

## ANÁLISE DO FLUXO DE VENTO E SEU PAPEL NA DISPERSÃO DE POLUENTES EM PRESIDENTE PRUDENTE - SP

*Analysis of wind flow and its role in dispersion of pollutants in Presidente Prudente - SP*

**Larissa Piffer Dorigon\***  
**Renata dos Santos Cardoso\***

**\*Universidade Estadual Paulista - Unesp**

**Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus de Presidente Prudente**

Rua Roberto Simonsen, 305 – Jardim das Rosas – Presidente Prudente, São Paulo, Brasil – CEP 19060-900

laridorigon@hotmail.com

renatacardoso16@gmail.com

### RESUMO

As cidades são consideradas o lugar onde ocorre maior interação entre o homem e a natureza, e constituem a maior transformação da paisagem natural, apresentando diferentes formas de poluição do ar, água, solo e subsolo, incluindo modificações na forma e na estrutura do ambiente urbano. No que se refere à poluição do ar, seu efeito interfere diretamente na qualidade ambiental e afetam principalmente a saúde da população. Desse modo, o conhecimento dos padrões de velocidade e direção do vento no *canyon* urbano é fundamental para a estimativa do processo de dispersão de poluentes, uma vez que este é influenciado pela presença de edifícios, vegetação e outras características do ambiente urbano. Sendo assim, esse estudo teve como objetivo analisar o fluxo de vento em Presidente Prudente e o seu papel na dispersão de poluentes. Os resultados possibilitaram constatar que a forma urbana, associada à dinâmica térmica no interior do *canyon*, foi capaz de produzir maiores turbulências no fluxo de vento durante o dia, o que constitui um aspecto favorável na dispersão dos poluentes. No período noturno, com baixa turbulência do ar, a avenida estudada apresentou alto potencial de acumulação de poluentes, devido ao fato de estar situada ao longo da trajetória dos ventos predominantes e condutores da poluição emitida pelos veículos automotores.

**Palavras-chave:** Clima urbano. Velocidade do vento. Direção do vento. Dispersão de poluentes. Presidente Prudente-SP.

### ABSTRACT

Cities are claimed to be the place where most interaction occurs among human beings and nature. They constitute the greatest transformation of the natural landscape, presenting different forms of air, water, soil and subsoil pollution, including changes in morphology and structure of the urban environment. With regard to air pollution, it is a major environmental problem that directly affects the population health. Thus, knowing the model of wind speed and direction in urban canyons is essential for estimating the dispersion of pollutants, since this process is influenced by buildings, vegetation and other characteristics of the urban environment. Therefore, this study aimed to analyze the wind flow in Presidente Prudente and its role in dispersion of pollutants. It was possible to see that the urban form, associated with the thermal dynamics within the canyon, was able to produce greater turbulence in the wind flow during the day, which is a positive aspect in dispersion of pollutants. At nighttime, with low turbulence airflow, the avenue showed high potential to accumulate pollutants due to the coincident alignment with the prevailing winds, which can transport the pollution emitted by motor vehicles.

**Keywords:** Urban climate. Wind speed. Wind direction. Dispersion of pollutants. Presidente Prudente-SP.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, o processo de urbanização mundial se expandiu de forma significativamente acelerada e como expõe Sant'Anna Neto (2002, p. 9), “[...] esse intenso processo de urbanização que a sociedade moderna tem experimentado desde o final da Revolução Industrial, pode ser considerado, como um dos mais impressionantes fenômenos da história de nosso planeta”.

Atualmente 84% (IBGE, 2010) da população brasileira habitam em áreas urbanas e os problemas ambientais urbanos são, em sua grande maioria, resultantes das transformações e intervenções antrópicas, revelando assim, a conturbada e conflituosa relação entre o homem e a natureza.

Neste sentido, a cidade é o local onde mais se percebe as mudanças climáticas devido à interferência da estrutura urbana nas trocas de energia entre a superfície e a atmosfera. Por este motivo, o clima urbano tem ganhado espaço relevante em discussões sobre mudanças climáticas na escala local, já que a maioria das cidades tem se expandido desordenadamente sem se preocupar com os componentes ambientais, especialmente os climáticos.

Com a expansão das cidades, modifica-se substancialmente a paisagem natural. A grande concentração de áreas construídas, parques industriais, adensamento populacional, pavimentação asfáltica, associados à concentração de poluentes, criam condições para alterar o comportamento da baixa troposfera (camada limite), em ambientes urbanos (LOMBARDO, 1985, p. 23).

Considerando o efeito que as áreas urbanas exercem sobre o clima local, Ayoade (1986, p. 286) afirma que, “com o aumento populacional e o aumento das capacidades tecnológicas/científicas da humanidade, percebeu-se que o homem pode influenciar e de fato tem influenciado o clima, apesar dessa ação ser feita principalmente numa escala local”.

Nas cidades, ambiente socialmente construído, o ser humano é o principal agente de influência no meio físico. As atividades socioeconômicas por ele realizadas, somadas às construções (praças, edifícios, áreas industriais, residenciais etc.), funcionam como fatores na formação do clima urbano, pois alteram a paisagem natural e provocam profundas mudanças no balanço de energia precedente, resultando na variação dos elementos climáticos locais.

Dentre as modificações climáticas relacionadas diretamente à urbanização, a tendência ao aumento da poluição atmosférica em relação ao entorno e ao passado é considerada uma das mais facilmente percebidas. Como os efeitos da poluição do ar interferem na qualidade ambiental urbana e recai principalmente sobre a saúde da população, o conhecimento dos padrões de velocidade e direção do vento no *canyon* urbano é fundamental para a estimativa do processo de dispersão de poluentes, uma vez que este é influenciado pela presença de edifícios, vegetação e outras características do ambiente urbano (AZEVEDO, 2005).

O fluxo de ar dentro de um *canyon* de rua é dominado pela aerodinâmica, efeitos térmicos ou outros, como as influências de tráfego. Além da emissão de poluentes para a atmosfera, os veículos automotores promovem o transporte de material particulado. Isso porque cada automóvel é capaz de movimentar ao longo de seu trajeto, um volume centenas de milhares de vezes maior do que o próprio, e, dada a pequena distância em relação à superfície e a velocidade relativamente elevada, vai suspendendo todo o material fino e solto que estiver em seu caminho (AZEVEDO, 2005).

Todavia, não somente as características construtivas e as atividades antrópicas nas cidades, mas também os fenômenos atmosféricos de escala regional interferem no fluxo de vento intraurbano e, conseqüentemente, nos processos de transporte e dispersão de poluentes.

Os períodos de ventilação preferencialmente orientada são mais propícios ao transporte dos poluentes para fora da cidade. Os períodos de maior atividade

convectiva podem resultar em redução da concentração por misturá-los em volumes maiores, mesmo que a quantidade total de poluentes aumente (AZEVEDO, 2005, p. 1351).

Sendo assim, destaca-se a importância do estudo desses fatores (construtivos, antrópicos e naturais) para aprimorar o conhecimento dos mecanismos que direcionam o transporte e a dispersão de poluentes atmosféricos nas vias de circulação das cidades.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi realizar uma análise preliminar sobre o padrão do fluxo de vento em um trecho de uma avenida movimentada em Presidente Prudente-SP e, através da elaboração de isopleias com dados de velocidade e direção do vento, visualizar os pontos de convergência, divergência e transporte de poluentes.

## 2 O CLIMA DAS CIDADES E A DISPERSÃO DE POLUENTES

Considerando-se o desenvolvimento técnico das cidades e também com o entendimento de que o meio urbano, atualmente, é o centro de vivência da grande maioria da população mundial e todas as relações nele existentes, a cidade tornou-se a expressão maior da ação antrópica, ou seja, a maior demonstração de construção social, “[...] seja pela implosão demográfica, seja pela explosão das atividades, os espaços urbanos passaram a assumir a responsabilidade do impacto máximo da atuação humana sobre a organização na superfície terrestre e na deterioração do ambiente” (MONTEIRO, 1976, p. 54).

Atualmente o crescimento urbano é regido pelo avanço tecnológico e pelas mudanças ocorridas nos setores de produção. Muitas são as tecnologias empregadas, alterando o padrão de produção e da divisão social do trabalho, sendo que as pessoas são obrigadas a seguir a lógica do capital e assim, os diferentes usos e ocupações dos solos dentro da cidade vão surgindo de acordo com os diferentes modos de agir sobre o território.

Segundo Santos (1996), o homem, nas cidades, é capaz de atuar em sua plenitude, transformando a natureza em prol das suas necessidades, e por isso, a cidade, como afirma Sant’Anna Neto (2002), é a grande expressão geográfica da atualidade e sua importância espacial, demográfica e econômica vem aumentando em progressão geométrica.

Ainda de acordo com Santos (1996), o desenvolvimento do processo de urbanização gera importantes repercussões para o ambiente, sendo uma delas a criação de um “meio geográfico artificial” para cada local específico, no qual, na grande maioria dos casos, se desenvolve de maneira imprópria e inadequada a vida e as condições ambientais.

Fatores como a retirada da vegetação original, impermeabilização do solo, canalização de córregos, alterações do relevo, concentração de edificações, aumento da circulação de pessoas e veículos, além do lançamento de partículas e gases poluentes na atmosfera, geram mudanças no comportamento da atmosfera sobre a cidade. Alguns dos efeitos mais expressivos dessa relação entre a atmosfera local e o espaço terrestre urbanizado são citados por Ayoade (1986, p. 300):

Nas áreas urbanas, altera-se a composição química da atmosfera. As propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, assim como seus parâmetros aerodinâmicos são modificados pelos processos de urbanização e industrialização. [...] as superfícies naturais são substituídas por superfícies pavimentadas, ruas e telhados de prédios. Como resultado, a radiação em ondas longas e a de ondas curtas são reduzidas sobre as áreas urbanas. As temperaturas elevam-se, mesmo quando diminui a duração da insolação. A umidade é reduzida, mas há um certo aumento na precipitação e também na quantidade de nebulosidade [...]. Os ventos fortes são desacelerados e os ventos fracos são acelerados à medida que se movimentam nas áreas urbanas.

Dessa forma, na busca de construir, ou melhor, edificar um ambiente para si, através da instalação de objetos técnicos para responder a necessidades fundamentais, como alimentar-se, residir, deslocar-se, ou seja, rodear-se de objetos úteis (SANTOS, 1996), o homem modifica o equilíbrio entre a superfície e a atmosfera, afetando assim, o funcionamento dos componentes climáticos e criando condições específicas definidas como clima urbano.

Os estudos relacionados à temática da climatologia urbana vêm crescendo nos últimos tempos, visto que a preocupação com o entendimento da relação entre a natureza e a sociedade, que afeta diretamente a qualidade de vida da população e a qualidade ambiental, desperta grande interesse em estudiosos e pesquisadores.

No Brasil as discussões sobre clima urbano iniciaram-se com Monteiro (1976), quando a sua preocupação com a qualidade ambiental e a ação antrópica negativa sobre o ambiente climático, fizeram com que ele criasse uma nova abordagem metodológica para os estudos de clima urbano, gerando assim, a sua obra Teoria e Clima Urbano.

Considerando o clima das cidades a partir de uma visão integrada entre o homem e a natureza convivendo sob uma mesma atmosfera, e baseado na Teoria Geral dos Sistemas, Monteiro desenvolveu o método que intitulou de Sistema Clima Urbano (S.C.U.).

“A estrutura interna do S.C.U. não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica, ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas” (MONTEIRO, 1976, p. 99).

A proposta de Monteiro é de uma abordagem mediante os canais de percepção humana, que considera a possibilidade de unir os elementos climáticos em conjuntos de maiores afinidades e interação, entretanto, sem nunca dissociá-los uns dos outros em suas dinâmicas. E os canais de percepção são o canal do conforto térmico (Subsistema Termodinâmico), o canal da qualidade do ar (Subsistema Físico-Químico) e o canal do impacto meteórico (Subsistema Hidromecânico).

Assim constituídos, esses canais podem atravessar toda a organização desde o nível insumidor, pelo transformador ao produtor; possibilitam a orientação no sentido contrário, como é o caso do Canal II; procuram definir, através do nível de resolução de fenômenos climáticos, os subsistemas fundamentais ao Sistema Clima Urbano; deixam margem à avaliação de suas transformações em sua passagem pelo interior da estrutura interna do sistema; possibilitam, por fim, a avaliação das relações entre o núcleo e o ambiente do sistema (MONTEIRO, 1976, p.125).

Especificamente sobre a poluição atmosférica, Monteiro (1976) discute-a no segundo canal, denominado de Qualidade do ar. Essa discussão é pautada nos aspectos físico-químicos do ar urbano e destaca a delicada questão da qualidade do ar de um ambiente de cidade. O autor entende esse canal como sendo uma responsabilidade humana.

Um importante ponto a ser destacado dentro desta abordagem é como se procede a dispersão de poluentes diante do atual quadro das cidades brasileiras, locais em que o trânsito intenso de veículos é rotineiro e também onde estruturas urbanas verticais adensadas são comumente avistadas. Monteiro (1976) ainda ressalta que a compreensão da estrutura térmica e da ventilação dentro de uma cidade, são fatores indispensáveis para que se entenda a difusão da poluição do ar.

Oliveira (1988) afirma que a densidade de massa edificada e a altura das edificações têm relações diretas com a velocidade e a direção dos ventos dentro das áreas urbanas. Quanto mais próximos os elementos da massa edificada, maiores também são os obstáculos à penetração dos ventos; o turbilhonamento dos ventos se torna maior ao passo que também se elevam os contrastes entre as alturas das edificações e, a maior velocidade dos ventos é encontrada nas áreas que a massa edificação é mais alta.

Sendo assim, entende-se que a dispersão de poluentes atmosféricos está intrinsecamente relacionada com a direção e velocidade dos ventos, sendo as duas, resposta à atual forma e estrutura

da urbanização de cada local. Portanto, o vento constitui um elemento muito importante do clima urbano e a sua ação pode influenciar as condições climáticas e também a dispersão ou concentração de poluentes nos ambientes urbanos.

### 3 CARACTERÍSTICAS DA CIDADE ESTUDADA

O município de Presidente Prudente está situado no extremo oeste do Estado de São Paulo, à 22° 07' 44" de latitude sul, e 51° 22' 57" de longitude oeste, com população de 207.625 habitantes (IBGE, 2010) e é sede da 10ª região administrativa do Estado de São Paulo (Figura 1).

Localizado no planalto ocidental, com altitude média de 472m acima do nível do mar, constitui-se essencialmente por rochas do grupo Bauru e seu relevo é formado basicamente por colinas médias, amplas, morrotes alongados e espigões.

**Figura 1** – Mapa de localização de Presidente Prudente no Estado de São Paulo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Historicamente, Presidente Prudente começou a ser colonizada no início do século XIX. Entretanto, foi com o advento da produção cafeeira e a expansão da ferrovia para a região, que a expansão urbana ganhou destaque, abrindo possibilidades para a penetração na área, colonização de loteamentos, ocupação e aproveitamento do solo (BOIN, 2000).

De acordo com Abreu (1972, p. 158), “nascida em função da colonização agrícola que se desenvolveu a sua volta, a cidade de Presidente Prudente desempenhou desde cedo, o papel de mercado abastecedor e receptor da produção agrícola de sua vizinhança”.

Atualmente a cidade exerce um papel de polo regional, sendo a capital do Oeste Paulista, “em matéria de prestação de serviços, desde os primeiros anos da década de vinte, Presidente

Prudente estava em melhores condições do que qualquer outra localidade da Alta Sorocabana. Dentro do município, era o núcleo urbano mais desenvolvido” (ABREU, 1972, p. 177).

Quanto ao perfil da área urbana de Presidente Prudente, este apresenta grande diversidade de ocupação do solo, pois os bairros mais antigos são densamente construídos e com significativa cobertura vegetal arbórea nas calçadas e fundos de quintais.

Por outro lado, as áreas residenciais que surgiram nas últimas três décadas, que são a grande maioria, apresentam-se com edificações esparsas, com gramado e vegetação arbórea. Na mesma época foram construídos conjuntos habitacionais para atender às classes populares. Os lotes destinados à população de baixa renda eram menores e com materiais construtivos menos adequados ao clima tropical e ao conforto térmico e ambiental (paredes finas e telhados de fibrocimento ou asbestos), que armazenam muito calor e produzem inércia térmica (AMORIM, 2005).

Com relação ao contexto climático, Sant’Anna Neto e Tommaselli (2009, p. 9) afirmam que “conhecer as características do clima local e as combinações dos tipos de tempo que atuam na cidade é fundamental para o planejamento urbano e para a utilização dos recursos provenientes da atmosfera em proveito das ações pela sociedade”.

Nesse sentido, destaca-se que Presidente Prudente localiza-se sob um regime de clima tropical, numa área de transição climática, sofrendo a atuação da maioria dos sistemas atmosféricos presentes na América do Sul. Enquanto os sistemas tropicais lhe conferem elevadas temperaturas de primavera e verão, os sistemas extratropicais ocasionam episódios de invasão das frentes frias e do ar polar no outono e inverno, provocando baixas temperaturas (SANT’ANNA NETO; TOMMASELLI, 2009).

A sazonalidade climática da cidade pode ser resumida a um período quente e chuvoso entre outubro e março e, outro mais ameno e seco, entre abril e setembro, quando as temperaturas caem com a entrada das massas polares. As chuvas na região são mais irregulares do que a temperatura, pois a precipitação é determinada por fatores relacionados à circulação atmosférica, ou seja, à chegada de massas de ar e sistemas frontais, e à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

### 3.1 Características dos pontos de medição de dados

Devido à pequena área de estudo, não há uma grande diferenciação do uso e cobertura da superfície, sendo que a característica mais relevante é o predomínio de prédios comerciais na Avenida Manoel Goulart. Verificaram-se poucos terrenos baldios, ou seja, majoritariamente os lotes são ocupados, e no que se refere ao uso, a área de estudo destina-se basicamente ao residencial e comercial.

A Avenida Manoel Goulart localiza-se no divisor de águas da colina da área de estudo e destina-se primordialmente ao uso comercial. As construções desta avenida, no recorte selecionado, são predominantemente térreas ou prédios de dois pavimentos, e a vegetação arbórea é muito restrita, sendo identificadas poucas árvores dispersas nas calçadas, no interior de alguns terrenos e no canteiro central. Vale ressaltar o intenso tráfego de automóveis e pessoas, principalmente durante o período comercial. Os demais quarteirões de estudo são destinados principalmente ao uso residencial, com o predomínio de construções térreas. As duas ruas paralelas à Avenida Manoel Goulart, Rua Barão do Rio Branco e Rua Bella, estão localizadas nas vertentes da colina e possuem construções essencialmente térreas ou com dois andares. A vegetação arbórea destes pontos de medição é consideravelmente maior quando comparada à avenida anterior, porém, mesmo sendo árvores de grande porte, ainda encontram-se dispersas nas calçadas.

Especificamente na Rua Bella, notou-se a presença de terrenos sem construções, diferentemente da Rua Barão do Rio Branco, onde todos os lotes estavam ocupados. No entanto,

foram poucos estes terrenos desocupados, concentrados principalmente entre o segundo e terceiro quarteirão de estudo.

As duas ruas perpendiculares à Avenida Manoel Goulart, Rua Prof. Hugo Miele e Rua Maria Aparecida, seguem o mesmo padrão de construções das citadas anteriormente, com uso residencial e predomínio de casas térreas ou com dois pavimentos. Na Rua Prof. Hugo Miele foram encontrados mais terrenos desocupados, sendo que estes estavam dispersos ao longo de toda a rua. A vegetação arbórea destas apresentou-se em pequena quantidade e esparsa.

#### 4 MATERIAIS E MÉTODO

De acordo com Nakamura e Oke (1988), o estudo dos elementos climáticos nos *canyons* urbanos é um aspecto importante da climatologia urbana, visto que estes constituem uma das unidades fundamentais que compõem a camada de cobertura urbana. Sendo esta unidade o local por onde a população circula com maior frequência, conhecer os padrões do fluxo de vento é fundamental para garantia do conforto aos pedestres.

The airflow and thermal characteristics are of importance to the safety and comfort of pedestrians because of potential problems arising from wind buffeting, wind chill, heat stress, driving rain, blowing snow and sand, and high concentrations of pollutants (especially from vehicles). Further, the influence of *canyon* geometry on building heat losses, or the demand for cooling, is of direct relevance to energy conservation. Hence, knowledge of *canyon* climate in relation to *canyon* geometry and external meteorological forcing forms an essential input to urban street design (OKE, 1988 apud NAKAMURA; OKE, 1988, p. 2691).

Nesse contexto, buscou-se investigar o fluxo de vento, em um trecho de uma das principais e mais movimentadas avenidas de Presidente Prudente-SP, a Avenida Manoel Goulart, e o seu entorno próximo. Isso porque, apesar de ser uma avenida constituída principalmente por edifícios comerciais, as ruas adjacentes são residenciais em sua maioria, e os moradores dessa região podem ser afetados pela concentração de poluentes oriunda da alta circulação de automóveis na Avenida Manoel Goulart.

No desenvolvimento desse estudo, realizaram-se levantamentos bibliográficos a respeito dos temas abordados, sendo estes: climatologia urbana; dispersão de poluentes associada às características da circulação do vento dentro no ambiente urbano e gestão do meio ambiente, além de levantamentos referentes à área de estudo, possibilitando assim a sua caracterização.

A área de estudo foi delimitada através de trabalho de campo e com o auxílio de imagens de satélite obtidas junto ao Google Maps. A escolha de três quarteirões da Avenida Manuel Goulart, assim como duas ruas paralelas à avenida (Rua Barão do Rio Branco e Rua Bella) e mais duas perpendiculares à mesma (Rua Prof. Hugo Miele e Rua Maria Aparecida), deveu-se ao fato de que apresentam similaridades em relação ao tamanho e a forma das quadras (Figura 2).

Seguiu-se esse princípio a fim de evitar que características geométricas diferentes pudessem influenciar na interpolação dos dados, gerando movimentos mecânicos destoantes, associados com a forma urbana entre as quadras delimitadas.

A medição dos dados de direção e velocidade do vento foi realizada nas esquinas e no meio das quadras (Figura 3), utilizando-se um anemômetro digital portátil da marca *Incoterm*, modelo 7607.01.0.00, que mede a velocidade do vento em  $\text{kmh}^{-1}$ .

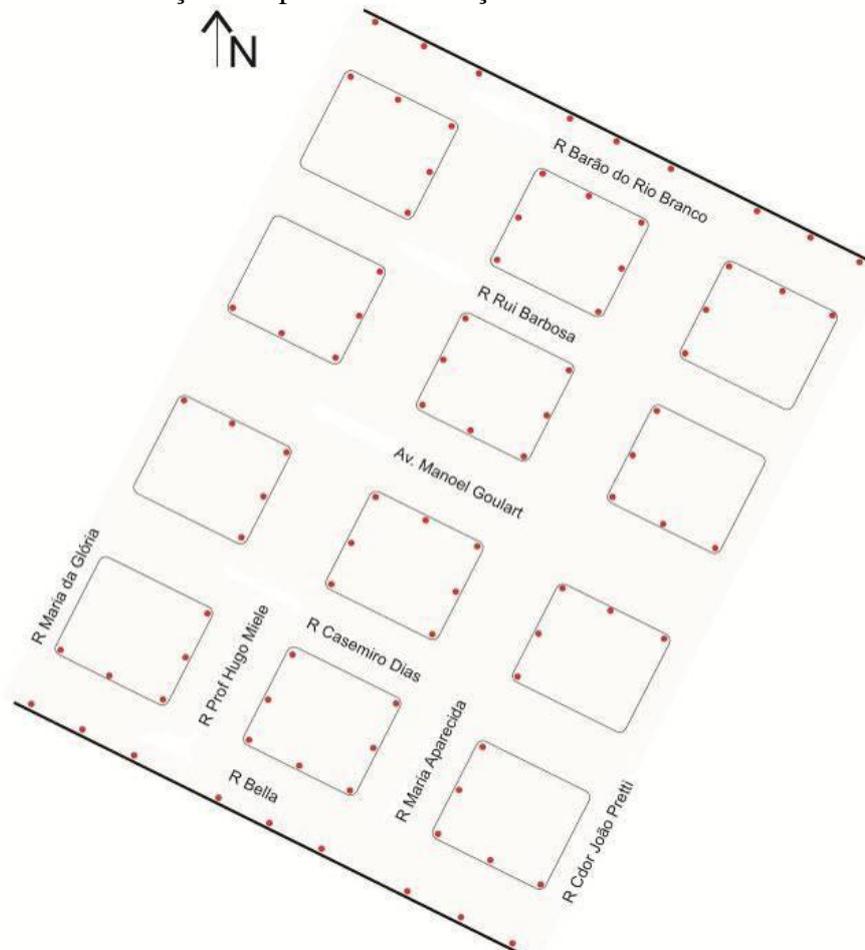
Foram realizadas medições no dia primeiro de novembro de 2011, durante três períodos do dia: das 8h e 25min às 9h e 50min (manhã); das 13h e 15min às 14h e 40min (tarde), horário representativo do período de máximo aquecimento, e das 19h às 20h e 30min (noite).

**Figura 2** – Localização da área de estudo: (1) Rua Barão do Rio Branco; (2) Avenida Manoel Goulart; (3) Rua Bella; (4) Rua Prof. Hugo Miele; (5) Rua Maria Aparecida.



**Fonte:** Google Maps. Imagens©2014CNES/Astrium, DigitalGlobe. Dados do mapa©2014 Google.  
**Org.:**Elaborado pelos autores.

**Figura 3** – Localização dos pontos de medição de dados destacados em vermelho.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Como pode ser observado na Figura 4, este dia apresentou céu aberto, sem a presença de nuvens na região de Presidente Prudente no dia da medição dos dados. Entretanto, devido à passagem de uma frente fria nos dias anteriores à medição, a velocidade do vento variou de  $7,5 \text{ kmh}^{-1}$  a  $16,2 \text{ kmh}^{-1}$ , demonstrando que o dia não estava sob condições de calmaria.

**Figura 4** – Imagens do Satélite GOES do dia 1 de novembro de 2011 às 9h, 13h e 19h.



Fonte: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 1 nov. 2011.

As medições foram feitas nos dois lados da Avenida Manoel Goulart e das ruas adjacentes, sempre ao mesmo tempo, contabilizando um total de 86 pontos de medição por período, visto que estas ocorreram nas esquinas e no meio de cada quarteirão. Após a obtenção dos dados, utilizou-se o aplicativo Excel para a tabulação das velocidades do vento.

A espacialização dos dados de velocidade do vento foi realizada através do software *Surfer for Windows*, com a elaboração de cartas de isopleias. Tais cartas permitiram a visualização dos locais de divergência e convergência do fluxo de vento e os possíveis pontos de concentração ou de dispersão de poluentes, uma vez que estes não foram mensurados e nem identificados, mas têm seu transporte influenciado pela dinâmica do vento.

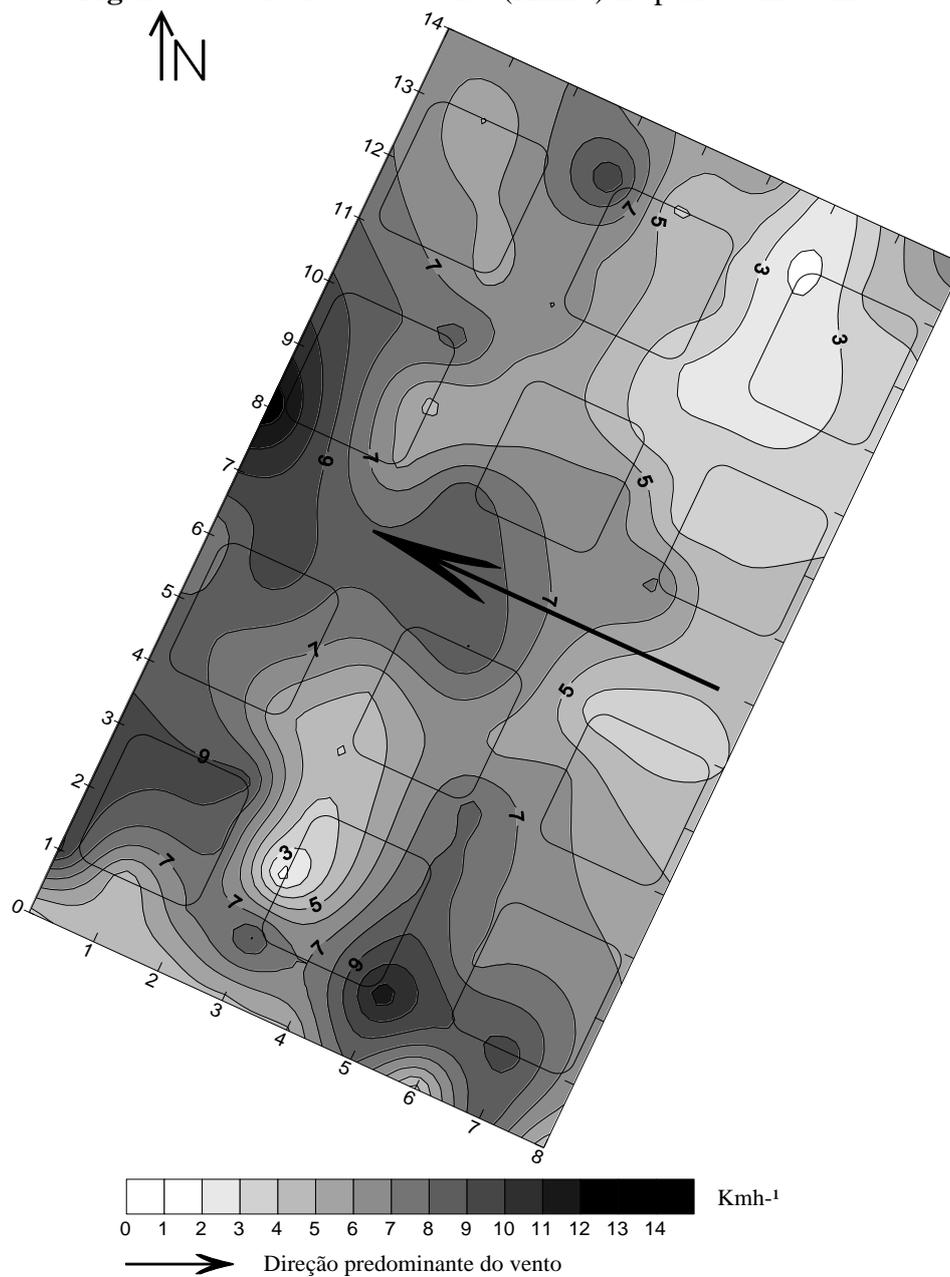
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme se observa nas Figuras 5, 6 e 7 optou-se em considerar apenas a direção preferencial do vento de acordo com os dados da estação meteorológica da FCT/UNESP (sudeste). Isso porque as direções identificadas ao longo da área de recorte da Avenida Manoel Goulart e as ruas paralelas foram coincidentes, ao passo que nas perpendiculares os vetores de direção apresentaram-se variados, portanto não estão representados nas cartas.

É importante ressaltar que o recorte espacial abrangeu apenas um *canyon* da cidade e, sendo este estudo uma análise preliminar da dinâmica do vento em um *canyon* urbano, ao tratar dos termos convergência e divergência, estará aqui analisada a variação de intensidade da velocidade do vento, e não necessariamente a análise de cálculos meteorológicos que pressupõem um estudo mais aprofundado na temática em questão.

Na Figura 5, foram interpolados os dados de velocidade do vento obtidos durante o período da manhã, cujo valor máximo foi de  $12,9 \text{ kmh}^{-1}$  e o mínimo de  $1,4 \text{ kmh}^{-1}$ . Notou-se que neste horário os ventos predominantes de sudeste coincidiam com o traçado da Avenida Manoel Goulart e das ruas paralelas, gerando assim um fluxo retilíneo ao longo desses corredores abertos.

Já nas ruas perpendiculares à avenida, foi possível observar a configuração de núcleos de turbulência, gerados pelo movimento mecânico do vento em contato com a maior rugosidade da forma urbana.

**Figura 5** – Velocidade do vento ( $\text{Kmh}^{-1}$ ) no período matutino.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Como estas medições foram realizadas no início do aquecimento matutino, a turbulência vertical ainda não estava sob influência da dinâmica térmica, portanto o movimento do ar era orientado através da trajetória que oferecia menor resistência.

No que diz respeito ao papel desempenhado pelo vento na dispersão de poluentes, pode-se dizer que as turbulências e os altos valores de velocidade do vento identificados nesse período são favoráveis à dissipação dos componentes químicos e das partículas sólidas em suspensão em baixas concentrações para o entorno da avenida.

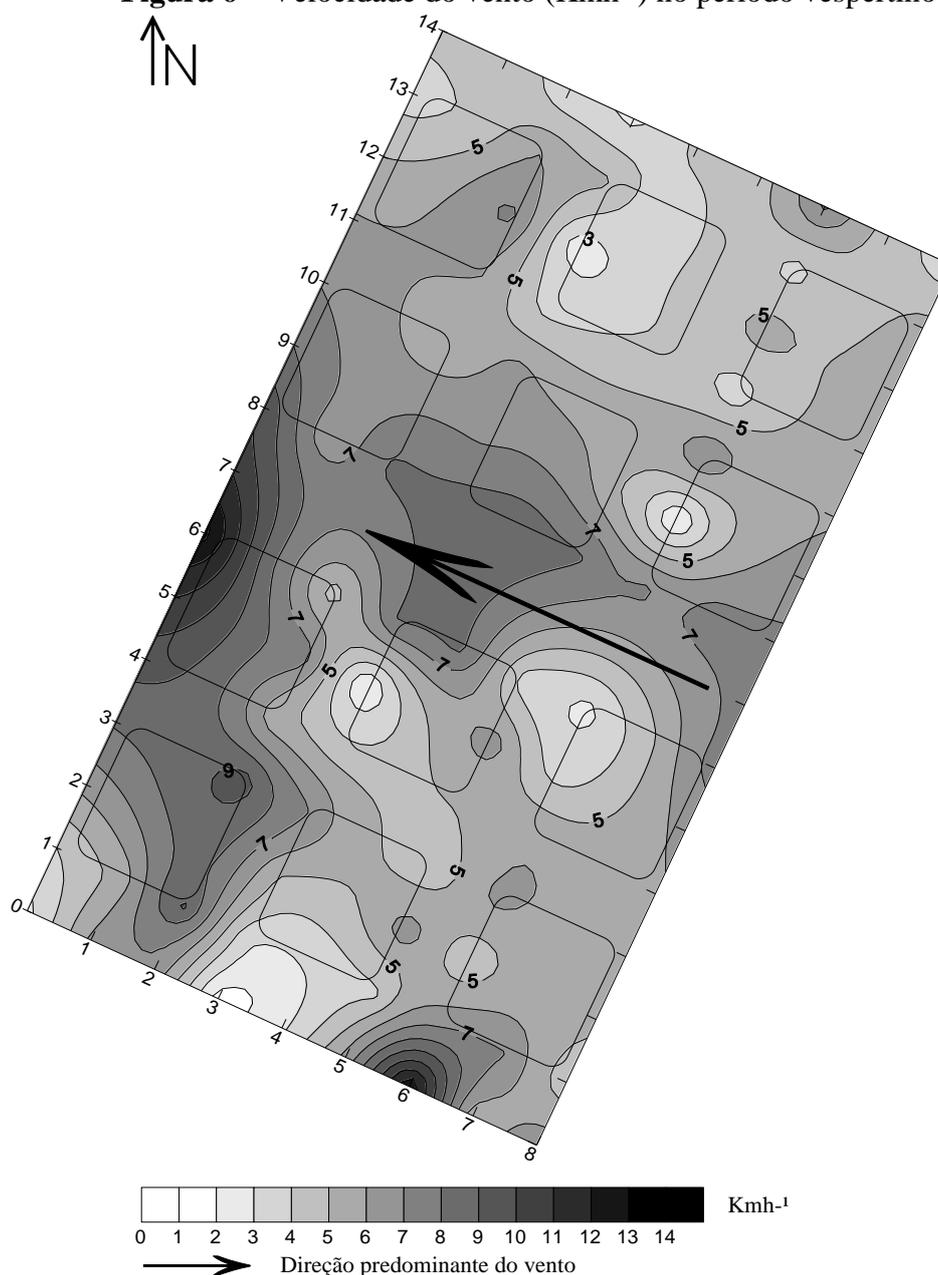
No período da tarde, registrou-se o máximo de  $13,4 \text{ kmh}^{-1}$  e o mínimo de  $1,5 \text{ kmh}^{-1}$  de velocidade do vento. Mesmo com a direção predominante do vento vindo de sudeste, verificou-se a presença de mais turbulências na área de estudo (Figura 6).

Por se tratar do período de maior aquecimento diurno, criou-se uma dinâmica turbulenta térmica, podendo ser observadas na carta maiores amplitudes de velocidade, caracterizadas por

manchas de diferentes intensidades. Associada a essa dinâmica térmica, tem-se ainda o fator forma urbana influenciando na presença de turbilhões.

Apesar de essa área de estudo ter sido escolhida por apresentar certa homogeneidade quanto à forma e tamanho das quadras, há uma diferença em relação à largura da avenida principal e as demais ruas paralelas e perpendiculares. Portanto, a mudança de um *canyon* de rua mais aberto para outros confinados produz maiores turbulências no fluxo do vento, fato este que pode contribuir para a dispersão dos poluentes atmosféricos.

**Figura 6** – Velocidade do vento ( $\text{Kmh}^{-1}$ ) no período vespertino.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

No período noturno verificaram-se os menores valores de velocidade do vento obtidos no dia, com o registro máximo de  $9,9 \text{ kmh}^{-1}$  e mínimo de  $0,6 \text{ kmh}^{-1}$ . Este foi o horário em que o resultado dos dados interpolados apresentou um padrão mais definido, com a canalização longitudinal do vento ao longo do trecho da Avenida Manoel Goulart (Figura 7).

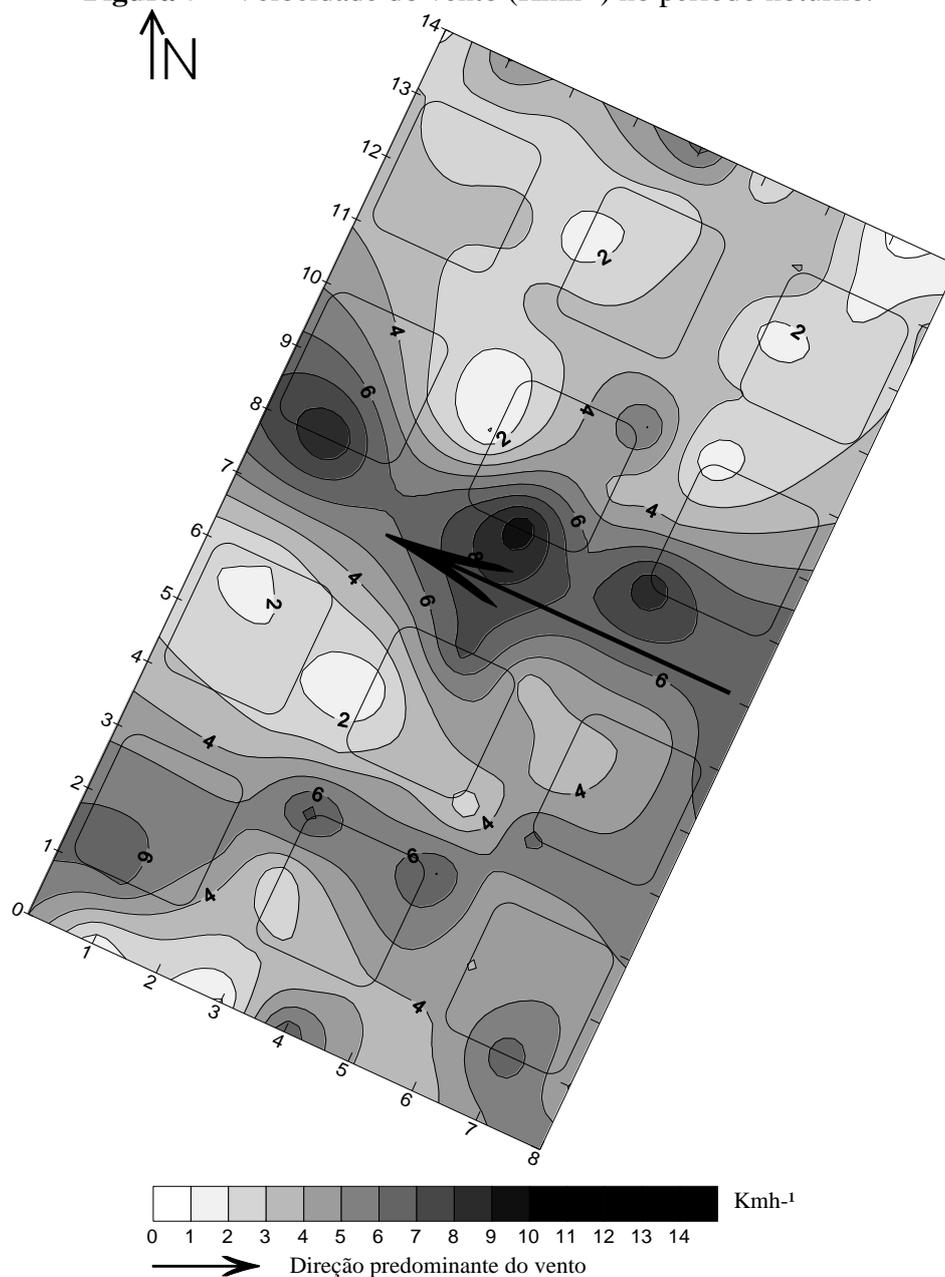
Este fato pode ser justificado pelo resfriamento da superfície, devido à ausência de incidência de radiação solar. Deste modo, as turbulências ocasionadas pela dinâmica térmica e os fluxos verticais foram reduzidos, ressaltando-se os movimentos horizontais.

Nessa situação, na qual os movimentos mecânicos são mais evidenciados e ocorre a diminuição dos turbilhões, o fluxo do vento segue a direção predominante e o caminho de menor rugosidade para que possa escoar sem muitas resistências.

Assim, diferentemente do identificado nos períodos anteriores, possivelmente o processo de dispersão de poluentes é interrompido e tem início o de transporte.

Como o fluxo de vento encontrou-se canalizado na avenida principal e seguiu a direção SE-NW, pode-se inferir que houve a tendência dos poluentes serem transportados ao longo dessa trajetória e se concentrarem a noroeste da mesma.

**Figura 7** – Velocidade do vento ( $\text{Kmh}^{-1}$ ) no período noturno.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cidades sofrem diversas alterações em função da ação antrópica, resultando num processo intenso de adensamento e verticalização que criam rugosidades na superfície e modificam as trocas de energia entre a superfície e a baixa troposfera (camada limite). Dentre as alterações que podem ser identificadas no ambiente urbano, as condições de ventilação e, conseqüentemente, a dispersão de poluentes, constituem-se variáveis fundamentais para a gestão do meio ambiente.

De acordo com Ayoade (1986), diversos fatores podem influenciar a dispersão dos poluentes na atmosfera urbana, no entanto, os mais significativos são a direção e a velocidade do vento e o perfil térmico vertical que determina condições de estabilidade ou instabilidade do ar.

Nesse sentido, a morfologia urbana tem papel expressivo na dissipação de poluentes, pois é determinante nos padrões dos fluxos de ar, visto que influencia na direção e velocidade dos ventos, diminuindo a velocidade média e provocando o aumento da turbulência.

Com base nesses pressupostos, a análise da circulação do ar em um trecho da Avenida Manoel Goulart e seu entorno revelou que a forma urbana, associada à dinâmica térmica no interior do *canyon*, foi capaz de produzir maiores turbulências no fluxo de vento durante o dia, o que constitui um aspecto favorável na dispersão dos poluentes. No entanto, ao anoitecer, a dinâmica térmica foi reduzida, pois não se tinha mais a incidência de raios solares, e os movimentos mecânicos também diminuíram sua intensidade. O vento predominante canalizou-se longitudinalmente na avenida, favorecendo, possivelmente, o processo de transporte de poluentes ao longo desta na direção SE-NW. Em síntese, pode-se perceber que as altas velocidades do vento favorecem a dispersão dos poluentes devido ao aumento da turbulência que se cria no *canyon* de rua. Além disso, notou-se que a diminuição dos turbilhões de vento pode colaborar com a sua movimentação direcional, resultando no possível transporte de poluentes por advecção de uma área urbana para outra.

Dessa forma, foi possível constatar que a Avenida Manoel Goulart apresenta alto potencial de acumulação de poluentes, devido ao fato de estar situada ao longo da trajetória dos ventos predominantes e condutores da poluição emitida pelos veículos automotores. Diante dessa situação, pode-se pensar em estratégias de gestão do meio ambiente para essa área, através do monitoramento dos níveis de concentração de poluentes atmosféricos como medida de prevenção da qualidade do ar.

## REFERÊNCIAS

ABREU, D. S. **Formação histórica de uma cidade pioneira paulista**. Presidente Prudente: Ed. da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 1972.

AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP. **Geosul**, Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986.

AZEVEDO, T. R. A frota de automóveis e o pó que São Paulo respira (particulado inalável no clima da cidade). In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. p. 1338-1354.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/1Y2UV>>. Acesso em: 2 ago. 2014.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. 1976. Tese (Livre Docência)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R. Wind, temperature and stability conditions in an E-W oriented urban Canyon. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 22, p. 2691-2700, 1988.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy Build**, [S.l], v. 11, p. 103-113, 1988.

OLIVEIRA, P. M. P. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Brasília, DF: Ed. da UnB, 1988.

SANT'ANNA NETO, J. L. (Org.). **Os climas das cidades brasileiras**. Presidente Prudente: [s.n.], 2002.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2009.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

**Data de submissão:** 07.10.2013

**Data de aceite:** 08.10.2014

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.