

O uso de barreiras vegetais para controle dos ventos em espaços abertos

The use of plant barriers for wind control in open spaces

Helena Cristina Padovani Zanlorenzi^{a*},
Demóstenes Ferreira da Silva Filho^b

^a Universidade de São Paulo,
Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo. São Paulo-SP, Brasil.

^b Universidade de São Paulo, Escola
Superior de Agricultura Luiz de
Queiroz. Piracicaba, Brasil.

*E-mail: helenapz@usp.br

Palavras-chave:

Clima urbano, Barreira aos
ventos, Barreiras vegetais, Ventos,
Conforto térmico, LAI, ENVI-met®.

Keywords:

*Urban Climate, Wind Barrier,
Vegetable Barrier, Wind, Thermal
Comfort, LAI, ENVI-met®.*

Resumo

Os estudos de conforto ambiental em espaços abertos envolvem certamente a influência dos ventos no conforto térmico dos usuários, nas escalas local e urbana. O presente estudo teve por objetivo avaliar elementos vegetais como barreira aos ventos para conforto térmico em espaços abertos. O procedimento utilizado foi quantificar a interferência de elementos vegetais na passagem dos ventos, na altura dos pedestres, a partir de configurações preestabelecidas de elementos vegetais. Foram estudadas três espécies: *Jasminum mesnyi Hance (Jasmim)*, *Pseudosasa japonica (Steud.) Makino (Bambu)* e *Pinus caribaea Morelet (Pinus)*. As variáveis microclimáticas medidas foram temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, em três posições distintas por espécie vegetal: em um campo aberto próximo, antes e depois da barreira. O período de coleta de dados foi das 9 h às 21 h, em intervalos de 3 min, durante três dias para cada espécie considerada, no Campus Taquaral da UNIMEP em Piracicaba - SP. Foi feita a medição do LAI (Índice de Área Foliar) das espécies. Os dados obtidos nas medições foram aplicados em simulação computacional com o modelo ENVI-met®. A ferramenta de simulação mostrou-se eficiente como auxílio na escolha de estratégias que requerem atenuação dos ventos.

Abstract

Studies of environmental comfort in open spaces certainly involve the influence of winds in the thermal comfort of users, in local and urban scales. The present study aimed at evaluating plant elements as a barrier to the winds for thermal comfort in open spaces. The procedure was to quantify the interference of plant elements in passage of winds, at pedestrians' height, from pre-established plant

element configurations. Three species were studied: Jasminum mesnyi Hance (Jasmine), Pseudosasa japonica (Steud.) Makino (Bamboo) and Pinus caribaea Morelet (Pinus). The microclimatic variables measured were air temperature, relative air humidity and wind velocity, in three distinct positions per plant species: in a nearby open field, before and after the barrier. The data collection period was from 9 am to 9 pm, at 3 min intervals, during three days per species, at the UNIMEP Taquaral Campus in Piracicaba - SP. LAI (Leaf Area Index) of the species was measured. The data obtained in measurements were applied in a computational simulation ENVI-met® model. The simulation tool proved to be efficient as an aid in choosing strategies that require wind attenuation.

1 Introdução

O vento é um fator determinante para o conforto humano em espaços abertos; trata-se de um fenômeno com comportamento difícil de prever e controlar, uma vez que sofre influências de um grande número de variáveis globais, regionais e locais (NIKOLOPOULOU, 2004). Conforme as condições climáticas, uma determinada intensidade de vento pode ser considerada desejável ou indesejável. Para Rivero (1986), conhecer o regime de ventos permite controlar seus efeitos e torná-los favoráveis. Em relação à ação direta dos ventos, a questão do conforto de um indivíduo em um ambiente externo apresenta três componentes distintas, envolvendo limites de velocidade: comodidade e segurança; qualidade do ar ambiente e conforto térmico (SARAIVA, 1994).

As características dos objetos da paisagem que mais interferem na passagem dos ventos são tamanho, localização, orientação e porosidade (BROWN; GILLESPIE, 1995). Perto do solo, os ventos encontram obstruções que retardam sua velocidade e desviam a direção de seu movimento (BONAN, 2002). Estudos teóricos e experimentais de Erell, Pearlmutter e Williamson (2011) indicam que uma barreira porosa é mais efetiva que uma barreira sólida, evitando turbulência quando há incidência de ventos fortes, o que faz da vegetação um elemento eficiente para esse fim. Ometto (1981) também concluiu que o efeito protetor da barreira diminui com quebra-ventos muito densos e desde o solo. Nos estudos realizados em túnel de vento por Santiago et al. (2007) e por Wu et al. (2013), o melhor efeito de barreira foi alcançado com 35 % de porosidade, sugerindo a utilização de valores de 30 % a 40% de porosidade como ideais. Barreiras aos ventos compostas por vegetação também apresentam propriedades estéticas e de sombreamento. Para Wong e Chen (2009), pode-se obter redução na velocidade dos ventos com o plantio de vegetação perpendicularmente à direção de sua incidência, devendo-se ter o cuidado de não bloquear os ventos refrescantes de verão em climas tropicais.

O LAI é um índice de referência para estimativa da densidade das copas de elementos vegetais, cujo processo de medição está cada vez mais simplificado pela evolução dos equipamentos. Buscou-se relacionar os resultados de LAI aos índices de atenuação da velocidade do vento pelas barreiras vegetais.

Estudos recentes adotam modelos computacionais com diferentes objetivos; são instrumentos de grande importância por permitirem variações de escala e simulações de possibilidades futuras, com quantificação precisa dos resultados. Há predominância de estudos de situações em condições de verão e alternativas para amenizar as temperaturas do ar. O software ENVI-met® v. 3.1 foi utilizado na busca da otimização de estudos preditivos de barreiras arbustivo-arbóreas, por ser um modelo microclimático tridimensional que permite que o usuário trabalhe a interface de forma simplificada, conforme explicitado por seu criador (BRUSE, 2009).

2 Material e métodos

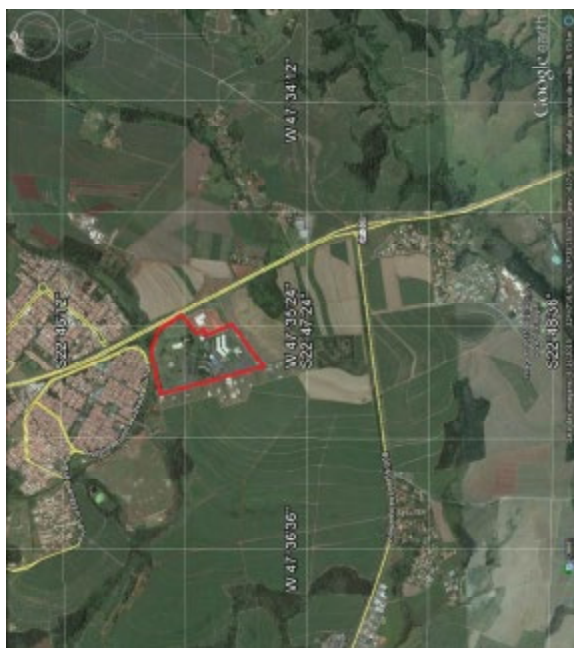
2.1 Caracterização geográfica e climática local

A cidade de Piracicaba está localizada na região centro-leste do estado de São Paulo (22°43'30" S; 47°38'56" W), ocupando área de 1376,9 km², com 364.571 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). O clima local é do tipo Cwa (classificação de Köppen-Geiger), com temperaturas máximas e mínimas médias anuais de 28,2 °C e 15,1 °C e precipitação média anual de 1.274 mm (LEB – ESALQ – USP). Os levantamentos de campo que fazem parte deste estudo (ZANLORENZI, 2015) foram realizados no Campus Taquaral da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP. O Campus localiza-se na divisa dos municípios de Piracicaba e Rio das Pedras, em uma área com entorno descampado, baixa ocupação e distante da área adensada da cidade.

2.2 Medição em campo: escolha e descrição das amostras

Dentre as espécies vegetais existentes no Campus, foram escolhidos três elementos arbustivo-arbóreos, por terem sido especialmente previstos para funcionarem como barreira aos ventos, conforme as **Figuras 1, 2, 3 e 4**.

Figura 1 – UNIMEP – (a) Situação no entorno e (b) Pontos de medição: (A) Jasmim, (B) Bambu e (C) Pinus, sendo três pontos por vegetação: (1) em campo aberto, (2) antes da barreira e (3) após a barreira, com 1 medidor por ponto.



(a)



(b)

Fonte: adaptado pelos autores com dados Google Earth. (a) Google Earth, imagem de 16 abr. 2015 e (b) Google Earth, imagem de 09 ago. 2014.

As amostras estudadas são:

(A) JASMIM: *Jasminum mesnyi* Hance

Figura 2 – Jasmim ao lado do Bloco 7 nos pontos (1) em campo aberto, (2) antes da barreira e (3) após a barreira



Fonte: (situação) adaptado pelos autores com dados do Google Earth (2014); (1), (2) e (3) imagens de Zanlorenzi (em 6 de agosto de 2014)

(B) BAMBU: *Pseudosasa japonica* (Steud.) Makino

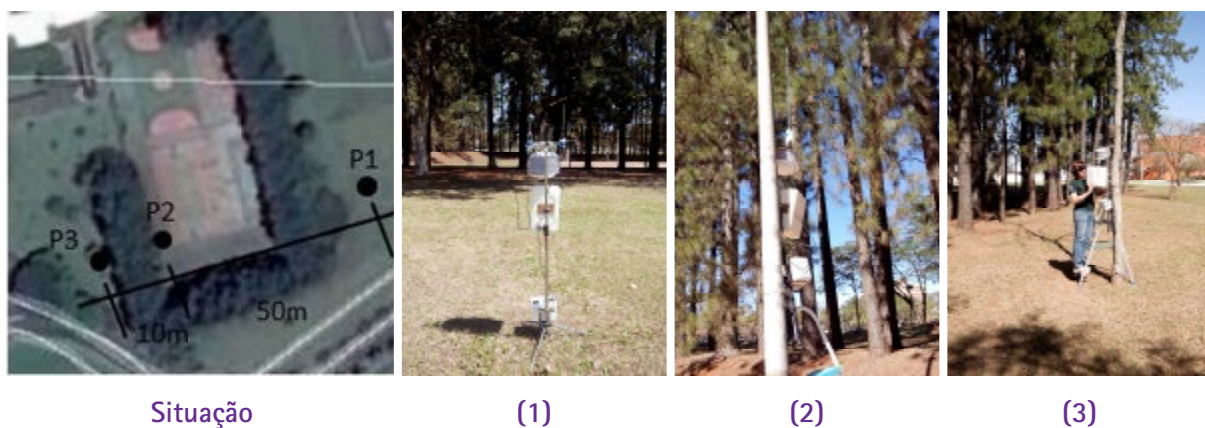
Figura 3 – Bambu no Bloco de Ed. Física nos pontos (1) em campo aberto, (2) antes da barreira e (3) após a barreira



Fonte: (situação) adaptado pelos autores com dados do Google Earth (2014); (1), (2) e (3) imagens de Zanlorenzi (em 14 de agosto de 2014)

(C) PINUS: *Pinus caribaea* Morelet

Figura 4 – Pinus em volta da Quadra nos pontos (1) em campo aberto, (2) antes da barreira e (3) após a barreira



Fonte: (situação) adaptado pelos autores com dados do Google Earth (2014); (1), (2) e (3) imagens de Zanlorenzi (em 5 de setembro de 2014)

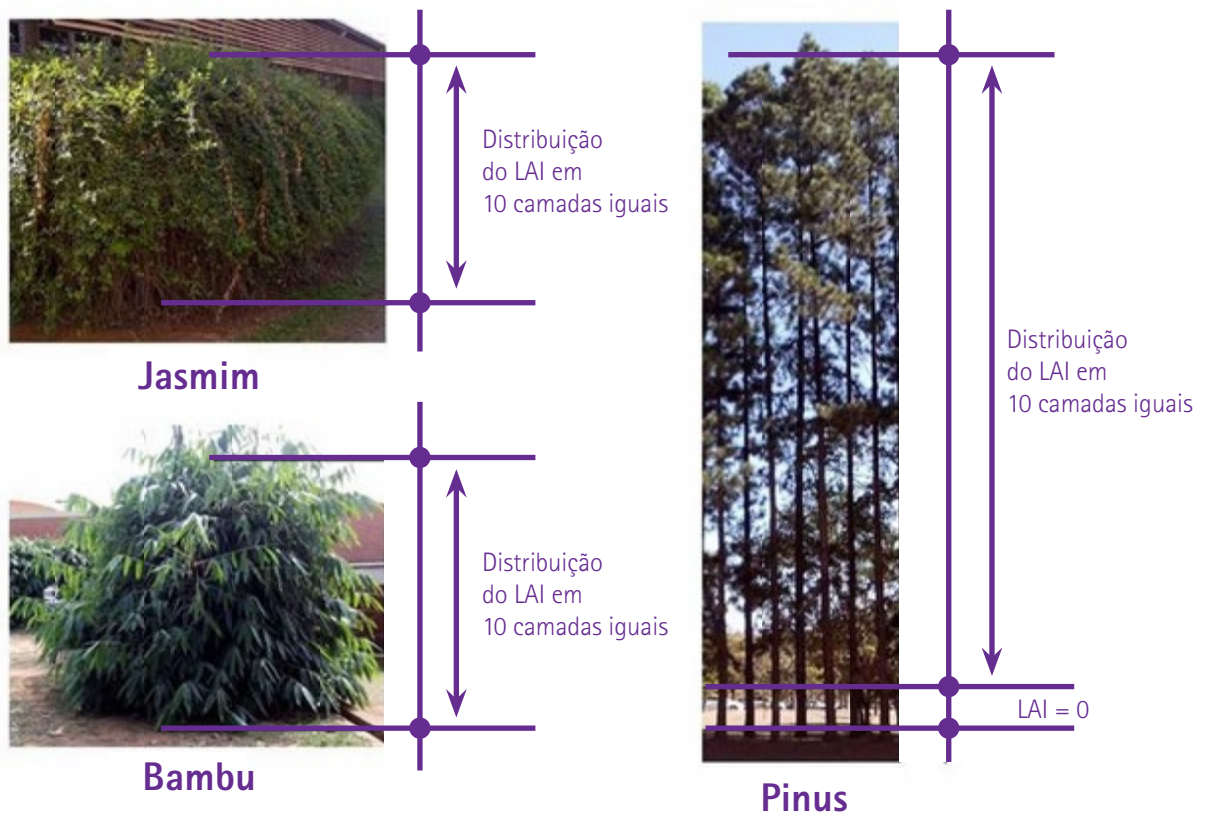
Cada espécie estudada teve o monitoramento microclimático durante três dias, das 9 h às 21 h, sendo colhidos os seguintes dados: temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade do ar (%) a cada 5 min, e velocidade do ar (m/s) a cada 3 min. Os equipamentos foram fixados em tripés a 1,5 m de altura, distantes 0,5 m das respectivas barreiras nos Pontos 2 e 3; foram feitos ajustes nas alturas dos equipamentos em (B) Bambu e (C) Pinus para compensar os desníveis do terreno. Cada estação de medição foi composta dos seguintes equipamentos devidamente calibrados: um medidor de temperatura e umidade relativa do ar modelo *Logger Type Therma Data*, protegido da radiação direta em caixa ventilada, e um anemômetro / termômetro digital *Testo 445* com sensor e registrador, alimentado por bateria externa e protegido por caixa de isopor. Para quantificar a atenuação da velocidade do vento pela vegetação, considerou-se sempre a diferença entre o maior e o menor valor de velocidade do vento. Quando houve inversão do sentido do vento, os dados foram corrigidos para manter a coerência nos resultados, pois o foco desta pesquisa foi conhecer valores de atenuação das barreiras e não valores absolutos das velocidades do vento.

2.3 Medições do LAI

Os valores de LAI foram medidos em campo nas três vegetações com o equipamento *LAI-2000 Plant Canopy Analyzer* (método óptico), durante o período da coleta dos dados microclimáticos. Foram feitas as medições acima e abaixo da copa de cada vegetação, sendo 3 medições por planta com 10 repetições cada. Com os dados coletados, o equipamento fez automaticamente a estimativa do LAI médio automaticamente. No banco de dados de vegetação do programa *ENVImet*®, os valores de densidade de copa (LAD) são distribuídos em 10 camadas, cujo total resulta no valor de LAI da copa.

Desta forma, os valores das 10 camadas foram estimados de acordo com a geometria da copa, totalizando o LAI médio medido em campo para cada vegetação. Na obtenção do LAD a partir do LAI, considerou-se a altura do tronco sem copa com LAI = 0, distribuindo-se os valores medidos apenas no trecho de altura com copa (**Figura 5**).

Figura 5 – Distribuição estimada dos valores de LAD a partir dos LAI medidos em cada vegetação



Fonte: elaborado pelos autores

2.4 Modelagem numérica

Para as simulações computacionais, utilizou-se o software ENVI-met® v. 3.1, que permite a obtenção de resultados a partir da modelagem da área estudada considerando a presença da vegetação. Foi feita a inserção dos valores de LAI medidos nas espécies estudadas no banco de dados do programa, obtendo-se os resultados de forma específica para este estudo. Os dados de saída foram intensidade e direção dos ventos. A visualização do resultado é feita com a ferramenta *Leonardo*, que faz parte do programa. O tamanho das flechas é proporcional à intensidade do vento.

A modelagem da área estudada no programa ENVI-met® foi feita com base na foto aérea com os pontos de medição da **Figura 2**. As alturas dos edifícios foram obtidas por observações *in loco* e com suporte de imagens do *Google Street View*. Os dados de entrada no modelo foram calibrados para o local de estudo conforme indicado em Zanlorenzi (2015) e na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Dados de entrada nas simulações do modelo ENVI-met®

Dados de entrada (vento sudeste)	Valores
Dia de início da simulação (DD/MM/YYYY)	07/08/2014
Hora de início da simulação (HH:MM:SS)	21:00:00
Total de horas de simulação	48:00
Salvar modelo a cada (min)	60
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	3,9
Direção do vento (o)	158 e 90
Rugosidade z0 no ponto de referência	0,1
Temperatura atmosférica inicial (K)	299,59
Umidade específica a 2500 m (g/kg)	3,2
Umidade relativa a 2 m (%)	81,2
Tamanho do modelo (m)	670 x 530
Tamanho da malha utilizada (grids)	150 x 189
Fator de ajuste de radiação	0,72

Fonte: elaborado pelos autores

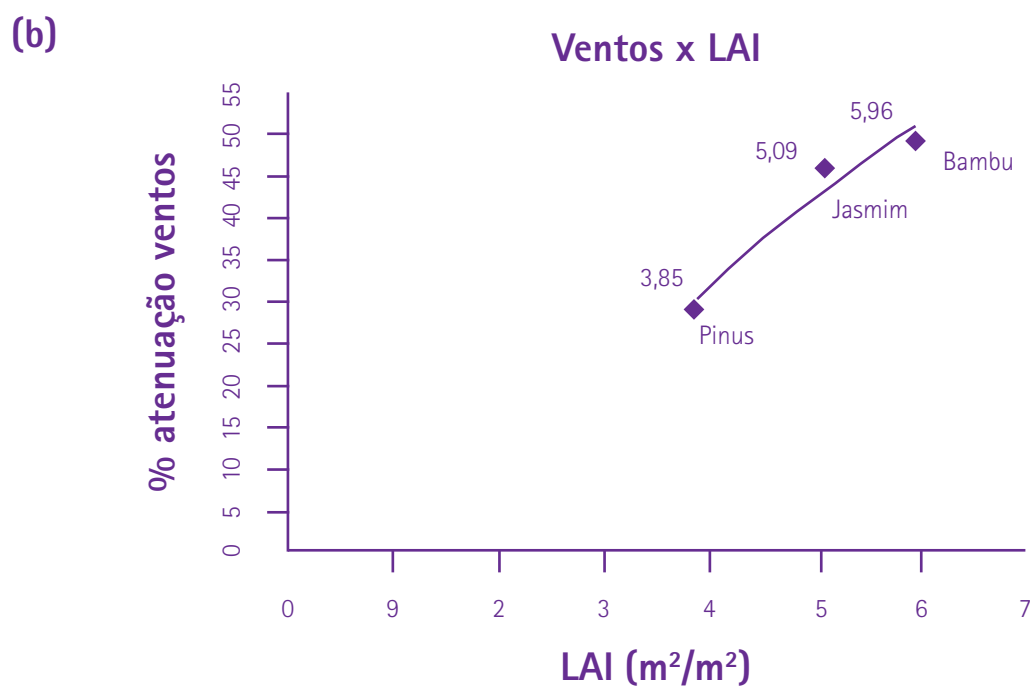
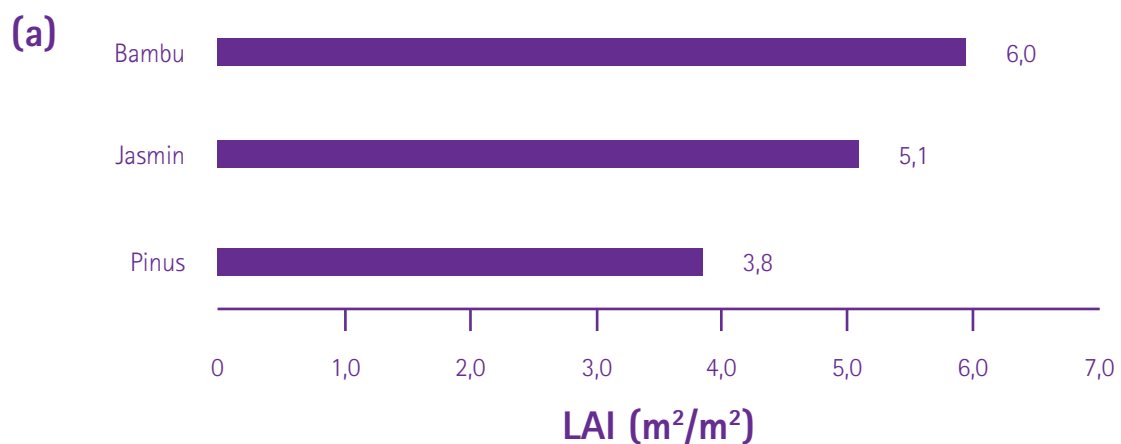
As simulações foram feitas por um período de 48 h; as primeiras 6 h foram desconsideradas por ser período de estabilização dos dados conforme Assis, Sirqueira e Bamberg (2013). O período de simulação foi de 07/08/2014 às 21h00 até 09/08/2014 às 21h00. Os dados de entrada foram obtidos da seguinte forma: Imagem: obtida no *Google Earth* datada de 09/08/2014 com recorte do polígono por ferramenta de captura; conversão para formato (bmp); adequação da taxa de proporção da imagem para o modelo utilizado. A imagem foi recortada nas dimensões 670 m x 530 m e foi definida a relação metros/pixel com a imagem resultante correspondente a 3,5 m x 3,5 m / grid. Velocidade do vento (entrada): conforme valor medido na data simulada (no ponto P1, série Jasmim, às 21h00). Direção do vento: dados da estação local (LEB – ESALQ – USP). Direção predominante na data da medição: Sudeste = 158°. Posteriormente foi feita uma segunda simulação considerando ventos com ângulo de incidência 90° (Leste) que também ocorrem com frequência. Umidade relativa: obtida na coleta de campo no mesmo ponto e horário. Temperatura atmosférica inicial e umidade específica a 2500 m: do site University of Wyoming, College of Engineering, Department of Atmospheric Science (Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>. Acesso em: 29 de abril de 2015).

3 Resultados

3.1 Medições em campo

Os valores de LAI resultantes nos três elementos vegetais estudados estão apresentados na **Figura 6**.

Figura 6 – (a) Valores de LAI resultantes e (b) Gráfico de Tendência - LAI x % de atenuação dos ventos



Fonte: elaborado pelos autores

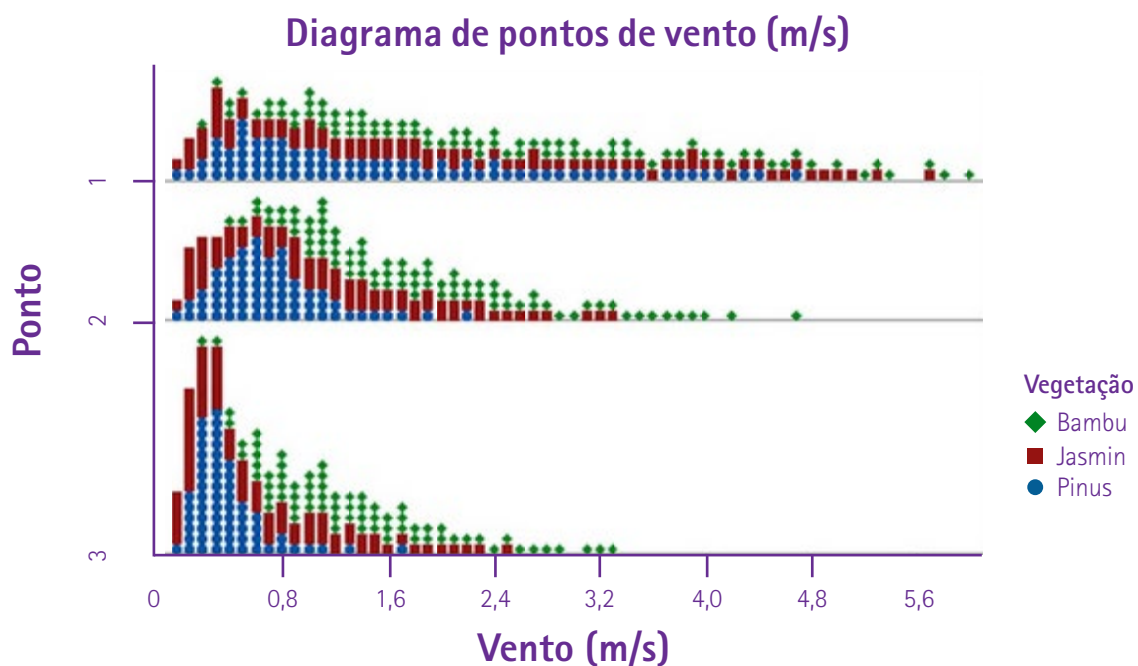
Os resultados das medições efetuadas em campo aberto, antes e depois de cada barreira vegetal obtidos nos três elementos vegetais são apresentados por Zanlorenzi e Silva Filho (2018).

Foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para comparações das áreas analisadas; seus resultados não apresentaram diferenças significativas por ausência de intensidade amostral. Para localização das diferenças foi aplicado o teste de Tukey, p -valor < 0.05 . No teste de Tukey, a diferença entre os grupos existe quando as diferenças entre as médias forem maiores que o valor da diferença mínima significativa (Dms). Fazendo-se a análise das velocidades dos ventos por vegetação, foram encontradas as seguintes variações significativas:

- a) **Bambu:** na velocidade média do vento, houve diferença significativa entre os três pontos de medição. Na velocidade máxima e na amplitude do vento, houve diferença significativa entre os Pontos 1 e 2;
- b) **Jasmim:** na velocidade máxima do vento e na amplitude, houve diferença significativa entre os três pontos de medição; e
- c) **Pinus:** na amplitude, houve diferença significativa entre os Pontos 1 e 3.

O diagrama da **Figura 7** apresenta o resumo das observações resultantes por planta e por ponto medido. É possível verificar que entre os Pontos 2 (antes da barreira) e 3 (depois da barreira), o Bambu apresenta maior diferença nas velocidades do vento.

Figura 7 – Intensidades do vento por vegetação e por ponto medido

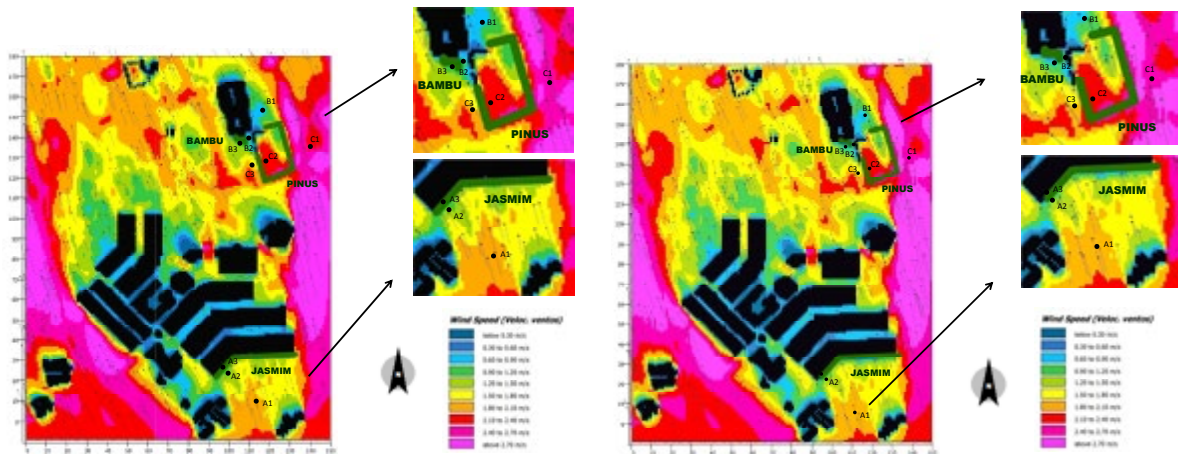


Fonte: elaborado pelos autores

3.2 Modelagem numérica: simulação com o modelo ENVI-met®

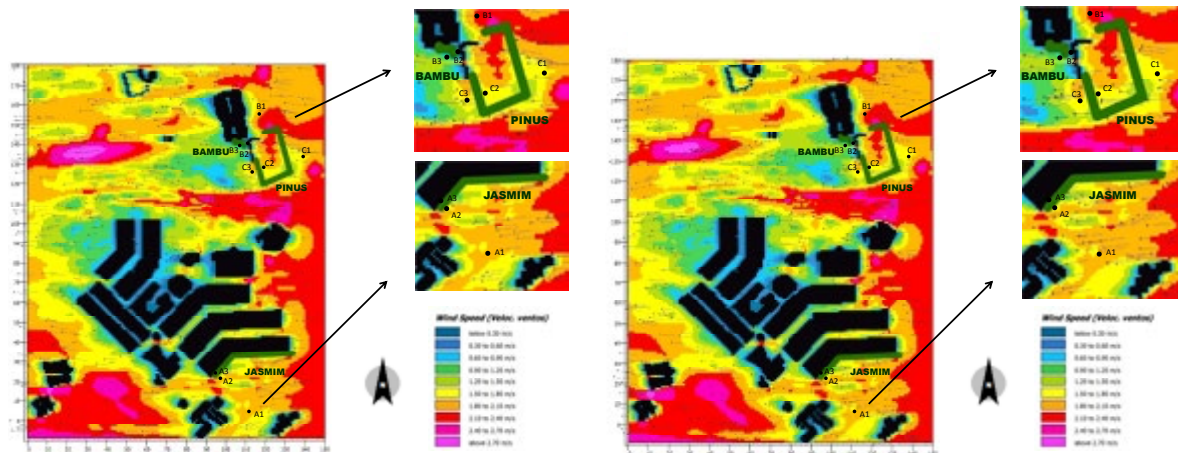
Os resultados obtidos na modelagem estão nas **Figuras 8 e 9**. Os resultados referem-se ao ocorrido na altura dos pedestres ($z=1,60$ m).

Figura 8 – Simulação – Ventos SE (158°) – 09/08/2014 (a) às 9h00 e (b) às 21h00



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 9 – Simulação – Ventos E (90°) – 09/08/2014 (a) às 9h00 e (b) às 21h00



Fonte: Elaborado pelos autores

4 Conclusões

A tendência verificada no gráfico da **Figura 6 (b)** mostra-se compatível com a busca da viabilidade de adoção do LAI como parâmetro na previsão de resultados de desempenho de elementos vegetais como barreira aos ventos. De uma maneira geral, nas simulações ficaram mantidas as proporções entre os Pontos 1, 2 e 3 de cada espécie vegetal. O efeito das barreiras foi evidenciado em todas as simulações. Obviamente, os ventos resultantes nas simulações não consideram as rajadas que ocorrem nas medições de campo. Esta ferramenta de simulação mostrou-se eficiente para indicar os pontos com maior ou menor fluxo de ventos, bem como para obtenção de uma relação entre os pontos estudados. Também pode auxiliar na escolha de estratégias a serem empregadas para atenuação dos ventos em função do leiaute previsto, permitindo a comparação entre resultados obtidos em diferentes configurações e composições vegetais. Assim, esta predição de resultados pode ter importância significativa em estudos que relacionam ventos a composições de vegetação e sugere um aprofundamento no tema, que possui ainda há muitas frentes a serem exploradas.

5 Agradecimentos

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos para esta pesquisa.

6 Referências

ASSIS, E. S.; SIRQUEIRA, C. A.; BAMBERG, A. M. Influência da vegetação no microclima em ambiente simulado controlado. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12.; / ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2013, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013. p. 324–338.

BONAN, G. **Ecological climatology**: concepts and applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 690 p.

BROWN, R. D.; GILLESPIE, T. J. **Microclimatic landscape design**: creating thermal comfort and energy efficiency. New York: John Wiley, 1995. 193 p.

BRUSE, M. **ENVI-met 3.1**: online manual. 2009. Disponível em <<http://www.envimet.com/documents/onlinehelpv3/helpindex.htm>>. Acesso em: 19 maio 2015.

ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban microclimate**: designing the spaces between buildings. London: MPG Books, 2011. 266 p.

GOOGLE EARTH. **Imagem da área da UNIMEP**: pontos de medição. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 09 ago. 2014.

GOOGLE EARTH. **Imagem da área da UNIMEP**: situação do entorno. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 16 abr. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Rio de Janeiro: IBGE 2010. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/tabelas_pdf/tab1.pdf>. Acesso em: 19 maio 2015.

NIKOLOPOULOU, M. **Designing open spaces in the urban environment**: a bioclimatic approach; RUROS: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces. Greece: Centre for Energy Resources, Department of Buildings, 2004. 53 p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima**: acondicionamento térmico natural. 2. ed. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores, 1986. 240 p.

SANTIAGO, J. L.; MARTÍN, F.; CUERVA, A.; BEZDENEJNYKH, N.; SANZ-ANDRÉS, A. Experimental and numerical study of wind flow behind windbreaks. **Atmospheric Environment**, Madrid, v. 41, n. 30, p. 6406-6420, 2007.

SARAIVA, J. A. G. Ação do vento e nível de conforto em espaços urbanos. In: ENCONTRO DE PROFESSORES DE CONFORTO AMBIENTAL, 2.; / CICLO DE PALESTRAS DE CONFORTO AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, 2., 1994, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 1994. p. 23-31.

WONG, N. H.; CHEN, Y. **Tropical urban heat islands**: climate, buildings and greenery. London; New York: Taylor & Francis, 2009. 259 p.

WU, X.; ZOU, X.; ZHANG, C.; WANG, R.; ZHAO, J.; ZHANG, J. The effect of wind barriers on airflow in a wind tunnel. **Journal of Arid Environments**, Beijing, v. 97, p. 73-83, Oct. 2013.

ZANLORENZI, H. C. P. **Áreas verdes e conforto térmico**: o papel da vegetação no controle dos ventos. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

ZANLORENZI, H. C. P.; SILVA FILHO D. F. O papel da vegetação no controle dos ventos para o conforto térmico. **Revista Labverde**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 74-94, mar. 2018.