

INFLUÊNCIA DE PILOTIS LIVRES NA VENTILAÇÃO E NO CONFORTO TÉRMICO EM MEIO URBANO, ESTUDO DE CASO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO CFD EM FORTALEZA, CE.

Dorotheu Ximenes de Farias

Arquiteto e Urbanista, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, dorotheufarias@gmail.com, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Arquitetura, Natal - RN, 59072-970, Tel.: (84) 3215 3776

RESUMO

A ventilação natural é de significativa importância para o conforto térmico em climas quentes e úmidos, como é o caso da cidade de Fortaleza, CE. Entretanto, em contextos urbanos, a ventilação pode ser prejudicada dependendo do adensamento construtivo e da morfologia urbana, em geral podendo sofrer uma redução na velocidade do ar. Essa diminuição pode ser notada principalmente em um plano no nível dos pedestres, e o aumento dessa velocidade é importante para promover o conforto das pessoas e valorizar o uso do espaço público. Essa pesquisa buscou a investigação do efeito aerodinâmico de pilotis em um conjunto de nove quadras construtivamente adensadas no bairro Meireles da cidade de Fortaleza. O objetivo deste artigo é analisar a influência sobre a ventilação natural e conforto térmico da presença de pilotis livres nas edificações em altura, a nível do pedestre. Com base em simulações computacionais em software CFD (*Computational Fluid Dynamics*), foi analisado o comportamento da ventilação, nas situações com e sem pilotis livres no pavimento térreo nas edificações verticais e posteriormente o impacto no conforto térmico utilizando um índice de conforto adaptativo. Sendo possível constatar, deste modo, um aumento geral na velocidade do vento nos pedestres e conseqüentemente uma ampliação da faixa de conforto. Entretanto, é importante destacar que outros efeitos aerodinâmicos como a turbulência também podem ter papel significativo e que o próprio efeito de pilotis pode ser indesejável em alguns pontos podendo gerar incômodo pelas rajadas de vento. Destaca-se a importância de validação e calibração de índices de conforto térmico para ambientes externos em Fortaleza.

Palavras-chave: ventilação natural, conforto térmico, morfologia urbana, simulação computacional.

ABSTRACT

Natural ventilation is of significant importance to thermal comfort in hot-humid climates, which is the case of the city of Fortaleza, CE. However, in urban contexts, ventilation can be impaired depending on the constructive densification and urban morphology, in general prone to suffering a reduction in air speed. This decrease can be noticed mainly in a plane at the pedestrian level, and the air speed increase is important to benefit people's comfort and to promote the use of public space. This research investigated the aerodynamics effects of free *pilotis* in a group of nine constructively dense blocks on the neighbourhood of Meireles in Fortaleza. The objective of this article is to analyse the influence over natural ventilation and thermal comfort of the presence of free *pilotis* on vertical buildings, at the pedestrian level. With the CFD (*Computational Fluid Dynamics*) simulations, it was possible to analyse the wind behaviour, with and without these free *pilotis* at the ground floor on vertical buildings, and consequently its impact on thermal comfort using a adaptative model. It was possible to verify that occurred an overall air speed increase on pedestrians and an increase on comfort zone. However, it is important to point out that other aerodynamics effects can have a significant role, and that the *pilotis* effect itself can be undesirable in some locations, which may cause discomfort due to gust. It's highlighted the importance of validation and calibration of thermal comfort indexes to external environments at Fortaleza.

Keywords: natural ventilation, thermal comfort, urban morphology, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação é um fenômeno climático dentre os mais importantes para a obtenção de conforto térmico em climas quente e úmido, que é o caso da cidade de Fortaleza, CE. Tais climas se caracterizam principalmente pelas elevadas temperaturas, baixas amplitudes térmicas diárias e alta umidade relativa. Szokolay (2004) considera que, além da diminuição de ganhos de calor, a melhor estratégia para esse tipo de clima é o resfriamento fisiológico ocasionado pelo movimento do ar sobre a pele. Bittencourt (1993) julga que, em conjunto com as proteções solares, o resfriamento por ventilação constitui a solução de melhor relação entre custo e benefício para o contexto das regiões quentes e úmidas. Romero (1988) fala da importância, para o caso de regiões com clima quente e úmido, de que a forma das cidades e das edificações deve ser aberta, sombreada e com a ventilação sempre favorecida. Deste modo, a velocidade do fluxo de ar está diretamente relacionada com o potencial de favorecimento do conforto térmico, considerando o efeito resfriativo do ar em movimento sobre a pele (GIVONI, 1994; BRAGER e de DEAR, 2001).

A ventilação também é um dos elementos do clima urbano mais modificado pelo processo de urbanização e adensamento das cidades. A morfologia urbana afeta o comportamento e a velocidade dos ventos, podendo aumentar a rugosidade do terreno, e conseqüentemente reduzir de modo significativo a velocidade do ar e elevar a camada limite urbana. Villas Boas (1983) observa que a massa construída da cidade modifica sobremaneira a forma de deslocamento do ar. As alterações na ventilação se agravam quanto mais adensado é o ambiente da cidade. Para Duarte (2015), o desafio maior para o adensamento nas cidades latino-americanas é a qualidade do espaço público, dos espaços de transição entre os edifícios, a mobilidade, a poluição, etc.

A cidade de Fortaleza é um exemplo de cidade em contínua expansão populacional e construtiva, com regiões já com grandes densidades construídas, como é o caso do bairro Meireles. A cidade vem passando por um processo de expansão urbana e, portanto, alteração na configuração de suas paisagens (LEITE, 2010).

Nesse sentido, é de significativa importância a consideração do clima urbano para a criação de ambientes construídos que criem microclimas nos quais as pessoas se sintam confortáveis. A preocupação com o conforto nos espaços urbanos pode criar condições mais agradáveis que levem as pessoas a utilizarem de modo mais intenso estes espaços, favorecendo o transporte a pé, bicicleta ou transportes coletivos. Com esse entendimento, estratégias que favoreçam a ventilação urbana, principalmente no nível dos pedestres, devem ser consideradas em zonas urbanas, pois “o adensamento traz vantagens e os impactos negativos decorrentes disso podem ser minimizados, desde que haja planejamento” (DUARTE, 2015).

Uma destas estratégias é o efeito aerodinâmico conhecido como efeito de pilotis (figura 1), que ocorre quando, no pavimento térreo, a edificação é composta por pilotis livres à passagem da ventilação, criando uma saída de ar forte (MASCARÓ, 1985). Deste modo, as aberturas sob a edificação unem a zona de alta pressão e a zona de baixa pressão na fachada oposta. A entrada do ar é difusa, mas a saída é forte e direcionada, podendo ventilar áreas livres e comuns entre as edificações. Para Romero (1988), os edifícios com pilotis livres são aconselháveis para áreas densamente construídas, uma vez que, através das aberturas destes, os fluxos de ar atingem outros edifícios localizados a sotavento.

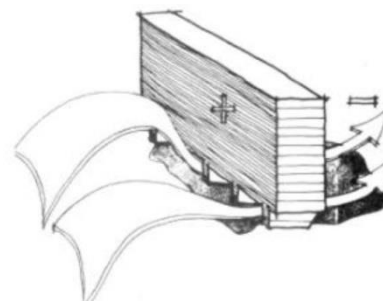


Figura 1 – Efeito de pilotis esquemático.
Fonte: Mascaró (1985)

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar a influência que a presença de pilotis livres nas edificações em altura teria na ventilação e conseqüentemente no conforto a nível do pedestre, a partir da comparação de simulações CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para o cenário existente e o cenário com pilotis livres no pavimento térreo, em uma área adensada de nove quadras bairro Meireles, Fortaleza, CE.

3. MÉTODO

Este trabalho analisa o impacto de pilotis livres na ventilação através de simulações CFD com o uso do *software* CFX (ANSYS, 2007). A cidade de Fortaleza foi caracterizada climaticamente, e então definida a área de estudo para caracterizar uma zona urbana adensada na cidade de Fortaleza. Posteriormente, foram estabelecidos os parâmetros relevantes para a correta simulação. Em seguida foi definido o critério de conforto a ser utilizado, e então foram caracterizados os cenários morfológicos, para a posterior análises de resultados de sombreamento, ventilação e conforto.

3.1. Caracterização climática de Fortaleza

A capital cearense se localiza aproximadamente a uma latitude de 3,46° sul, com um clima tropical chuvoso, quente e úmido, com temperatura média de 26,6°C. Na tabela 1, é possível ver as principais características climáticas da cidade, com dados de registros no período entre 1961 e 1990 obtida a partir do *software* Climaticus desenvolvido por Alucci (2005).

Tabela 1 – Características climáticas de Fortaleza. Fonte: ALUCCI (2005)

Fortaleza Latitude: 3,46 (S) Longitude: 38,4 (W. Grw.) Altura: 26,5m													
Registro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temp. Média (°C)	27,3	26,7	26,3	26,5	26,3	25,9	25,7	26,1	26,6	27	27,2	27,3	26,6
Temp. Máxima Média (°C)	30,5	30,1	29,7	29,7	29,1	29,6	29,5	29,1	29,2	30,5	30,7	30,8	29,9
Temp. Mínima Média (°C)	24,7	23,2	23,8	23,4	23,4	22,1	21,8	22,6	23,4	24,5	24,4	24,6	23,5
Temp. Máx Absoluta (°C)	33	33,3	32,8	32,6	32,8	32	33	34,4	33,4	33,4	33	32,2	34,4
Temp. Mín Absoluta (°C)	20,1	21,2	20,6	20	21	20,3	19,3	19,5	20,1	20,9	20,6	21	19,3
Precipitação Total (mm)	130	216	339	348	226	160	91,4	31,2	22,8	15,6	13,4	49,8	1642,3
Umidade Relativa (%)	78	79	84	85	82	80	80	75	74	73	74	76	78,3
Insolação Total (horas)	216	176	149	153	209	240	263	169	283	296	283	257	2694,3

Dado que esta pesquisa inclui análise de condições de ventilação natural em meio urbano, faz-se fundamental a caracterização do regime de ventos como dado de entrada nas simulações de ventilação. Foi utilizado um arquivo climático no formato *Typical Meteorological Year* (TMY) de acordo como foi realizado por Leite (2015), que tratou os dados de ventilação entre 2002 e 2011. As principais direções do vento são de leste e sudeste. A velocidade média para a direção leste foi calculada em 4,54m/s e a direção sudeste em 5,11m/s, sendo tais valores os dados de entrada para as simulações de ventilação.

3.2. Definição da área de estudo

Duarte (2015) expressa que não há como pensar um edifício sozinho, mas, sim, refletir sobre um grupo de edifícios, no mínimo em uma escala de nove quadras. As nove quadras foram escolhidas como área de estudo com base na grande verticalização com edifícios em altura (figuras 2, 3 e 4).



Figura 2 – Localização da área de análise no município de Fortaleza. Fonte: adaptado do Google Earth.

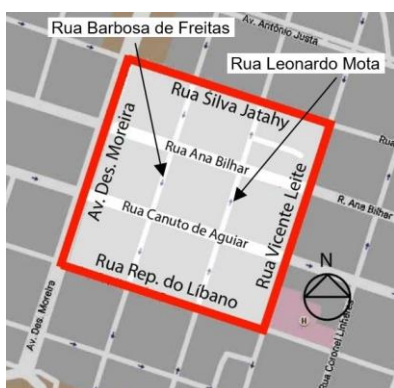


Figura 3 – Localização das nove quadras escolhidas para análise. Fonte: adaptado do Google Earth.



Figura 4 – Perspectiva aérea das nove quadras escolhidas para análise. Fonte: Google Earth.

O bairro Meireles, como é possível ver na figura 4, se configura como um bairro adensado com edificações verticais, entre 35m a 72m de altura na maioria das edificações. Ainda, há a presença de edificações horizontais de casas ou comércios, que sugerem uma capacidade futura de mais edificações verticais no bairro e na área de estudo.

3.3. Calibração dos parâmetros para as simulações CFD

As edificações da área de estudo foram modeladas em *softwares* do tipo *Computer Aided Design* (CAD) para a geração do domínio no qual a ventilação será simulada. Para a simplificação do modelo, de modo a dificultar a possibilidade de problemas na simulação e ao mesmo tempo não perder sua confiabilidade, arestas e faces diminutas, com menos de 5m, foram desconsideradas (LEITE, 2010). Já o domínio foi modelado com base nas diretrizes de Cóstola (2006), que deve apresentar pelo menos cinco vezes a dimensão do maior elemento modelado nas laterais, altura e barlavento, e pelo menos quinze vezes a sotavento, sendo considerado como 300m a dimensão deste maior elemento, que representa a dimensão da extensão de três quadras.

O domínio modelado foi, então, exportado em ACIS (.sat) para ser submetido às simulações computacionais no *software* CFX (ANSYS, 2007), plataforma atualizada e precisa de *softwares* CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Prata (2005) destacou que as características do CFX o mostram eficiente na quantificação da velocidade do vento, além de ser um software apropriado para o refinamento de estratégias de projeto, desde a escala do pedestre até a escala da cidade.

No *software* CFX, existem etapas que devem ser levadas em consideração para a correta simulação. Primeiramente, a importação do modelo é realizada e logo após é gerada a malha, atentando-se à sua qualidade. Posteriormente, as condições de contorno são definidas no CFX-Pre, onde características são atribuídas às faces do modelo: em que a face da entrada de ventilação é definida como *inlet*; a face da saída como *outlet*; as faces laterais, piso, e faces dos edifícios como paredes (*wall*); e, por fim, o topo do domínio como parede livre de atrito (*free slip wall*).

Ainda na etapa do CFX-Pre, é importante definir as condições de alteração de perfil da ventilação sobre meio urbano. Bittencourt & Cândido (2005) explicam que o aumento da velocidade do ar ao longo de um eixo vertical varia: seu valor é nulo junto à superfície e atinge intensidade máxima em uma determinada altura. Esse perfil varia de acordo com a densidade construída do ambiente, e para meios urbanos adensados, que é caso da presente pesquisa, foi utilizada a equação 1 a seguir (BRE, 1978):

$$V = V_m \times 0,35 \times z^{0,25} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

V = velocidade média do vento à determinada altura (m/s)

V_m = velocidade média do vento na estação meteorológica (m/s)

z = altura determinada (m)

As simulações utilizaram o método Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS), que se baseiam nas equações de Navier-Stokes. Foi empregado o modelo k-ε de turbulência, com taxa de turbulência 5%. Ainda, as simulações foram consideradas como isotérmicas, com a temperatura do ar em 25°C. O critério de convergência de resíduos utilizado foi de 10⁻⁵.

Após determinadas as condições de contorno, os dados foram gerados no módulo CFX-Solver, com o critério de obtenção das condições de convergência de 10⁻⁵ para uma simulação precisa, para a posterior obtenção dos resultados no módulo CFX-Post.

3.4. Análise de conforto em ambientes externos

A adaptação das pessoas em espaços urbanos abertos é um dos fatores mais importantes para se considerar ao analisar o conforto térmico. Walton et al (2007) consideram que um pressuposto necessário para estudar conforto num contexto aplicado é que uma pessoa desconfortável irá se mover para onde está termicamente mais confortável, dado que não haja impedimentos para esse movimento. As pessoas podem se adaptar removendo ou adicionando peças de roupa, escolhendo uma localização favorável de exposição ao sol e ao vento, aumentar ou diminuir o nível de atividade, ou limitar o tempo de exposição. A premissa básica é que uma pessoa requer um nível maior de adaptação à medida que as condições ficam mais desconfortáveis. Ao contrário de ambientes internos, as pessoas ganham mais escolhas em ambientes externos, mas têm de tolerar qualquer ambiente no qual escolham estar expostos. (WALTON et al, 2007)

Muitos parâmetros afetam o conforto em ambientes externos: vento, temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, qualidade do ar, atividade, roupas, etc. (STATHOPOULOS et al, 2004). Dentre estes parâmetros, Walton et al (2007) analisaram a influência relativa do vento, radiação solar e temperatura, concluindo que, quando sombreado, a ventilação e temperatura do ar são os mais importantes fatores que predizem a adaptabilidade para alcançar o conforto. Os autores ainda afirmam que a temperatura radiante média (TRM), quando a pessoa estiver sombreada, não foi um fator relevante na escala de conforto. Com relação aos parâmetros pessoais, de atividade, vestimentas ou tempo de exposição, pode ser considerado equivocado pressupor valores constantes ao modelar o conforto em ambientes externos (WALTON et al, 2007).

Dado o objetivo desta pesquisa de analisar o conforto dos pedestres na região de estudo, torna-se necessário a adoção de um critério ou índice para prever e caracterizar o nível de conforto. Entretanto, ainda é um desafio descrever quantitativamente o ambiente externo em termos de conforto humano, por que este é largamente influenciado pela rápida variabilidade do ambiente – especialmente em termos de exposição solar e velocidade dos ventos – e pelo tempo de exposição que pode variar de minutos a várias horas. (COCCOLO et al, 2016). Todos estes fatores apontam para a necessidade de padronização de avaliação de conforto térmico em ambientes externos (JOHANSSON et al, 2014).

Monteiro & Alucci (2005, 2008), e mais recentemente Coccolo et al (2016), fizeram uma revisão extensiva de índices preditivos de conforto térmico para espaços urbanos, indicando a grande variedade de modelos existentes, e expondo as potencialidades e aplicações de cada um. Os principais índices que podem ser destacados são o PET (*Physiologically Equivalent Temperature* ou temperatura equivalente fisiológica), o UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*), além dos modelos de conforto adaptativo (ASHRAE, 2004).

O PET é muito utilizado em estudos de conforto térmico em espaços abertos e é definido como a temperatura fisiológica equivalente, em um determinado ambiente (interno ou externo), à temperatura do ar de um ambiente interno de referência, no qual o balanço térmico humano é mantido com temperatura da pele e do centro do corpo iguais àquelas das condições em avaliação. É essencial saber que a escala térmica do PET pode variar de acordo com o clima: se a escala não está ainda definida, as simulações precisam ser validadas com monitoramentos e questionários in loco. (COCCOLO et al, 2016)

O UTCI tem como objetivo avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo humano e segue o conceito de temperatura equivalente, assim como o PET (ROSSI et al, 2011). O UTCI, ao contrário do PET que foi elaborado com base na realidade europeia, é um modelo que foi desenvolvido para ser aplicável em todos os climas (COCCOLO et al, 2016). Entretanto ROSSI et al (2011), ao estudar a aplicação do UTCI para Curitiba, apontou a necessidade de calibração do índice. Para Fortaleza, não foi encontrado nenhum estudo que trabalhou com validação ou calibração do PET ou UTCI.

Os modelos adaptativos de conforto térmico, por sua vez, partem da premissa de que se uma mudança ocorre de tal forma a produzir desconforto, as pessoas reagem de forma a restaurar seu conforto (NICOL & HUMPHREYS, 2002), indo ao encontro do pressuposto de Walton et al (2017) sobre adaptação em ambientes externos. O índice adotado pela ASHRAE (2004) se baseia na temperatura operativa neutra, relacionando com a temperatura média do ar externo (figura 5).

Os índices adaptativos foram elaborados para edificações naturalmente ventiladas, fazendo com que as condições internas se aproximem das condições externas.

Além disso, Monteiro & Alucci (2008) compararam a validação deste índice com outros três modelos (PMV, Índice de Carga Térmica e Temperatura Neutra Externa) em um estudo de caso em espaços semi-confinados, constatando que o índice adaptativo da ASHRAE (2004) apresentou a melhor correlação com os dados empíricos levantados. Para Fortaleza, Leite (2015) comparou este índice adaptativo com outros três e verificou que o índice da ASHRAE (2004) é o mais adequado à esta cidade devido às suas condições climáticas e à sua abrangência de uso. Ainda, a publicação da ASHRAE (2012) atesta o potencial de ampliação da zona de conforto (ou redução da temperatura sentida) a partir do aumento da velocidade do ar (figura 6).

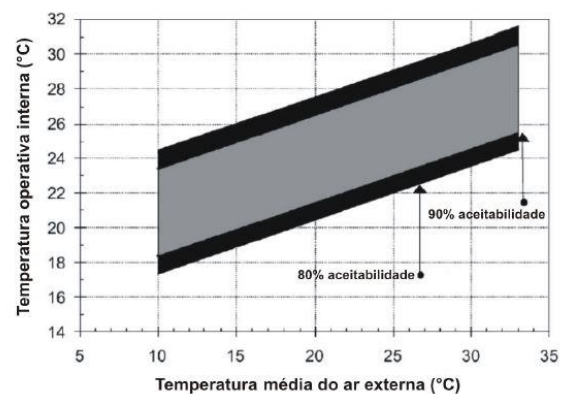


Figura 5 – Índice de conforto para edificações naturalmente ventiladas. Fonte: ASHRAE, 2004

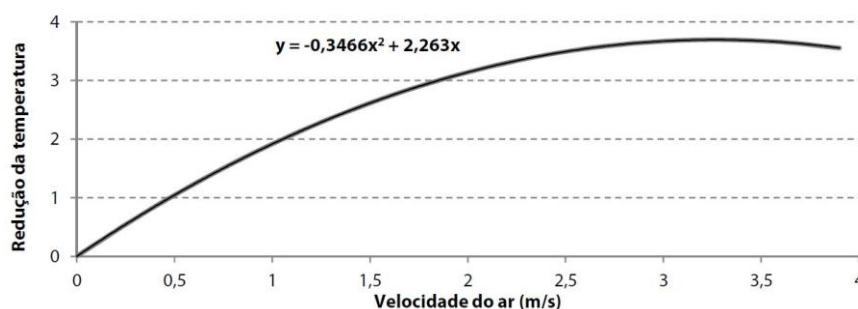


Figura 6 – Elevação nos limites de temperatura operativa neutra com base na velocidade do ar. Fonte: ASHRAE, 2012

Deste modo, para fins desta pesquisa, devido à possibilidade de adaptação dos pedestres, à falta de validação dos índices PET ou UTCI para a cidade de Fortaleza, à ampla abrangência de uso e aceitação de índices adaptativos, e ao potencial de se analisar diretamente o aumento da velocidade do ar sobre o conforto térmico, o índice da ASHRAE (2004) foi adotado como critério de conforto para ser analisado nos resultados.

Para analisar o sombreamento que os edifícios causam sobre os pedestres, foi utilizado o *software* Ecotect Analysis 2011 (AUTODESK, 2010), no qual é possível avaliar visualmente este efeito tanto no solstício de inverno como de verão.

Para analisar o efeito que a ventilação urbana tem sobre o conforto dos pedestres, para cada via interna ao modelo e para cada simulação, foi calculado a média ponderada da ventilação que incide no plano dos pedestres, e o polígono que foi considerado para o cálculo de cada via pode ser visto de acordo com a figura 7. Stathapoulos (2006) explica que ventos a nível de pedestre podem ser descritos adequadamente em termos de velocidades médias dentro de um ambiente urbano específico.

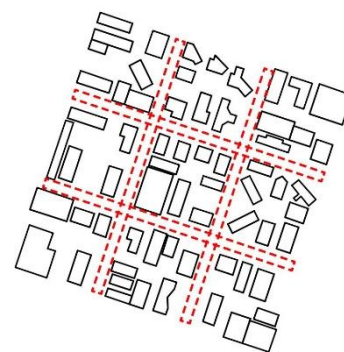


Figura 7 – Planta da área de estudo com destaque dos polígonos das vias. Fonte: elaborado pelo autor.

A partir destes dados de velocidade média é analisado o efeito da ventilação na expansão da zona de conforto do índice adaptativo da ASHRAE (2004) para cada caso. Essa expansão é então comparada com as temperaturas máximas média e absoluta em cada mês para a cidade de Fortaleza, que foi apresentado na tabela 1. Foi escolhido a comparação com essas temperaturas para obter resultados dos piores caso, em que as temperaturas são mais elevadas, geralmente por volta das 14h. Somente a temperatura do ar foi considerada como variável, e a temperatura radiante média (TRM) como sendo igual à temperatura do ar, já que a TRM, como explicado por Walton et al (2007), não configurou um preditor importante para o conforto em escala urbana.

3.5. Definição dos cenários para análise

Um total de quatro simulações CFD foram realizadas, duas com a entrada dos ventos a leste e duas a sudeste. Deste modo, para cada orientação da ventilação, foram simulados os cenários das edificações com o térreo completamente ocupado como ocorre atualmente, ou com a presença de pilotis livres com 4m de altura nas edificações verticais com pelo menos 30m de altura.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Análise do sombreamento

A partir da modelagem das edificações, com o *software* Ecotect Analysis é possível ver as alterações no padrão de insolação da área ao longo do ano. Nas figuras 8 e 9 a seguir, vemos o efeito da densificação da área sobre o sombreamento no plano dos pedestres, nos dias de solstício de inverno e de verão.

Ao analisar as imagens visualmente, é possível ver que, devido à alta densidade construtiva e verticalização da região, em diversos momentos do dia e ao longo de todo o ano os próprios edifícios sombreiam a área de pedestres em posições diferenciadas, que mudam de acordo com o movimento do sol. É importante constatar o sombreamento da região, já que um dos pressupostos para a utilização do índice de conforto adaptativo e de considerar a TRM igual à temperatura do ar foi que o pedestre tem a capacidade de adaptação na área de estudo.

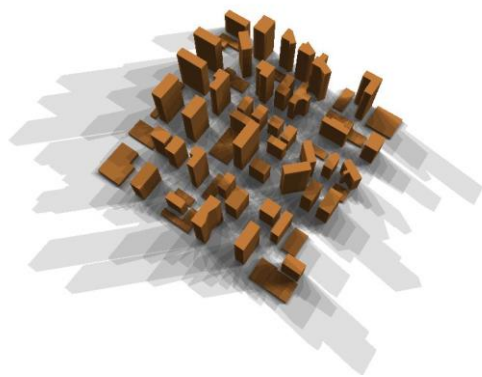


Figura 8 – Sombreamento no solstício de inverno. Fonte: elaborado pelo autor.

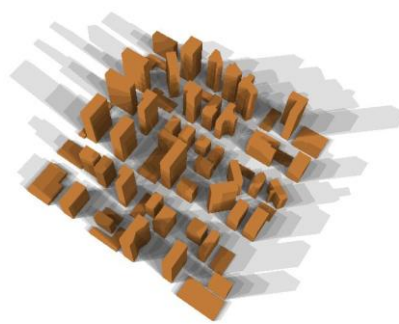


Figura 9 – Sombreamento no solstício de verão. Fonte: elaborado pelo autor.

4.2. Análise da ventilação

Para as simulações realizadas, foi analisado a mudança no comportamento da ventilação em um plano a 1,50m do solo, para a análise do impacto da presença de pilotis no nível do pedestre. Nas figuras 10 e 11, vemos o resultado das simulações com o vento vindo da orientação leste. Na figura 10, em que os edifícios ocupam maior parcela do pavimento térreo, é possível observar efeitos de canalização em algumas vias. Ainda analisando o caso da figura 10, as velocidades do vento sobre as vias em geral encontram-se entre as faixas de 0,00m/s até cerca de 1,50m/s, tendo pontos de velocidade máxima na rua Ana Bilhar, com cerca de 2,20m/s em pontos que ocorrem o efeito de esquina.

Já no caso da figura 11, em que os edifícios verticais foram considerados tendo pilotis livres, é possível observar que a ventilação no nível do pedestre sofreu um aumento de velocidade significativo em todas as vias estudadas. A velocidade dos ventos em geral vai de pelo menos cerca de 0,50m/s até cerca de 2,40m/s, mantendo regiões com altas velocidades do vento em áreas bem mais extensas que no caso sem pilotis.

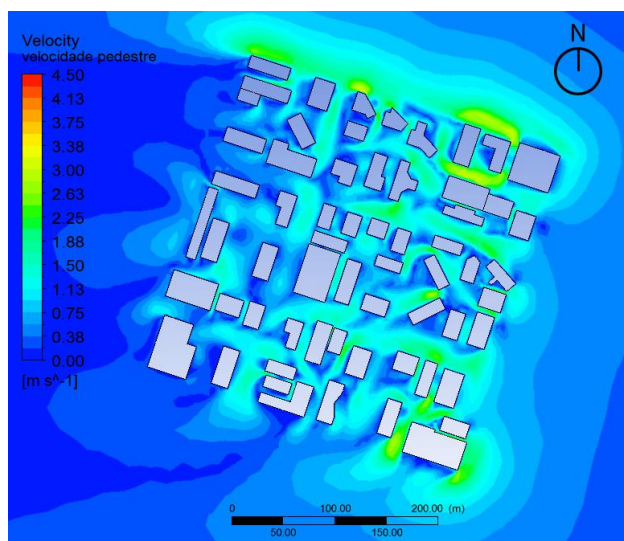


Figura 10 – Vista superior do modelo, com a velocidade do ar em um plano a 1,50m do solo com ventos a leste e edificações sem pilotis livres. Fonte: elaborado pelo autor.

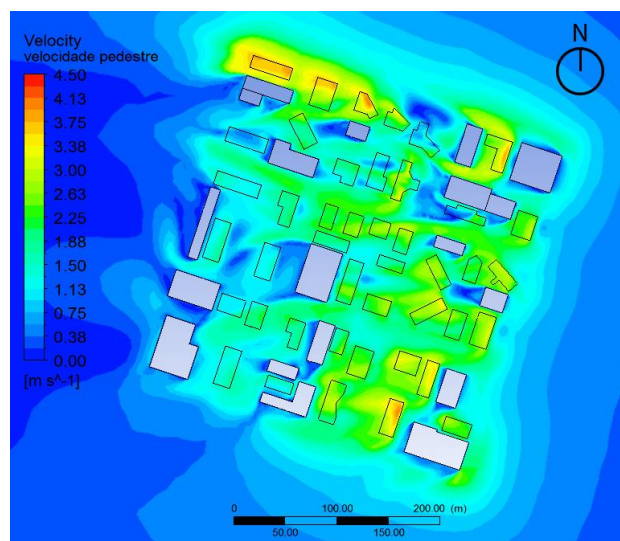


Figura 11 – Vista superior do modelo, com a velocidade do ar em um plano a 1,50m do solo com ventos a leste e edificações com pilotis livres. Fonte: elaborado pelo autor.

Nas figuras 12 e 13 a seguir, temos agora a ventilação proveniente do sudeste. No caso da figura 12, com as edificações sem pilotis livres, vemos os efeitos de canalização como no caso da figura 10, entretanto agora bem mais acentuado, como por exemplo ocorrendo nas ruas Ana Bilhar e Canuto de Aguiar. Neste caso das edificações sem pilotis, as velocidades sobre os pedestres variam de 0,00m/s até cerca de 2,00m/s.

Já no caso da figura 13, de edificações com pilotis livres, é possível ver um efeito semelhante ao do caso da ventilação a leste (figura 11). Em comparação à figura 8, a velocidade dos ventos em geral teve um aumento nas vias, entretanto no caso da rua Ana Bilhar, por exemplo, o efeito de canalização do vento foi perdido. Neste caso da edificação com pilotis, as velocidades sobre os pedestres das vias variaram entre pelo menos 0,5m/s até cerca de 2,50m/s na rua Canuto de Aguiar. Como no caso da figura 11, as velocidades máximas ocorreram nas áreas abaixo das edificações verticais, chegando a 4,50m/s.

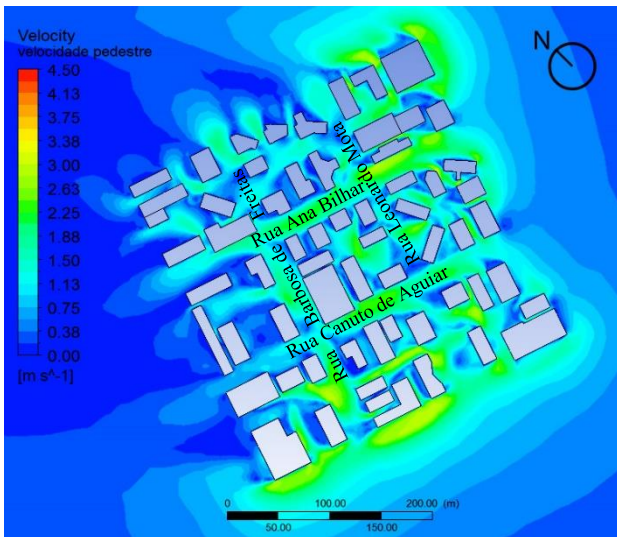


Figura 12 – Vista superior do modelo, com a velocidade do ar em um plano a 1,50m do solo com ventos a sudeste e edificações sem pilotis livres. Fonte: elaborado pelo

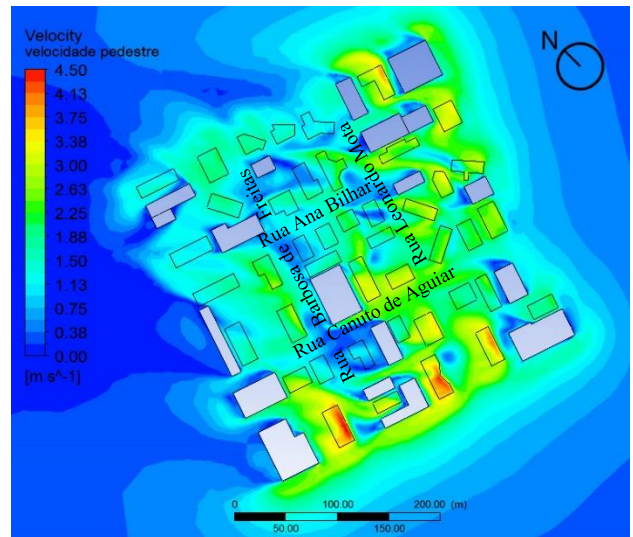


Figura 13 – Vista superior do modelo, com a velocidade do ar em um plano a 1,50m do solo com ventos a sudeste e edificações com pilotis livres. Fonte: elaborado pelo autor.

Na figura 14, vemos um corte vertical traçado na simulação em que os pilotis de 4m de altura no pavimento térreo foram adotados. Comparando estes resultados com a figura 15, em que não há pilotis livres no pavimento térreo, é possível ver como foi alterado as velocidades do vento no plano dos pedestres. Quando há edifícios verticais consecutivos e com pilotis livres, como no caso do corte apresentado pela figura 14, vemos que a velocidade do ar é praticamente constante no plano térreo, na imagem vemos velocidades de cerca de 1,50m/s a 2,50m/s.

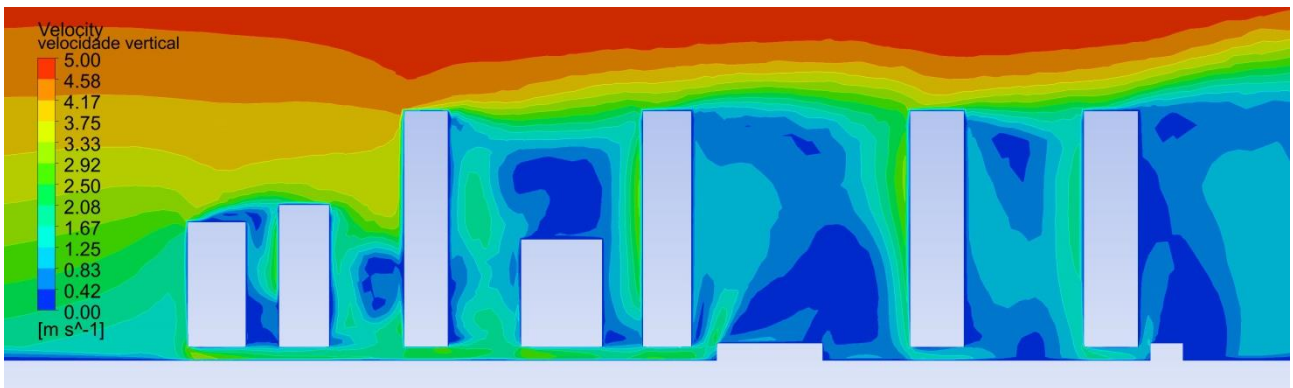


Figura 14 – Corte vertical do modelo, mostrando a velocidade do ar e edificações com pilotis livres. Fonte: elaborado pelo autor.

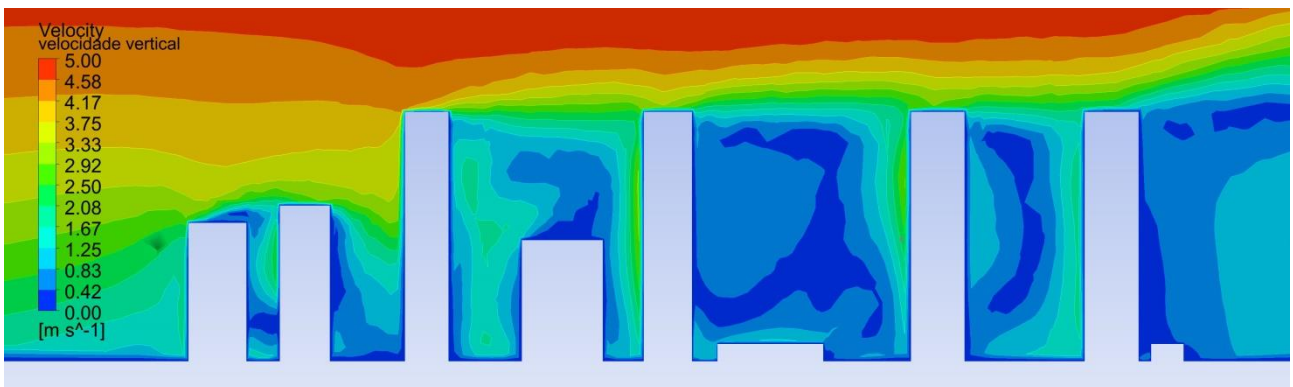


Figura 15 – Corte vertical do modelo, mostrando a velocidade do ar e edificações sem pilotis livres. Fonte: elaborado pelo autor.

Na tabela 2 a seguir, é possível avaliar a velocidade média em cada via interna da área de estudo, calculada como foi descrito no item 3.4. Consta-se novamente o aumento de velocidade do ar nas vias internas, principalmente entre os cenários de ventilação a leste sem e com pilotis livres. No caso da ventilação a sudeste, houve também um pequeno aumento geral entre os cenários, com destaque para a diminuição de velocidade do ar na Rua Ana Bilhar devido à perda do efeito de canalização dos ventos.

Tabela 2 – Velocidades médias ponderadas do ar nas vias de estudo, para cada cenário. Fonte: elaborado pelo autor.

Cenário	Rua Ana Bilhar	Rua Canuto de Aguiar	Rua Leonardo Mota	Rua Barbosa de Freitas	Média Geral
Leste sem pilotis livres	0,98	0,98	0,97	0,79	0,93
Leste com pilotis livres	2,29	1,79	1,91	1,44	1,86
Sudeste sem pilotis livres	1,69	1,29	0,98	1,25	1,30
Sudeste com pilotis livres	1,44	1,59	1,95	1,19	1,54

4.3. Análise do conforto

Para a realização da análise de conforto nas vias, foi adotado o índice de conforto adaptativo da ASHRAE (2004), e a sua extensão de zona de conforto, conforme foi descrito no item 3.4. Deste modo, é possível comparar o impacto sobre o conforto térmico da velocidade do ar média geral em cada cenário simulado. Além de comparar tais zonas de conforto com os dados climáticos de Fortaleza (tabela 1), principalmente as temperaturas máximas médias e absolutas, e a temperatura média externa de cada mês.

A partir da figura 16, vemos que o resultado da ventilação no caso da simulação do vento leste e edificações com pilotis livres teve o maior impacto da extensão da zona de conforto, aumentando o seu limite superior em cerca de 1,20 °C. No caso da ventilação sudeste, vemos que o impacto da ventilação foi menor, expandindo a zona de conforto em somente 0,30°C, quando comparado à situação sem pilotis livres.

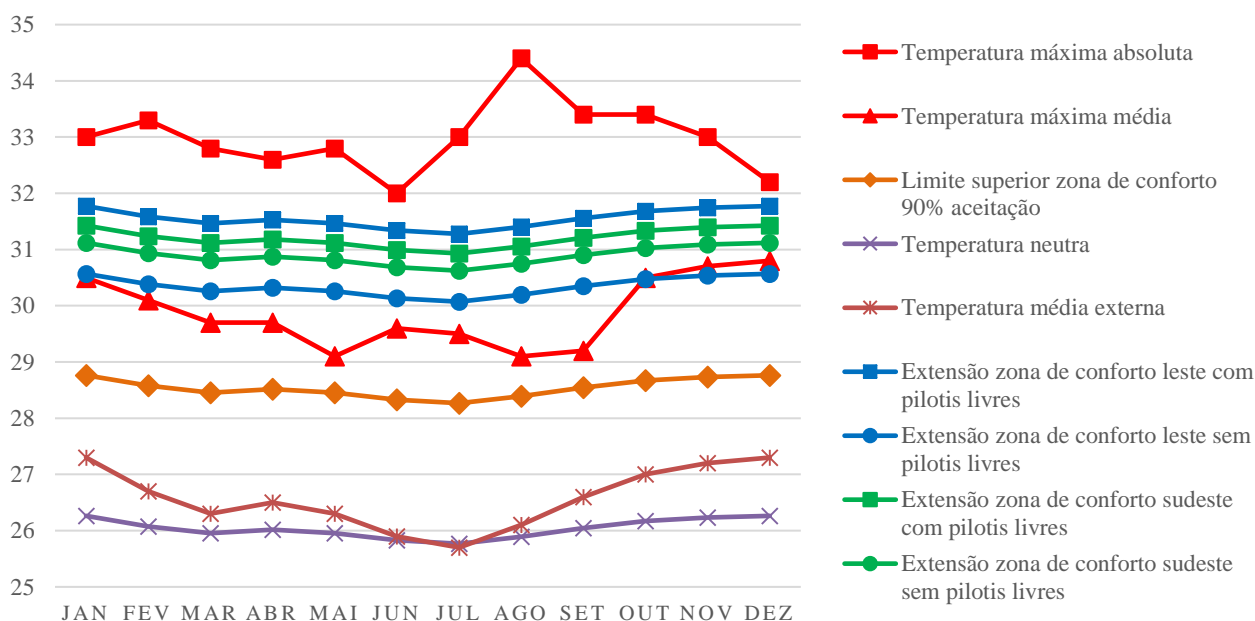


Figura 16 – Gráfico de comparação entre as extensões das zonas de conforto devido à ventilação e as características climáticas de temperatura (°C) de Fortaleza. Fonte: elaborado pelo autor.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, é possível observar a influência que a presença de pilotis livres no pavimento térreo tem sobre a ventilação e conforto em meio urbano. De modo geral, é possível dizer que a velocidade do ar no plano dos pedestres teve um aumento significativo quando os edifícios verticais possuíam pilotis livres, principalmente na ventilação leste. Esse aumento de velocidade foi importante para proporcionar extensão da zona de conforto para as pessoas que utilizam o espaço público, estimulando o seu uso e apropriação pela população, valorizando a permanência nas ruas.

É importante destacar que, no caso da ventilação a sudeste, o efeito de canalização do vento na rua Ana Bilhar produziu uma ventilação favorável no caso em que as edificações não possuíam pilotis livres. Então mesmo que o efeito de pilotis seja num geral benéfico para a ventilação urbana, podem ocorrer casos em que outros fenômenos aerodinâmicos tenham um papel importante.

Romero (1988) aponta que o efeito de pilotis também pode ter efeitos indesejáveis, como o jato de ventos que ocorre principalmente na região inferior dos edifícios. Esses efeitos puderam ser visualizados nas simulações realizadas, com a ventilação chegando a cerca de 4,50m/s, que pode significar incômodo para pessoas localizadas nessas áreas. Tais consequências indesejáveis, segundo a autora, podem ser atenuadas se a base do edifício é forrada com vegetação ou com o aumento da porosidade do próprio edifício.

Ainda, com relação aos critérios de conforto para ambientes externos, foi utilizado o modelo adaptativo da ASHRAE (2004), entretanto se torna necessário, em trabalhos futuros, a validação e calibração de tais índices de conforto térmico para a população da cidade de Fortaleza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUCCI, M. P. **CLIMATICUS_4.2.xls**. criado em 2005, com acesso em junho de 2017, disponível no site: <http://www.fau.usp.br/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/index.html>.
- ANSYS. **Workbench™ 11.0 SP1**. Canonsburg, 2007.
- AUTODESK, Inc. **Autodesk Ecotect Analysis**. Version 2011. (S.I.): Autodesk Brasil, 2010.
- (ASHRAE). **ASHRAE Standard 55-2004: thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2004.
- _____. **Addendum to ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, 2012.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2005.
- BRAGER, G; de DEAR, R. **Climate, Comfort, & Natural Ventilation: a new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55**. Center of the Built Environment – University of California, Berkley. 2001.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). **Principles of Natural Ventilation**, BRE Digest nº 210, Garston: BRE, 1978.
- COCCOLO, S.; KAMPF, J.; SCARTEZZINI, J.; PEARLMUTTER, D. **Outdoor human comfort and thermal stress: A comprehensive review on models and standards**. Urban Climate 18: 33 – 57, 2016.
- CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício: procedimentos para quantificação**. (Dissertação). Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- DUARTE, D. **O clima urbano e o ambiente construído**. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.) **Edifício Ambiental**. 1 ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2015.
- GIVONI, B. **Passive Low Energy Cooling of Buildings**. John Wiley & Sons Inc. 1994.
- JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; EMMANUEL, R.; KRUGER, E. **Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization**. Urban Climate 10: 346 – 366, 2014.
- LEITE, R. C. V. **Fortaleza: terra do vento a influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido**. (Dissertação). Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- _____. **Cidade, vento, energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido**. (Tese). Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.
- MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo, SP: Projeto, 1985.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Índices de conforto térmico em espaços abertos**. Parte 1: revisão histórica. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2005.
- _____. **Modelo adaptativo de temperatura operativa neutra para avaliação de espaços semi-confinados**. In: NUTAU, 2008.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. Energy and Buildings 34: 563 – 572, 2002.
- PRATA, A. R. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano**. (Tese). Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo, P.W., 1988.
- ROSSI, F. A.; KRUGER, R.; BRODE, **Definição de faixas de estresse térmico para espaços abertos em Curitiba, Paraná**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios. Anais... Búzios: ANTAC, 2011.
- STATHOPOULOS, T; WU, H.; ZACHARIAS, J. **Outdoor human comfort in an urban climate**. Building and Environment 39: 297 – 305, 2004.
- STATHOPOULOS, T. **Pedestrian level winds and outdoor human comfort**. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics 94: 769 – 780, 2006.
- SZOKOLAY, S. V. **Introduction to architectural science: the basis for sustainable design**. Amsterdam, Architectural, 2004
- WALTON, D.; DRAVITZKI, V.; DONN, M. **The relative influence of wind, sunlight and temperature on user comfort in urban outdoor spaces**. Building and Environment 42: 3166 – 3175, 2007.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior pelo apoio financeiro.