousa@gmail.com (2) UFAL, e-mail: melynalamenha@gmail.com, (3) UFPE, e-mail: ruskin37@uol.com.br, (4) UFAL, e-mail: lsb54@hotmail.com

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa de mestrado, desenvolvida no MDU/ UFPE, que avalia a interferência das edificações e da forma urbana na ventilação natural. O trabalho apresentado neste artigo analisa dois modelos de possível ocupação litorânea mantendo-se a mesma área de implantação e densidade construtiva semelhante. Os modelos diferenciam-se nos parâmetros de altura e porosidade dos edifícios. Em um dos modelos analisados, são propostas três regras à legislação urbanística: obrigatoriedade de incluir um pavimento vazado entre os primeiros cinco pisos; necessidade de incluir um pavimento vazado por cada 10 pavimentos; e compensação dos pavimentos retirados com o aumento da altura do edifício. Trata-se, portanto, de uma experimentação prática que pretendeu expandir os conhecimentos sobre o conforto urbano. Para tal, foi utilizado o programa PHOENICS VR 3.6.1 (CHAM, 2005), ferramenta de simulação baseada na dinâmica de fluidos computacional (CFD), no Laboratório de Conforto da UFAL, considerando a presença dos ventos dominantes Sudeste e Sul, incidindo respectivamente a 65° e 110° em relação às fachadas dos edifícios estudados. A análise destes modelos foi efetuada de duas formas distintas. A 1,5m de distância do solo, para compreender os efeitos aerodinâmicos e o conforto ao nível do pedestre, e a diversas alturas (10m; 20m; 50m e a 70m de distância do solo), para compreender as modificações que ocorrem na velocidade inicial de vento ao longo do gradiente vertical. Por fim, concluiu-se que o modelo com edifícios mais altos e porosos é aquele que proporciona maior conforto, propondo-se, então, o aprofundamento deste estudo, para que no futuro possam ser elaboradas novas medidas na legislação urbana.

Palavras-chave: Ventilação natural, Porosidade dos edifícios, Simulação computacional.

ABSTRACT

This paper presents partial results of a Master thesis that evaluates the interference of buildings and urban form of natural ventilation. The work presented in this paper analyzes two models of possible coastal occupation keeping the same deployment area and building density similar. The models differ in height, and porosity parameters. In one of the analyzed models are proposed two rules to planning law: requirement to include a cast deck between the first five floors; and the need to include a hollow floor per floor 10. It is, therefore, a practical trial that he intended to expand the knowledge on urban comfort. To this end, the PHOENICS VR 3.6.1 program (CHAM, 2005), tool based on computational fluid dynamics (CFD), the Laboratory of Comfort UFAL simulation was used, considering the presence of prevailing winds Southeast and South, focusing respectively 110 ° and 65 ° to the facades of buildings studied. The analysis of these models was conducted in two distinct ways. A 1,5m from the ground to understand the aerodynamic effects and comfort to the pedestrian level, and different heights (10m; 20m; 50m and 70m of ground clearance), to understand the changes that occur in the speed initial wind along the vertical gradient.. Finally, it was concluded that the model with highest buildings and porous is one that provides greater comfort, then proposing to deepen this study, so that in future new measures may be developed in urban legislation.

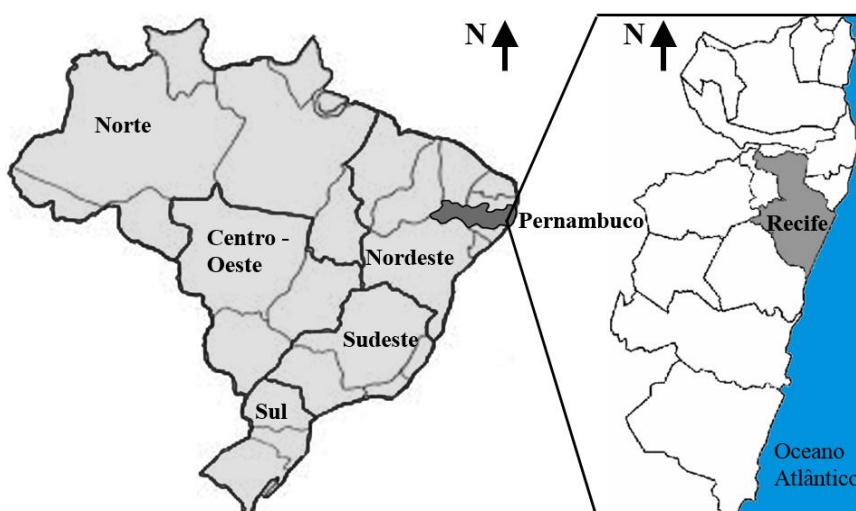
Keywords: Natural ventilation, Porosity of buildings, Computer simulation.

1 INTRODUÇÃO

A climatologia e o urbanismo bioclimático têm contribuído para o entendimento das principais consequências da urbanização para o conforto humano, delimitando diretrizes para a melhor forma de adequação climática.

Na região onde se localiza a cidade de Recife, Figura 1, o clima é caracterizado como tropical litorâneo quente e úmido, com temperaturas elevadas ao longo do dia e do ano (média anual de 25,5°C), radiação difusa muito intensa, alto grau de umidade relativa do ar (média de 80,0%) e precipitação elevada, sobretudo nos meses de inverno, acima de 2.000mm de média anual (FREITAS, 2008).

Figura 1 - Localização da cidade de Recife no Brasil.



Fonte: Elaboração própria adaptado de CONDEPE/FIDEM, 2011.

A carta bioclimática desenvolvida por Givoni, e adaptada pelo LABEE, indica que as pessoas na cidade de Recife, tendem a sentir desconforto em 68,3% das horas do ano e que a estratégia mais eficiente de conforto, é o uso da ventilação natural em 60,8% dessas horas do ano (LAMBERTS, et. al., 2007).

Nesse sentido, os princípios bioclimáticos indicam que a forma urbana mais adequada a este clima, se baseia na reprodução do solo verticalmente, porque permite uma maior porosidade da malha, facilitando a circulação do vento entre as edificações, e liberando uma maior taxa de solo natural, para a infiltração da água da chuva (GIVONI, 1998; OLIVEIRA, 1988).

Contudo, medições realizadas por Freitas (2008), no ambiente litorâneo de Recife-PE, demonstraram como a massa construída de maneira concentrada e verticalizada na faixa litorânea interfere negativamente na ventilação a sotavento das edificações localizadas à beira-mar. Essa situação sugere que a ocupação da forma como tem sido feita, é inadequada às características climáticas locais.

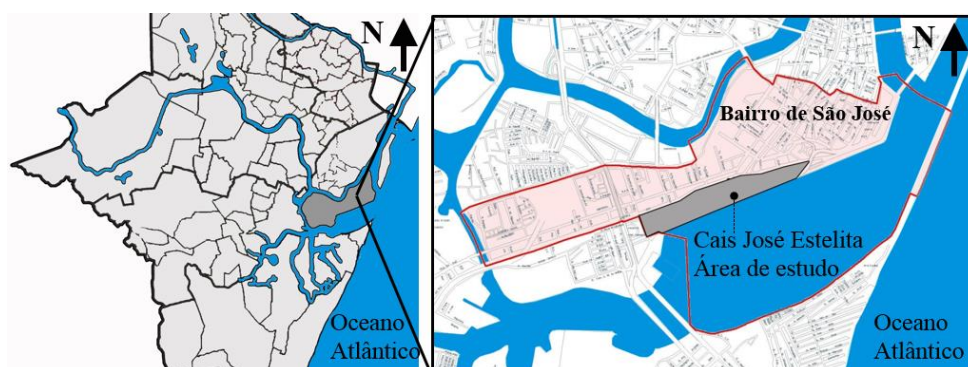
Este artigo tem como objetivo analisar, por meio de simulação computacional, as modificações que ocorrem na ventilação natural, com a introdução de pavimentos vazados intermédios e de pilotis, em edifícios de um recorte da área litorânea de Recife-PE. Esta solução de projeto foi referida por diversos autores, como Marques (2003) e Romero (2013).

Com este estudo, pretendeu-se compreender os benefícios que a alteração nas edificações pode trazer para o conforto do pedestre e para a fluidez de deslocamento do ar no meio urbano.

2. CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

A área selecionada para o estudo foi o Cais José Estelita, Figura 2, localizada no histórico da cidade, em avançado estado de degradação e abandono, e por isso com um grande potencial de adensamento futuro.

Figura 2 - Localização da área de estudo na cidade de Recife.



Fonte: Elaboração própria adaptado de Prefeitura do Recife, 2013.

Para o estudo foram criados dois cenários virtuais de possível ocupação urbana, considerando os parâmetros estabelecidos pela Lei de uso e ocupação do solo, nº 16.176/96. Foi utilizado o coeficiente máximo do terreno (4) e foram respeitados os recuos mínimos (frontal, lateral e de fundo) conforme os artigos 77 e 78 da mesma lei.

Afastamento frontal = Afastamento frontal inicial + (Número de pavimentos - 4) x 0,25

Afastamento lateral = Afastamento lateral inicial + (Número de pavimentos - 4) x 0,25

Afastamento de fundos = Afastamento lateral

Como a área de estudo se insere na Zona de Urbanização Preferencial 1 (ZUP 1), o afastamento frontal inicial é de 5 metros e o afastamento lateral inicial, de 3 metros. Com base nesses dados, foram calculados os limites para cada edifício.

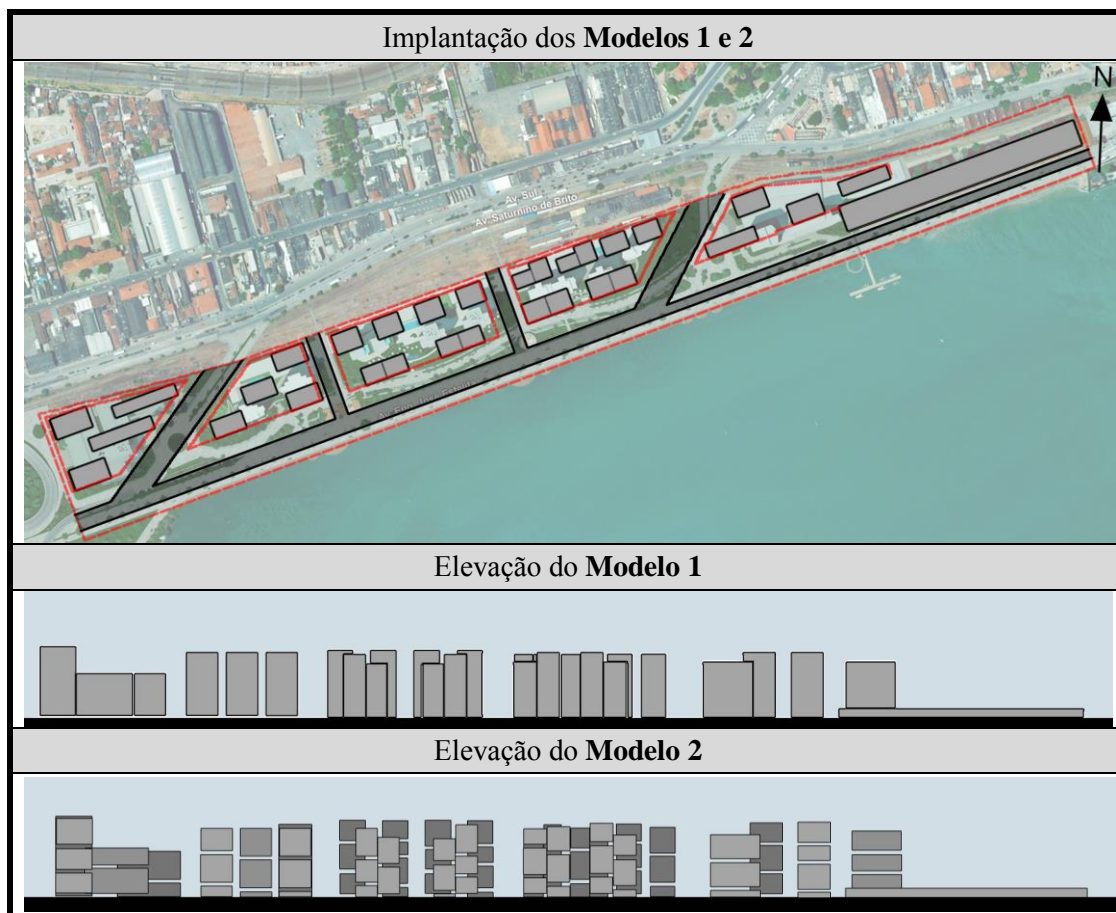
O **modelo 1** é constituído por 31 blocos distribuídos no recorte, formando um perfil verticalizado. O **modelo 2** é semelhante ao modelo 1, possuindo a mesma área de implantação, mas diferencia-se pela presença dos pavimentos vazados e pela inserção de pilotis em alguns edifícios. A intenção no **modelo 2** foi aumentar a porosidade do tecido urbano incorporando espaços livres de barreiras ao vento entre os pavimentos.

Para a elaboração do modelo 2 foram estabelecidas três regras base:

- Necessidade de inclusão de um pavimento vazado entre os primeiros cinco pisos, pois é altura que mais influencia o conforto do pedestre;
- Necessidade de inclusão de um pavimento vazado a cada 10 pavimentos, para melhorar o deslocamento do vento para os edifícios do entorno, diminuindo a zona de esteira;
- Compensar a introdução dos pavimentos vazados, aumentando um piso para cada pavimento vazado inserido.

Estas regras possibilitaram a inserção de dois ou três pavimentos vazados em diferentes alturas nos edifícios.

Quadro 1 – Implantação e elevações dos Modelos 1 e 2



Fonte: Elaboração própria.

3. DADOS CLIMÁTICOS E SOFTWARE PHOENICS

A cidade do Recife está sob a influência dos ventos alísios do hemisfério austral, com a direção predominante sudeste, de frequência 28,9% ao longo de todos os meses do ano e direções secundárias sul, com frequência de 24,1%, sobretudo nos meses de inverno, e leste, com frequência de 22,9% nos meses de verão (LAMBERTS, ET. AL., 2007).

Para este estudo foi utilizada a velocidade média do INMET de 2,82 m/s indicada nas Normais Climatológicas e foram analisadas as direções provenientes de Sudeste e Sul, que correspondem respectivamente a uma incidência nas fachadas de 65° e 110°. Para a inserção deste dado, foi necessário realizar as correções na velocidade, conforme a rugosidade do terreno, adotando-se a Equação 1 a seguir.

$$V = V_m \cdot k \cdot z^a \quad (1)$$

onde, V = velocidade média do vento na altura estudada;
 V_m = velocidade média do dia a 10m de altura;
 z = altura estudada;
 K a = coeficientes de acordo com a rugosidade do terreno.

Quadro 2 - Cálculo de coeficiente de rugosidade conforme o terreno.

Coeficientes de terreno	K	a
Campo aberto plano	0.68	0.17
Campo com obstáculos esparsos	0.52	0.20
Área urbanizada	0.35	0.25
Centro de grandes cidades	0.21	0.33

Fonte: Jackman, 1979 *apud* Bittencourt, Candido, 2010.

Apesar de a área em estudo encontrar-se no centro da cidade, não existem muitos obstáculos no sentido de onde provém o vento. Por isso, foi adotado o parâmetro de campo aberto plano com o fator $k=0.68$ e o fator $a=0.17$. Estes valores foram inseridos na equação 1 e foi calculada a velocidade do vento a diferentes distâncias do solo, de modo a considerar as alterações que ocorrem ao longo do gradiente vertical (Figura 3).

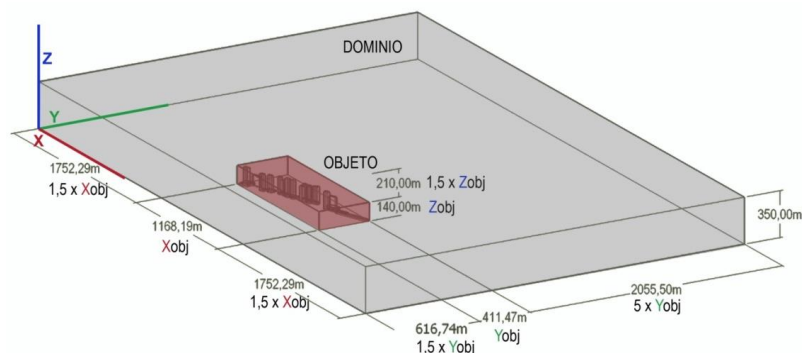
Figura 3 – Velocidade do vento de entrada na simulação computacional.



Fonte: Elaboração própria.

Os valores calculados foram inseridos (inlet) no programa de dinâmica de fluidos computacional (CFD) PHOENICS VR 3.6.1 (CHAM, 2005), após a configuração do ambiente virtual (domínio) que apresenta a dimensão de três vezes o objeto em x, seis vezes e meia em y e uma vez e meia em z. Posteriormente foi definida a malha o mais regular possível nos tres eixos para sofrer o minimo de distorções nos resultados.

Figura 4 - Dimensões do domínio e o objeto no modelo 1 e 2.



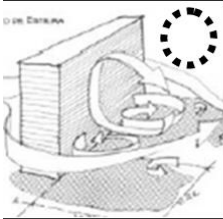
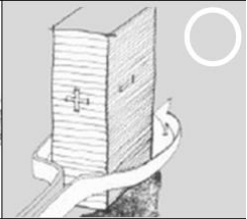

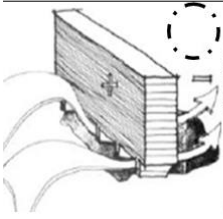
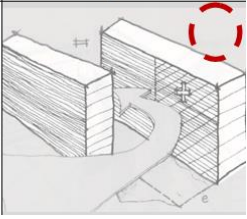


Fonte: Elaboração própria.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados obtidos nas simulações foram analisados de duas formas distintas. Primeiramente são apresentadas as avaliações de conforto ao nível do pedestre, e em seguida, as variações de velocidade a diferentes alturas do solo.

Para a análise de conforto térmico, foram extraídas imagens a 1,5 metros do solo, na altura do pedestre. Em seguida, foram identificados alguns dos efeitos aerodinâmicos, descritos por Gandemer (1978) (efeito de esteira, de canto, de pilotis e de aceleração por diferença de pressão) e foi definida uma escala de conforto com base na escala de Beaufort, no valor máximo descrito por Silva (1999) e nos valores fornecidos pelo software (Quadro 3).

Quadro 3 – Efeitos aerodinâmicos e escala de conforto.

Efeitos aerodinâmicos Gandemer (1978)		Escala de velocidade de conforto		
Efeito de Esteira 	Efeito de Canto 	Aceleração 	Velocidade m/s ↑ Zona desconforto por velocidades demasiado elevadas. Mobilidade afetada.	
Efeito Pilotis 	Efeito de diferença de pressão 		Valor de Entrada 	Zona de Conforto para o clima quente e úmido. Adaptando a escala de Beaufort, à escala de valores fornecida pelo programa fica entre 2,0m/s e os 6,0m/s.
			Redução 	Zona desconforto por acumulo de calor. Qualidade do ar comprometida ↓
			<7.000000 7.000000 6.562500 6.125000 5.687500 5.250000 4.812500 4.375000 3.937500 3.500000 3.062500 2.625000 2.187500 1.750000 1.312500 0.875000 0.437500 0.000000	

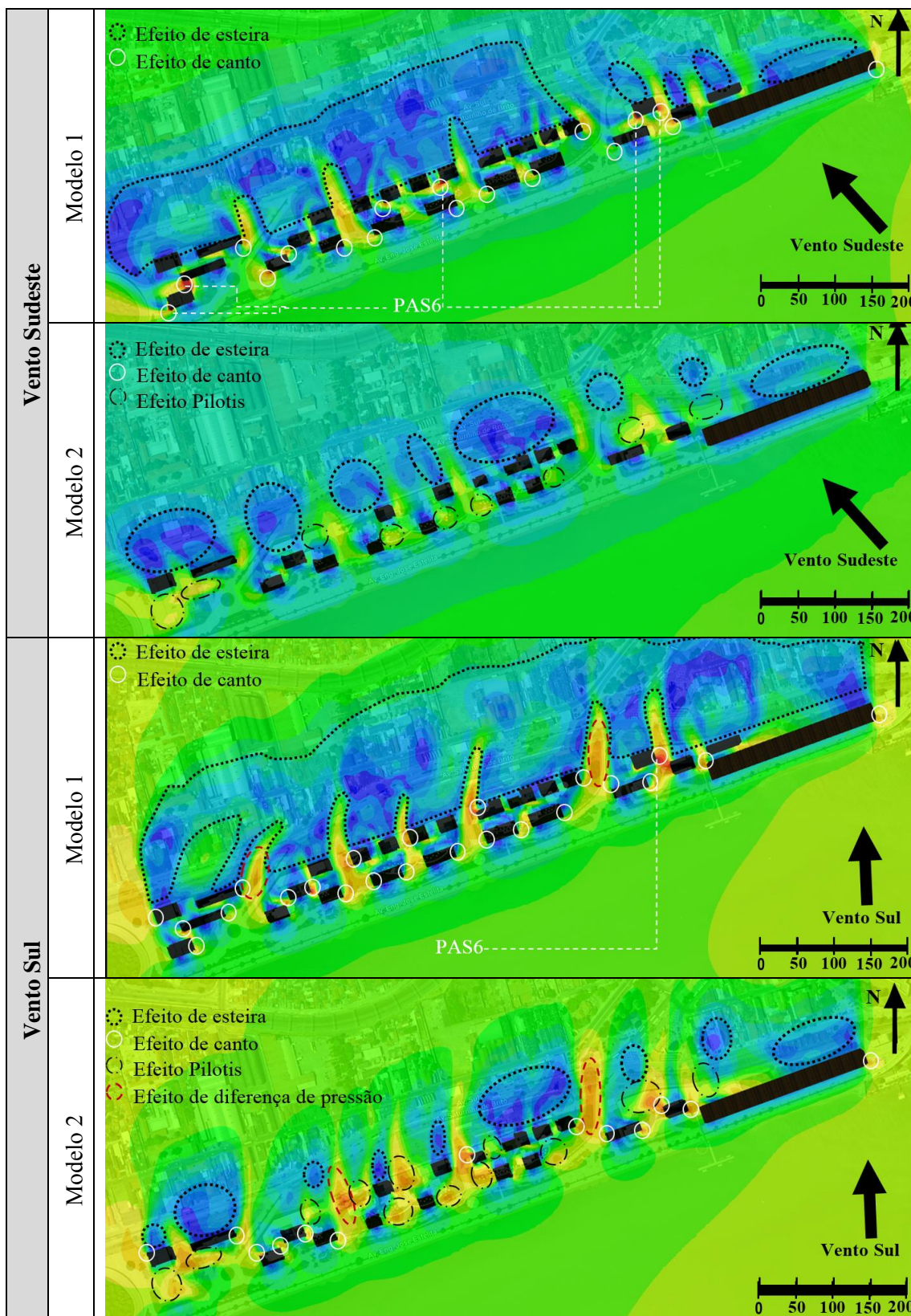
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos nas simulações foram visualizados VR Viewer, que apresenta a velocidade de deslocamento do ar segundo uma escala gráfica colorida. Representado na cor verde, estão as velocidades iniciais de ventilação, ou seja, aquelas que foram inseridas no programa e não sofreram grandes modificações com a urbanização.

Enquanto que, nas áreas azuis, o vento sofre uma redução da velocidade inicial, passando para valores inferiores a 2 m/s. Segundo Silva (1999) essa velocidade, pode ser considerada muito baixa para regiões de clima quente e úmido, porque o pedestre tende a sentir dificuldade em dissipar o calor acumulado no corpo. Além disso, a fraca taxa de renovação do ar provoca uma maior aglomeração de partículas poluentes, deixando a qualidade do ar afetada.

Nas áreas marcadas entre o amarelo e o vermelho, ocorre uma aceleração da velocidade inicial do ar. Quando a velocidade é superior a 6m/s, Silva (1999), afirma que o pedestre tende a sentir desconforto térmico, e uma maior dificuldade para caminhar. Por isso, os pontos de aceleração superiores a 6m/s (PAS6) foram identificados nas imagens. Deste modo, a zona de conforto foi definida para este artigo entre os 2m/s e os 6m/s. Os resultados dos modelos são exibidos no Quadro 4.

Quadro 4 – Imagens das simulações a altura do pedestre (1,5 metros do solo)



Fonte: Elaboração própria.

O **modelo 1**, apresenta uma extensa zona de esteira a sotavento, demonstrando que o afastamento entre os edifícios é na maioria das vezes insuficiente para garantir a adequada circulação do ar, em meio urbano.

Esta situação é um pouco menos problemática quando o vento é proveniente do Sul, ou seja, durante os meses de inverno, porque nesta direção há uma maior dissipação da zona de sucção. Contudo, no geral, o pedestre sentiria desconforto, pela fraca taxa de renovação do ar, na maior parte do seu percurso, a sotavento dos edifícios.

Além do mais, o **modelo 1** apresenta vários efeitos de canto, resultantes da união de faces com diferenças de pressão (pressão positiva e pressão negativa). Esse efeito provoca uma aceleração da velocidade inicial de ventilação, que, segundo Mascaró (1991), pode ser desejável, para o clima quente e úmido, se for devidamente utilizado, para incrementar a ventilação natural do entorno. No entanto, é necessário ter em atenção o local exato onde irá ocorrer o efeito, para que não surjam velocidades acima da média de conforto.

No caso do **modelo 1**, foram identificados cinco efeitos de canto acima de 6m/s, quando o vento é sudeste, e um, quando o vento é proveniente de Sul. Isto significa que ao longo de todo o ano, (vento sudeste) nesses locais específicos, o pedestre tenderia a sentir desconforto pela velocidade demasiado elevada, não conseguindo permanecer nesse local por um extenso período de tempo.

Já, no **modelo 2** o comprimento do efeito de esteira é menor que no **modelo 1**, porque a introdução dos pavimentos vazados e dos pilotis permitiu uma maior permeabilidade do vento, no tecido urbano. Tal como no modelo 1, a zona de esteira é reduzida quando o vento é proveniente de Sul.

Além disso, nessa direção, ocorrem alguns efeitos de aceleração por diferença de pressão, que ajudam a ventilar o entorno sem, no entanto, sair das velocidades indicadas para o conforto. Do mesmo modo, os efeitos pilotis identificados no modelo estão dentro da zona de conforto, não ocorrendo uma grande aceleração quando o vento é proveniente de Sudeste.

Neste modelo, também é possível denotar que foram reduzidos os efeitos de canto. Isso ocorre porque, no **modelo 2**, o vento tem mais espaços livres para circular, logo, não incide com tanta pressão positiva na zona a barlavento. Como tal, não apresenta nenhum ponto com aceleração acima dos 6m/s.

Para além desta análise, foram retiradas imagens a diferentes alturas do solo (10, 20, 50, 70m) e foram identificadas as áreas de maior aceleração e redução da velocidade inicial do vento nos dois modelos. Depois, essas áreas foram contabilizadas e resumidas para facilitar a comparação de desempenho dos modelos.

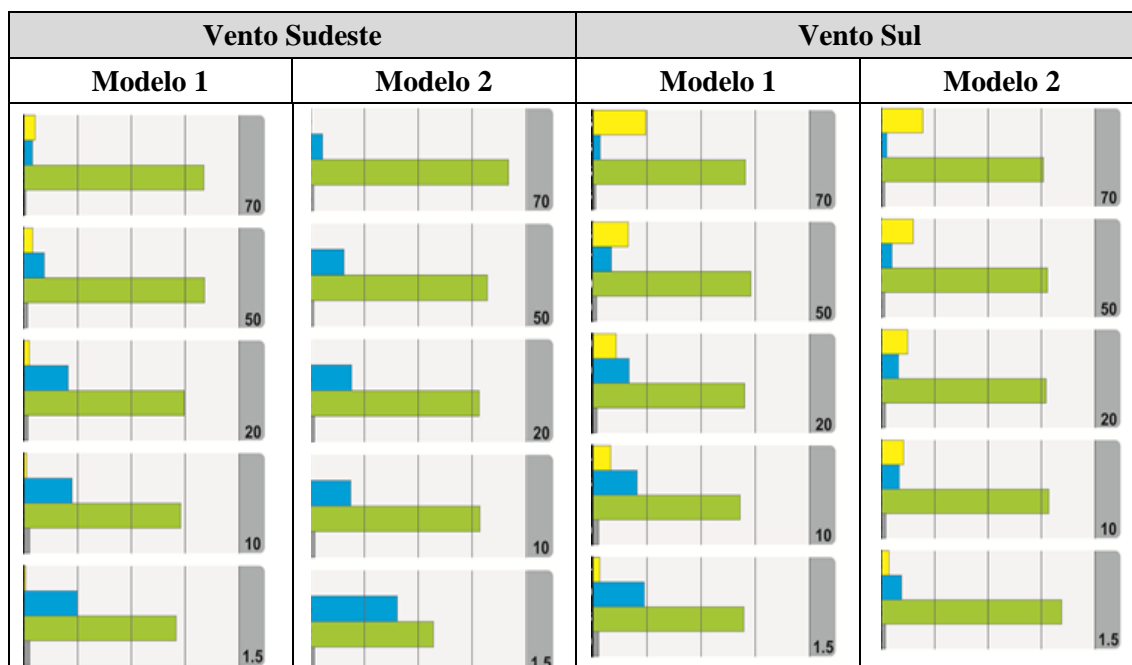
No Quadro 5, as barras verdes, simbolizam as percentagens de área em que o modelo não sofreu alterações na velocidade inicial de ventilação. As barras azuis, a percentagem de redução da velocidade inicial e as barras amarelas a percentagem de aceleração.

Ao analisar o Quadro 5 pode-se verificar que o **modelo 1**, é o que apresenta maiores percentagens de redução da velocidade do vento, quando o vento provem de Sul. Isso ocorre porque os afastamentos laterais entre os edifícios não foram suficientes para dissipar a formação da zona de esteira.

A grande ocupação de solo faz com que o perfil de vento se eleve e ocorra uma fraca taxa de circulação no espaço urbano intermédio, reforçando o estudo que já havia sido

feito por Bittencourt et. al. (1997). Para a porosidade do tecido urbano, é mais importante reduzir a taxa de ocupação do solo do que limitar a altura dos edifícios.

Quadro 5 – Análise de ventilação a diferentes alturas.



Fonte: Elaboração própria.

Além disso, pode-se acrescentar que, quando a ventilação é proveniente de sudeste, ocorrem muito poucas áreas de aceleração, enquanto que, com a ventilação Sul, o modelo contém as maiores áreas de aceleração. Isso significa que este modelo seria mais ventilado durante os meses de inverno, ou seja, quando o vento é menos necessário, enquanto amenizador do calor.

No **modelo 2**, ao nível do solo, quando a ventilação é sudeste, o cenário a 1,5 metros do solo é o que apresenta uma maior área de redução da velocidade do vento. Com a distribuição dos ventos pelos diversos pavimentos vazados, há uma diminuição da pressão, próximo ao nível do solo.

No restante gradiente, pode-se conferir que tanto para a ventilação Sudeste como Sul, este modelo é o que oferece menos interferências à velocidade inicial. Apresentando uma pequena taxa de aceleração quando os ventos provem de Sul. Demonstrando assim, que este seria igualmente mais ventilado durante os meses de inverno.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo principal analisar as modificações que ocorrem na ventilação natural ao incorporar, elementos vazados no desenho arquitetônico dos edifícios. Considera-se que o objetivo foi alcançado, tendo-se concluído que o modelo 2 (com pilotis e com pavimentos vazados) teve melhor desempenho, tanto para garantir a adequada ventilação ao nível do pedestre, como também, para melhorar a fluidez do ar para os edifícios do entorno.

Este é um tema que se demonstra relevante, podendo contribuir para a melhoria do conforto térmico, para a garantia da qualidade ambiental do ar, e para a redução do consumo energético no interior das edificações. Assim sendo, propõe-se, que sejam

elaborados mais estudos, que aprofundem esta pesquisa, e que possibilitem integrar novas medidas na legislação urbana.

REFERÊNCIAS

BITTENCOURT, Leonardo S.; **Ventilation as a cooling resource for warm humid climates: An investigation on performed block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings.** Tese (Doutorado em Environment and Energy Studies), Architectural Association Graduate School, Londres, Reino Unido, 1993.

BITTENCOURT, Leonardo S.; CRUZ, Jorge M.; LÔBO, Denise G. F. A influência da relação entre taxa de ocupação x nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos. **IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais**, Salvador, 1997

BITTENCOURT, Leonardo S.; CÂNDIDO Christina. **Ventilação natural em edificações.** PROCEL EDIFICA. Rio de Janeiro, 2010.

FREITAS, Ruskin. **Entre mitos e limites - as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no meio urbano.** Recife: EDUFPE, Recife, 2008.

GANDEMER, J. **Discomfort due to wind near buildings aerodynamic concepts.** Washington: U.S. Govt. Print. Of, 1978.

GIVONI, Baruch. **Climate Considerations in building and urban design.** Copyright by John Wiley & Sons, Canada, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>> Acessado em Janeiro de 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>> Acessado em Janeiro de 2013.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: Prolivros, 2ª edição, São Paulo, 2004.

Lei de Uso e ocupação do solo. **Lei nº 16.176/1996.** Disponível em: <<https://www.leismunicipais.com.br/a/pe/r/recife/lei-ordinaria/1996/1617/16176/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-recife.html>> Acessado em Janeiro de 2013.

MARQUES, Ricardo S. **Ventilação e prescrições urbanísticas: uma aplicação simulada para a orla da praia do meio em Natal/RN.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e urbanismo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

MASCARÓ, LÚCIA R. **Energia na edificação: Estratégias para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda. 2ª edição, 199.

OLIVEIRA, Paulo M. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano.** Editora da Universidade de Brasília, Brasília, 1988.

ROMERO, Marta. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, Francisco A. G. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído uma aplicação ao nordeste do Brasil.** Tese de doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.