

# **O USO DO SOFTWARE WA<sup>SP</sup> - CARACTERIZAÇÃO DA RUGOSIDADE PARA A CIDADE DE CAMPINAS, SP/BRASIL**

**Alessandra R. Prata-Shimomura**

*Universidade Estadual de Campinas / Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo / Departamento de Arquitetura e Construção / LACAF – Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada. Av. Albert Einstein, 951 - Caixa Postal: 6021 - CEP: 13083-852 - Campinas - SP (19) 3521.2064 - arprata.shimo@gmail.com*

**Palavras Chave:** Software Wa<sup>s</sup>p, rugosidade, Campinas/SP.

**Resumo.** Este artigo apresenta o uso do software WA<sup>SP</sup> - *Wind Atlas Analysis and Application Program*, associado à análise de mapas climáticos urbanos em cidades. O software auxilia a estimar os perfis, em altura, e os campos de vento à superfície sobre uma dada rugosidade e/ou obstáculos. Neste momento será descrita a caracterização da rugosidade, adotada para a análise, que qualifica as áreas da cidade de Campinas/SP/Brasil. O uso do software Wasp é parte de uma pesquisa maior que observará a influência da ocupação urbana definida no macrozoneamento da cidade e os efeitos da permeabilidade do tecido urbano ao vento. Das variáveis climáticas, o vento será o foco principal desta pesquisa, possibilitando uma análise do seu comportamento (direção e velocidade), com as características construtivas da cidade (rugosidade). A análise, na escala de cidade, da aplicação de estudos voltados à ventilação urbana por macrozonas e a relação entre elas, é de fundamental importância para a proposição de recomendações para ordenamento das áreas da cidade. Este processo tem como base o Plano Diretor da cidade de Campinas, bem como os Planos Locais de Gestão - macrozoneamento. A necessidade de estudos aplicados ao planejamento urbano, voltados à variável vento para as regiões de clima tropical, é de fundamental importância para a verificação de aspectos relacionados a qualidade do ar e conforto ambiental.

**Keywords:** Software Wa<sup>s</sup>p, roughness, Campinas city/SP.

**Abstract.** This article presents the use of the WA<sup>SP</sup> - *Wind Atlas Analysis and Application Program* software, along with the analysis of urban climate maps in cities. The software aids in the estimation of profiles, in height, and the wind fields on the surface, over a given roughness and / or obstacles. At this time the characterization of the roughness will be described, adopted for the analysis which will qualify the areas in the city of Campinas / SP / Brazil. The use of the WA<sup>SP</sup> software is part of a larger research, which will observe the influence of urban occupation defined in the macro-zoning of the city and the effects of the permeability of the urban fabric to the wind. Of the climate variables, wind will be the main focus of this research, enabling and analysis of its behavior (direction and velocity), with the building characteristics of the city (roughness). The analysis, in the scale of the city, of the application of studies aimed at urban ventilation by macro-zones and their relationship, is of great importance to the proposition of recommendations for the organization of the areas of the city. This process is based on the city's master plan, as well as on the local management plans (macro-zoning). The necessity of studies applied to urban planning, aimed at the variable wind for the regions of tropical climate, is of great importance to the verification of aspects related to air quality and environmental comfort.

# 1 INTRODUÇÃO

Considerando que a qualidade dos espaços urbanos contribui para a qualidade de vida, conhecer as relações entre variáveis microclimáticas urbanas e as implicações para o conforto ambiental dos usuários, apresenta-se de suma importância. O conhecimento destas relações fornece instrumental para planejamento e projetos de grande escala, possibilitando melhor convívio das pessoas nos espaços urbanos.

O conteúdo deste artigo é parte integrante de uma pesquisa maior, em fase de desenvolvimento, que espera-se auxiliar no entendimento das variáveis envolvidas na dinâmica do processo de planejamento, a fim de apontar metodologia para a análise da questão ambiental nas cidades, quando o ordenamento territorial pressupõe áreas macrozoneadas; com foco na ventilação natural.

Por se tratar de um software que auxilia a estimar os perfis, em altura, e os campos de vento à superfície sobre uma dada rugosidade e/ou obstáculos; neste momento será descrita a caracterização da rugosidade adotada para a análise, que qualifica as áreas da cidade de Campinas/SP/Brasil.

# 2 ÁREA DE ESTUDO

O município de Campinas está situado a sudoeste do estado de São Paulo/Brasil, a 100 km da capital, nas coordenadas geográficas: Latitude S 22°53'20", Longitude O 47°04'40", ocupando um área total de 796,40 Km<sup>2</sup> (perímetro urbano 388,90 Km<sup>2</sup> e perímetro rural de 407,50 Km<sup>2</sup>) e altitude média de 680 metros. Campinas possui um clima tropical de altitude, com verão quente e úmido e inverno ameno e quase seco. O vento tem direção predominante no quadrante sul/leste.

O estudo para a aplicação do software WA<sup>S</sup>P se dará com base no macrozoneamento proposto no Plano Diretor da cidade. As macrozonas de planejamento surgiram em função da heterogeneidade das áreas do município de Campinas e foram definidas nove macrozonas, considerando-se para esta definição os aspectos físico-territoriais, socioeconômicos e ambientais (Figura 1).

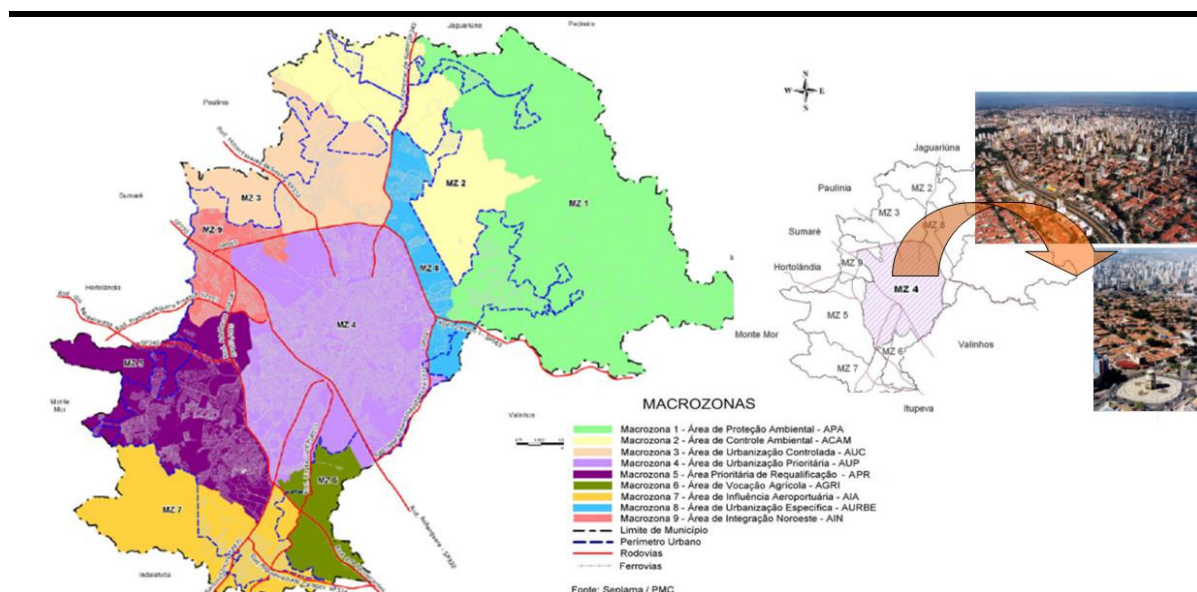


Figura 1: Macrozoneamento do Plano Diretor - Campinas/SP.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Software WA<sup>S</sup>P

O software WA<sup>S</sup>P (*Wind Atlas Analysis and Application Program* (MORTENSEN et al., 1993)), desenvolvido pelo *Wind Energy Department – Riso National Laboratory* da Dinamarca auxilia a estimar os perfis em altura e os campos de vento à superfície sobre uma dada rugosidade e/ou obstáculos.

A partir de uma série histórica de dados de vento (direção e velocidade), a aplicação do software WA<sup>S</sup>P executa a correção destes dados em uma nova série histórica que descreve o vento, gerando o Atlas de vento do local.

Como o software integra diversos modelos de cálculo e de extrapolações, verticais e horizontais, pode-se gerar atlas de vento com medidas feitas à superfície, a 10m. A geração do Atlas de vento compreende a aquisição de uma série de dados de vento, descrição do posicionamento da estação meteorológica (altura do anemômetro), tipo de rugosidade da superfície ao redor da estação e da rugosidade dos locais para os quais serão gerados os atlas de vento.

#### 3.2 Classes de rugosidade

Nas cidades as condições de instabilidade atmosférica, em decorrência das atividades e ocupações desenvolvidas, são alteradas e fazem com que o balanço energético seja modificado. A rugosidade é descrita por vários parâmetros aerodinâmicos. Quando se pensa em cidades, a complexa multiplicidade de volumetrias, formas e padrões urbanos, nos leva a utilizar valores pré-definidos testados e publicados, semelhantes a padrões urbanos similares a área de estudo.

Para a análise no software WA<sup>S</sup>P, para cada macrozona, são elaborados mapas de topografia e rugosidade específicos para a configuração urbana observada. A rugosidade está diretamente ligada com a área de bloqueio proporcionada pelos obstáculos. Para a análise do campo de vento o software WA<sup>S</sup>P, utiliza-se apenas do parâmetro  $z_0$ . A rugosidade ( $z_0$ ) está descrita na forma de um comprimento de rugosidade, definido como a altura em que a velocidade do vento é igual a zero. O parâmetro pode ser calculado para áreas complexas de acordo com as características geométricas. Existem várias referências que apresentam valores pré-definidos de rugosidade. Na **Tabela 1** observa-se a classificação definida por Grimmond e Oke (1999); para os valores típicos de  $z_0$  para áreas em meio urbano.

$z_0$ (m)	Característica das superfícies terrestres
>2.50	Áreas urbanas de grande densidade de construção, com vários andares
1.50 a 2.50	Áreas urbanas de grande densidade de construção, de edifícios com cerca de 5 andares
0.80 a 1.80	Áreas suburbanas residenciais de alta densidade
0.40 a 1.20	Áreas suburbanas residenciais de baixa densidade
0.20 a 0.60	Povoado desperto, aldeias, casas rurais, com árvores e arbustos

**Tabela 1:** Classificação de rugosidade para meio urbano – Grimmond e Oke.

Fonte: Lopes (2003).

Na **Tabela 2** observa-se a classificação descrita por *Davenport-Wiering* (WIERINGA, 1996), para áreas ocupadas com construções e áreas verdes; predominando este último tema.

Nº	nome	z0 (m)	Característica das superfícies terrestres
8	Caótico	≥2.00	Área central da cidade, grandes florestas com clareiras dispersas
7	Fechado	1.00	Área suburbana com edifícios baixos e espaçados, florestas em estado de maturidade, cobertura regular com obstáculos de grande dimensão intercalados
6	Muito rugoso	0.50	Área rural com cultivo misto, ou grupos de árvores e arbustos isolados, pomares e prédios dispersos
5	Rugoso	0.25	Área rural/cultivo com alturas variáveis, obstáculos dispersos
4	Pouco rugoso	0.10	Área rural/cultivo, obstáculos ocasionais (arbustos isolados)
3	Aberto	0.03	Terreno plano com grama ou vegetação baixa, poucos obstáculos, área aeroportuária
2	Relevo suave	0.005	Praias, áreas cobertas de neve
1	Mar	0.0002	Mar, oceano, áreas planas cobertas de neve, áreas planas de deserto

**Tabela 2:** Classificação de rugosidade para meio urbano – Grimmond e Oke.  
Fonte: Lopes (2003) e Wieringa (1996).



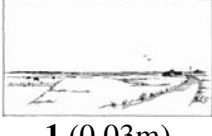
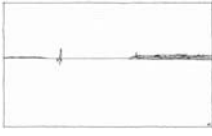
Quando há necessidade de definir com precisão a rugosidade de um dado local, pode-se adotar um algoritmo proposto por Lettau (1969) e apresentado por Lopes (2003) e Mortensen et al (1993):

$$z_0 = 0.5 * \frac{h * S}{A_H} \quad (1)$$

Na fórmula, **h** é a altura média dos edifícios considerados, **S** é a seção exposta e **A<sub>H</sub>** é a área disponível de cada elemento, onde se verifica uma relação da área exposta à direção do vento com a área disponível de cada elemento.

De acordo com Mortensen et al (1993) apud Lopes (2003) esta fórmula apresenta resultados de z0 coerentes quando a área disponível é maior que a área exposta, e sobrestima a rugosidade quando as duas áreas são idênticas. Este algoritmo assume uma porosidade igual a zero, em decorrência dos elementos rugosos presentes na cidade serem sólidos. Para localidades com características diversas (florestas, matas) deve-se acrescentar um fator de porosidade.

Na **Tabela 3** observa-se a classificação sugerida pelo *European Wind Atlas* (MORTENSEN et al, 1993) e adotada no software WA<sup>S</sup>P.

<b>z0 (m)</b>	<b>Característica das superfícies terrestres</b>	<b>Classe de rugosidade WA<sup>SP</sup></b>	<b>z0 WA<sup>SP</sup></b>
1.50		<b>4 (1.50m)</b>	1.50
>1.00	Florestas altas		>1.00
1.00	Cidade		1.00
0.80	Floresta		0.80
0.50	Subúrbios		0.50
0.40		 <b>3 (0.40m)</b>	0.40
0.30	Áreas com proteção arbustivas (cinturão verde)		0.30
0.20	Áreas com muitas árvores e bosques (exceto mata fechada/floresta de grande densidade)		0.20
0.10	Área rural com aspecto de mata fechada	 <b>2 (0.10m)</b>	0.10
0.05	Área rural com aspecto de mata mais aberta		0.05
0.03	Áreas rurais com poucos edifícios e árvores	 <b>1 (0.03m)</b>	0.03
0.02	Área aeroportuária com edifícios e árvores		0.02
0.01	Pistas de aeroportos e áreas gramadas		0.01
0.008	Solo livre com relevo plano		0.008
0.005	Superfície com terra sem vegetação		0.005
0.001	Superfície com neve		0.003
0.0003	Superfícies com areia		0.003
0.0002		 <b>0 (0.0002m)</b>	0.00
0.0001	Superfície com água (lagos, fiordes e mar aberto)		0.00

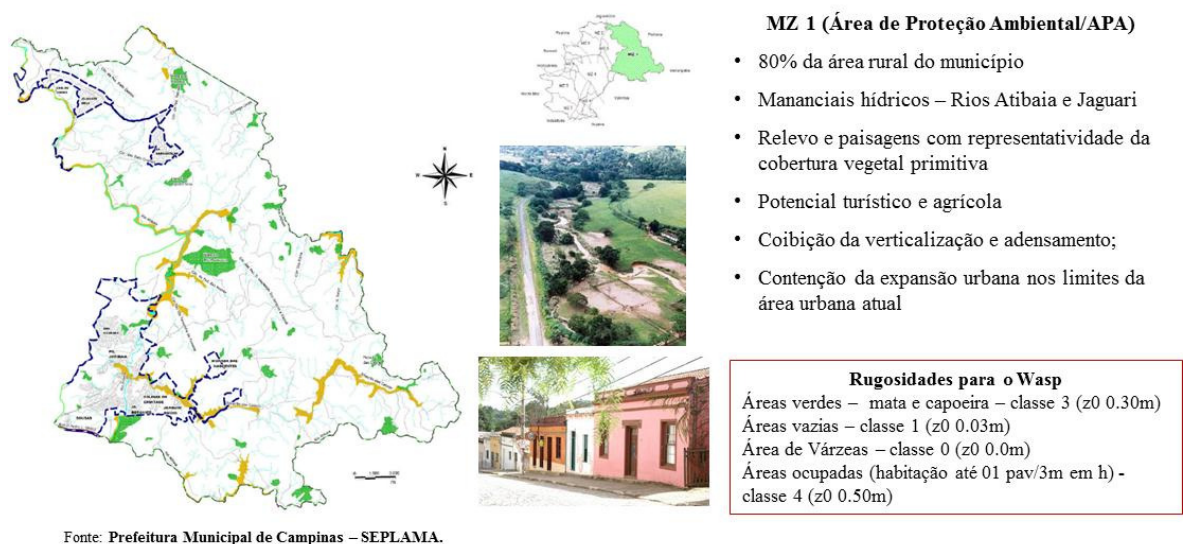
**Tabela 3:** Classificação de rugosidade - software WA<sup>SP</sup>.

Fonte: Mortensen et al (1993).

### 3.3 Classes de rugosidade – classificação para Campinas/SP

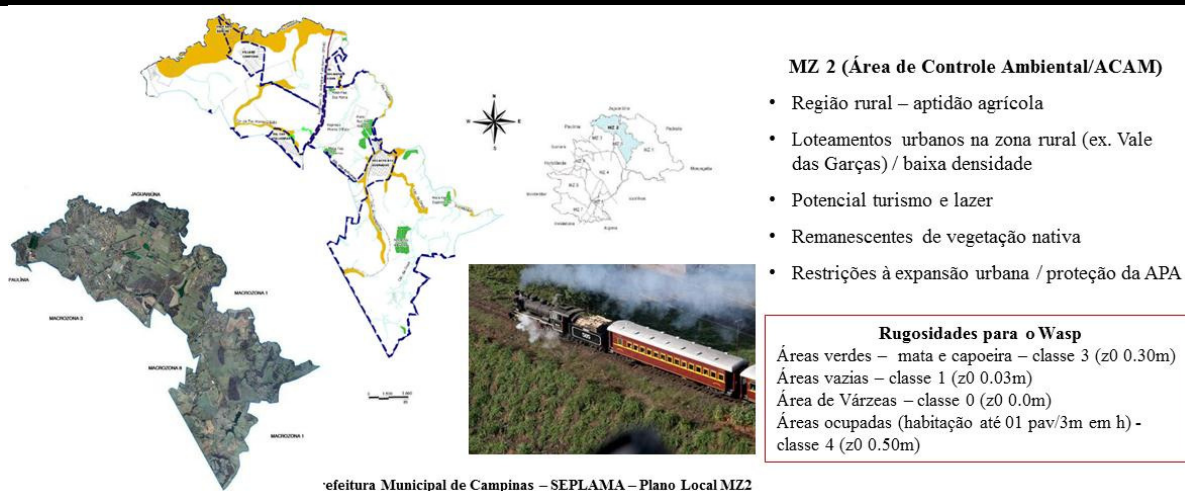
Para a cidade de Campinas, o zoneamento da cidade foi dividido em nove macrozonas: MZ 1 (Área de Proteção Ambiental/APA); MZ 2 (Área de Controle Ambiental/ACAM); MZ 3 (Área de Urbanização Controlada/AUC); MZ 4 (Área de Urbanização Prioritária/AUP); MZ 5 (Área Prioritária de Requalificação/APR); MZ 6 (Área de Vocação Agrícola/AGRI); MZ 7 (Área de Influência Aeroportuária/AIA); MZ 8 (Área de Urbanização Específica/AURBE) e MZ 9 (Área de Integração Noroeste/AIN). Cada macrozona possui características de ocupação distintas, em função de aspectos físicos do território, socioeconômicos e ambientais.

Desta forma, para cada macrozona, foram definidos valores de  $z_0$  e classes de rugosidade, a priori adotados para a aplicação do software  $WA^SP$ . Estes valores foram definidos com base na **Tabela 3 (Rugosidades para o  $WA^SP$  – na figura)**. Existem diferenças se adotássemos os valores atribuídos da **Tabela 2** para as características das superfícies terrestres “mais” edificadas.



**Figura 2:** MZ 1 - Área de Proteção Ambiental/APA e valores de rugosidade.

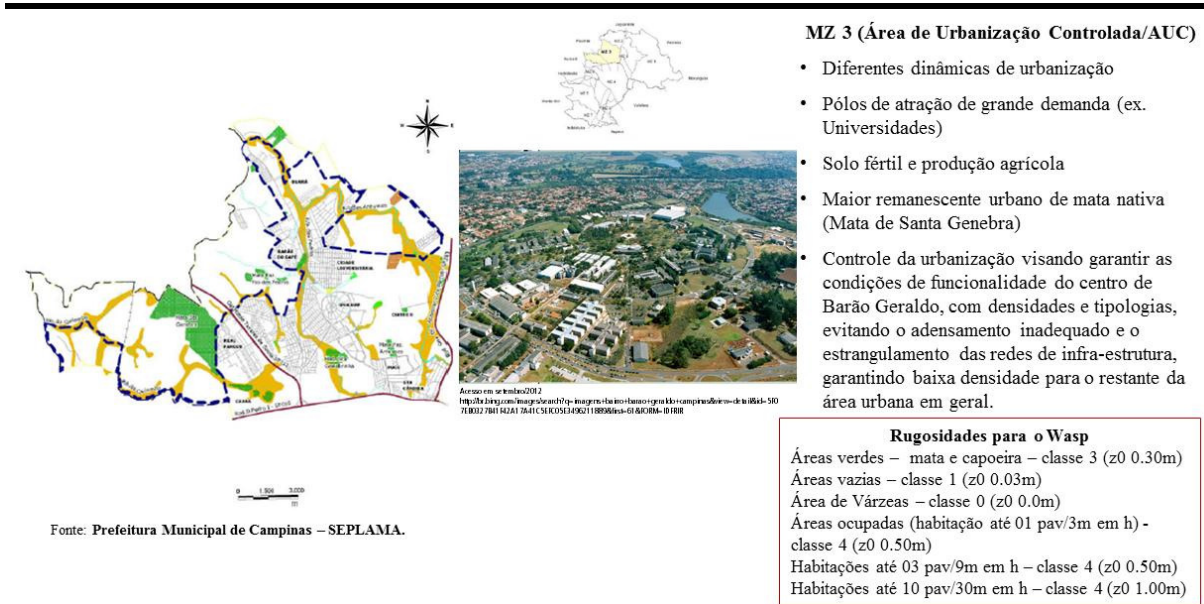
Para as macrozonas 1 e 2 (**Figura 2 e 3**) observando-se a **Tabela 3**, os valores adotados para as áreas ocupadas estariam entre 0.20 a 0.60m (casas rurais e áreas suburbanas residenciais de baixa densidade), valores estes compatíveis com os assumidos.



**Figura 3:** MZ 2 - Área de Controle Ambiental/ACAM e valores de rugosidade.

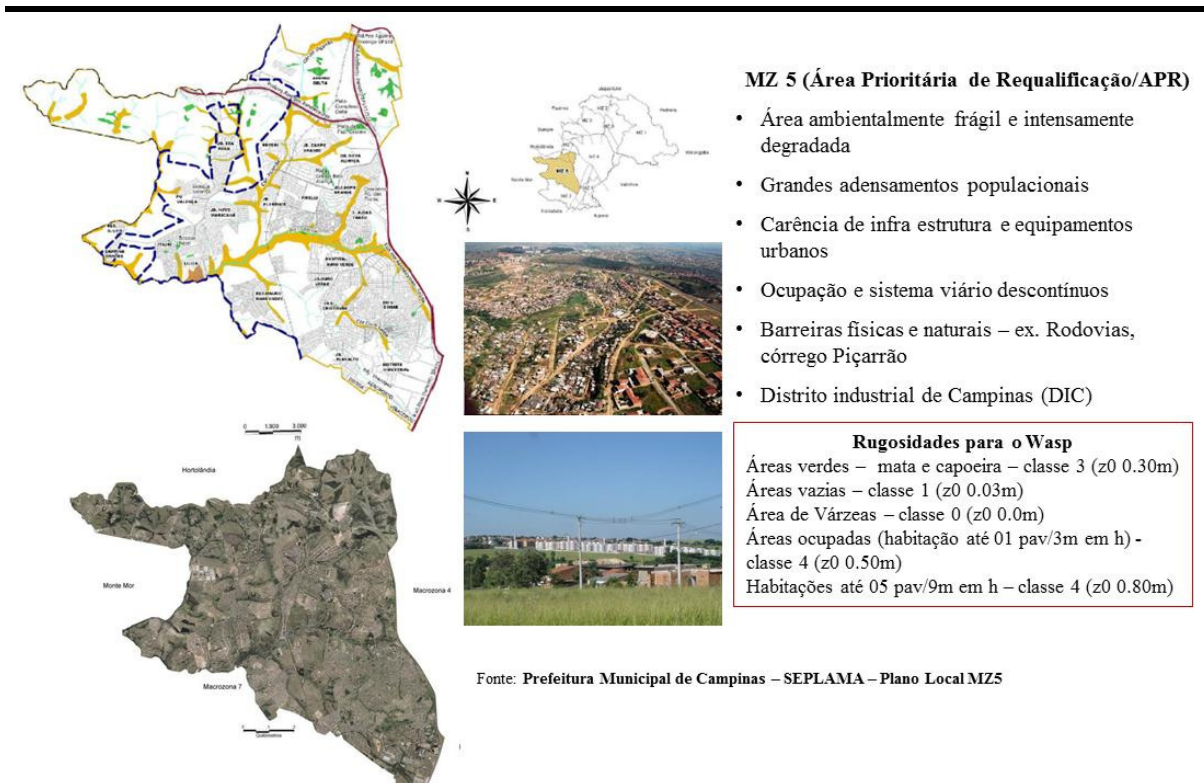
Na macrozona 3 (**Figura 4**) se adotássemos a **Tabela 4** para as áreas ocupadas até 01 pavimentos (pav.), utilizaríamos valores entre 0.40 a 1.20m; para as áreas ocupadas até 03 pav. os valores seriam de 1.50 a 2.50m. Já para habitações até 10 pav. valor acima de 2.50m.

Neste caso os valores para a aplicação do software WA<sup>SP</sup> estão bem abaixo destes valores para as habitações de 03 pav. e 10 pav.



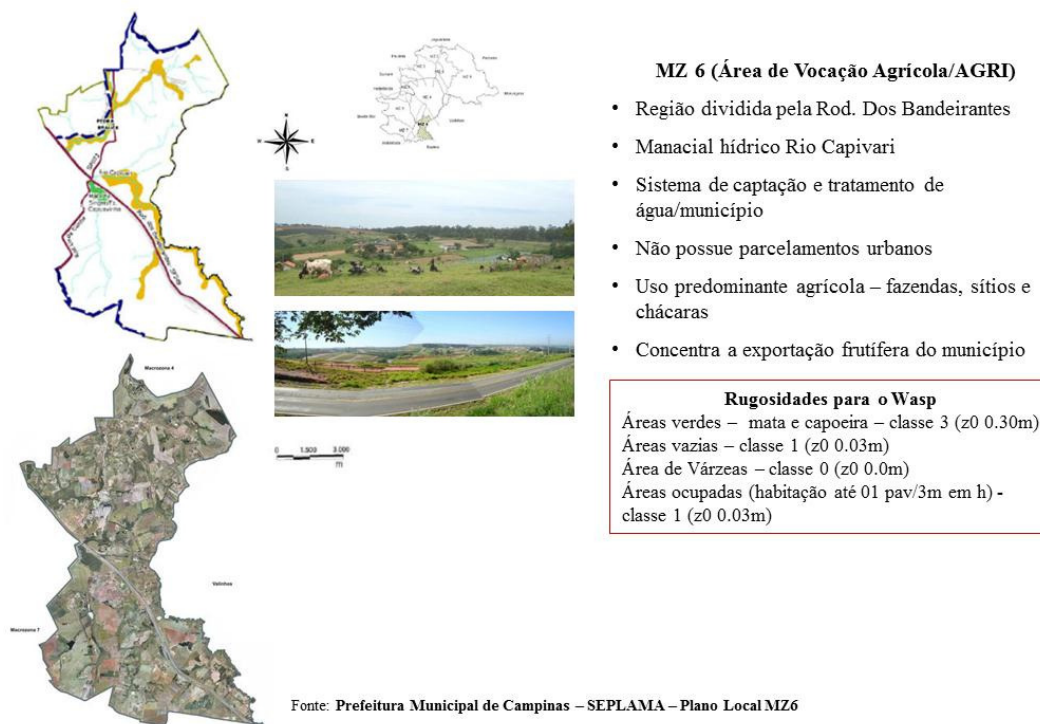
**Figura 4:** MZ 3 - Área de Urbanização Controlada/AUC e valores de rugosidade.

No caso da macrozona 5 (**Figura 5**) os valores correspondentes na **Tabela 5**, também estão acima do valor adotado para a simulação no WA<sup>SP</sup>.



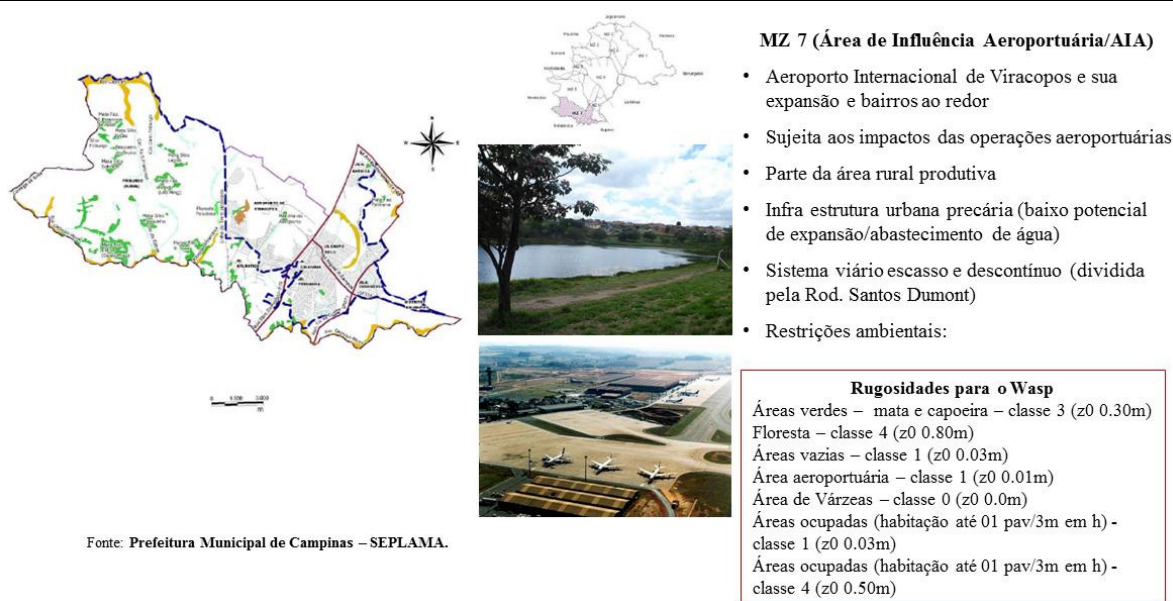
**Figura 5:** MZ 5 - Área Prioritária de Requalificação/APR e valores de rugosidade.

Na macrozona 6 (**Figura 6**) há predominância de áreas agrícolas, verdes e habitações em áreas rurais. Se utilizássemos os valores da **Tabela 6**, o  $z0$  estaria entre 0.20 a 0.60m; bem mais elevados que os adotados.



**Figura 6:** MZ 6 - Área de Vocação Agrícola/AGRI e valores de rugosidade.

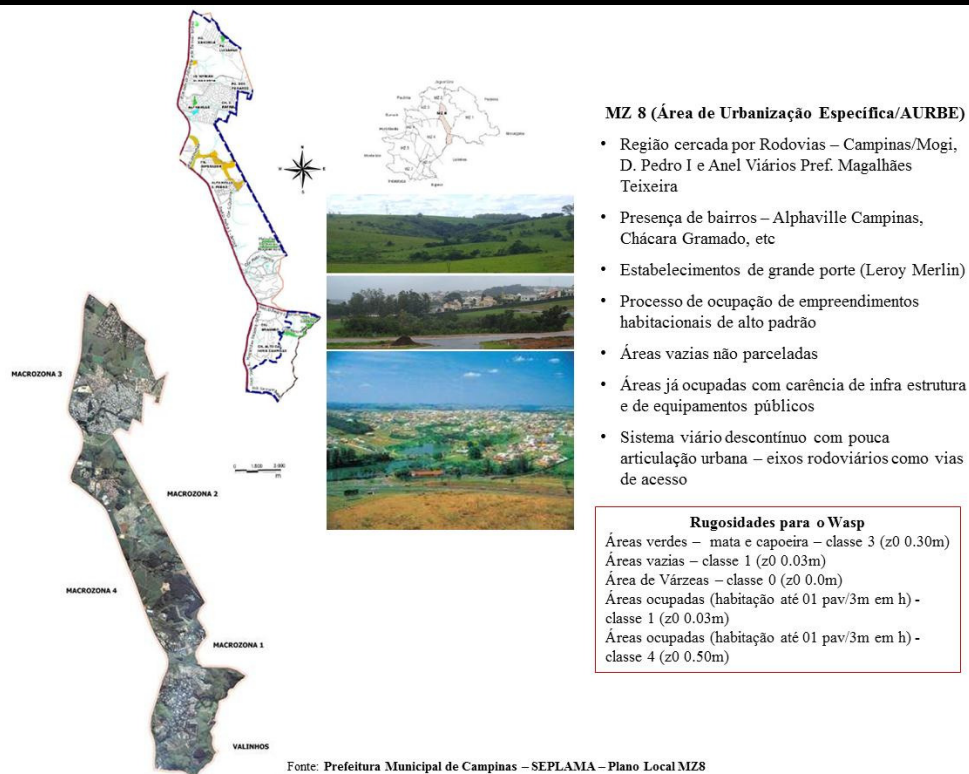
A macrozona 7 (**Figura 7**), quanto a habitações, é caracterizada por edifícios até 01 pav. espaçadas e em determinados pontos áreas suburbanas residenciais de alta densidade. Estas áreas, de alta densidade, estariam com valores de  $z0$  de 0.80 a 1.80m; acima do valor adotado de 0.50m pelo WA<sup>SP</sup>.



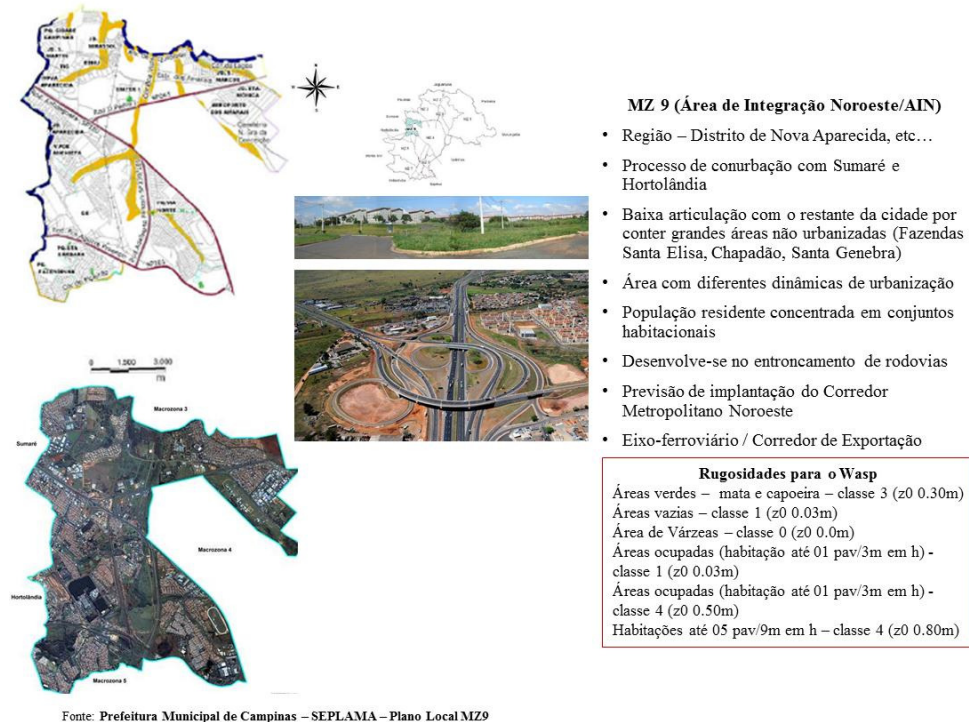
**Figura 7:** MZ 7 - Área de Influência Aeroportuária/AIA e valores de rugosidade.



Na macrozona 8 (**Figura 8**) predominam a ocupação de condomínios horizontais com edifícios mais esparsos e de baixa densidade. Se fossemos adotar os valores da **Tabela 7**, o  $z0$  estaria entre 0.40 a 1.20m.



**Figura 8:** MZ 8 - Área de Urbanização Específica/AURBE e valores de rugosidade.



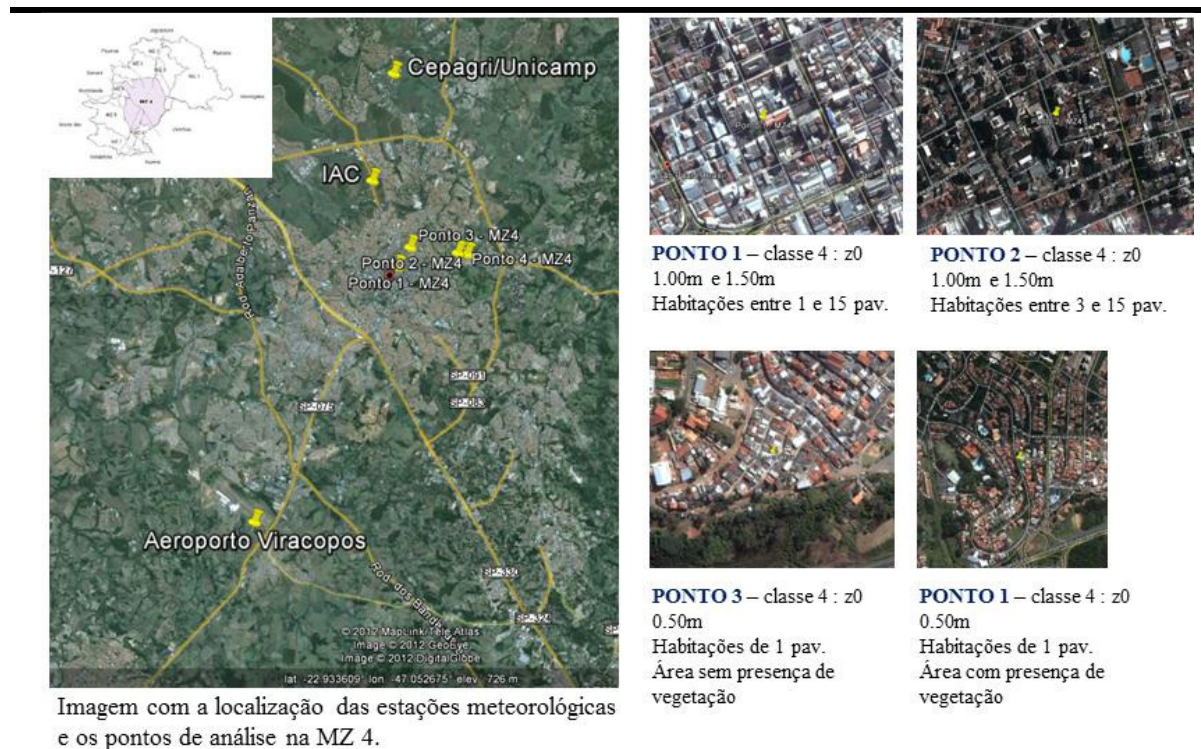
**Figura 9:** MZ 9 - Área de Integração Noroeste/AIN e valores de rugosidade.

Na macrozona 9 (Figura 9) predominam ocupações baixas mas de alta densidade; bem como conjuntos residenciais verticais de até 05 pav. Pela Tabela 8, o  $z_0$  estaria entre 0.80 a 2.50m para as classes de áreas urbanas e suburbanas.

Para a Macrozona 4 (Figura 10), serão realizadas três simulações com valores diferenciados de  $z_0$ .



**Figura 10:** MZ 4 - Área de Urbanização Prioritária/AUP e valores de rugosidade.



**Figura 11:** Estações meteorológicas - Campinas/SP e Pontos específicos de análise da rugosidade.

A primeira simulação contemplará valores médios por quadras, adotando-se os valores aplicados no software.

A segunda simulação contemplará áreas com valores médios; bem como quatro áreas, com ocupação diferenciada (**Figura 11**), que serão detalhadas quadra a quadra.

A terceira simulação será realizada elaborando-se o cálculo proposto por Lettau (1969) para as quatro áreas analisadas (quadra a quadra).

Desta forma, com as simulações pretendidas, espera-se observar as variações existentes entre o detalhamento ou não do tecido urbano da cidade.

#### 4 CONCLUSÃO

O que já se observa é que o detalhamento de toda a cidade implicaria em tempo e equipamento para as simulações necessárias.

Desta forma, pretende-se analisar a aplicação de um  $z_0$  médio, o detalhamento (obstáculos) de parte de quatro áreas da cidade contidas na macrozona 4 e uma análise utilizando os valores de  $z_0$  definidos por Lettau (1969) para as quatro áreas da cidade.

Espera-se comparar os resultados e verificar a viabilidade de detalhar áreas específicas para obter resultados coerentes com a ocupação do local.

#### AGRADECIMENTO

Agradecimento à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio ao Auxílio Jovem Pesquisador em Centros Emergentes.

#### REFERENCES

- Campinas – Planos Locais de Gestão - Acesso em setembro/2012 - <http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seplama/planos-locais-de-gestao/>
- Grimmond, S. & Oke, T. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *Journal of Applied Meteorology* 38, 1999, 1262-1292.
- Lettau, H. Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness-element description. *Journal of Applied Meteorology* 8, 1969, 828-832.
- Lopes, A. M. S. *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. 2003, 375f. Tese de Doutorado em Geografia Física, Universidade de Lisboa, 2003.
- Mortensen, N. G.; Landerberg, L.; Troen, I. & Petersen, E. L. *Wind Atlas Analysis and Application Program (Wasp)*, vol 1: Getting Started. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, jan., 1993. 29p.
- Wieringa, J. Does representative wind information exist? *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 65, 1996, 1-12.
- Wieringa, J.; Davenport, A. G.; Grimmond, C. S. B. & Oke, T. R. New revision of Davenport roughness classification. *3EACWE (3rd European & African Conference on Wind Engineering)*, Eindhoven, Netherlands, July, 2001.