

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Vulnerabilidade à queda de árvores por meio de simulações
microclimáticas**

Flávio Henrique Mendes

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Conservação de
Ecossistemas Florestais

**Piracicaba
2016**

Flávio Henrique Mendes
Engenheiro Florestal e Licenciado em Ciências Agrárias

**Vulnerabilidade à queda de árvores por meio de simulações
microclimáticas**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **DEMÓSTENES FERREIRA DA SILVA FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Conservação de
Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Mendes, Flávio Henrique

Vulnerabilidade à queda de árvores por meio de simulações microclimáticas / Flávio Henrique Mendes. -- versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2016.
69 p. : il.

Dissertação (Mestrado) -- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. ENVI-met versão 3.1 2. Espécies vulneráveis 3. Piracicaba/SP 4. Planejamento da arborização urbana 5. Ventos fortes I. Título

CDD 715.2
M538v

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

AGRADECIMENTOS

A Deus, Nossa Senhora e à minha família como um todo, especialmente aos meus pais, por estarem sempre presentes em minha vida, os quais sou eternamente grato;

À minha namorada, que tive o privilégio de conhecer no mestrado, mais precisamente num auxílio de campo realizado para condução de outra pesquisa de mestrado, do mesmo orientador;

À Universidade de São Paulo (USP), *campus* ESALQ, pela oportunidade da realização do mestrado;

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Laboratório de Silvicultura Urbana (LSU), pelo suporte com infraestrutura;

Ao professor Demóstenes Ferreira da Silva Filho, por todos os momentos e ensinamentos na área de Silvicultura Urbana, com oportunidades de monitoria, acompanhamentos, atividades extras e hospitalidade desde que iniciei estágio na graduação, em 11 de março de 2011;

Ao Jefferson Lordello Polizel, técnico em informática do Laboratório de Métodos Quantitativos do Departamento de Ciências Florestais (LMQ/LCF), pelas dicas computacionais e sempre disposto a ajudar;

Ao professor português António Manuel Saraiva Lopes, exemplo de pessoa, pela amizade, acima de tudo, receptividade e conselhos durante meu estágio profissionalizante na graduação, onde cresci e aprendi muito sobre a vida;

Ao Corpo de Bombeiros de Piracicaba, especialmente ao Douglas Gonçalves, pela compilação e disponibilização do banco de dados utilizado;

À Secretaria de Defesa do Meio Ambiente (SEDEMA), em especial, à Juliana Gragnani, pela disponibilização de informações;

Ao amigo Luís Henrique, grande torcedor xvzista da gema, que me acompanha desde a época de graduação;

A todo o pessoal do LMQ, principalmente às que me acompanharam e incentivaram desde o começo, Alessandra, Lea e Helena;

Ao Colégio COC Piracicaba, sob direção de Marta Zago, pela oportunidade do estudo fundamental e médio numa escola de qualidade;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente na pesquisa.

EPÍGRAFE

"Missão dada é missão cumprida".

Capitão Nascimento (Filme Tropa de Elite)

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
Referências	14
2 O EFEITO DO VENTO NAS QUEDAS DE ÁRVORES EM PIRACICABA/SP	15
Resumo.....	15
Abstract.....	15
2.1 Introdução	16
2.2 Materiais e Métodos	20
2.2.1 Área de estudo	20
2.2.2 Banco de dados	20
2.2.3 Espacialização de pontos.....	21
2.2.4 Pressuposição de espécies.....	21
2.2.5 Variáveis climáticas	22
2.3 Resultados e Discussão	24
2.3.1 Vento	24
2.3.2 Locais de maior ocorrência	27
2.3.3 Vulnerabilidade de espécies.....	30
2.4 Conclusão	32
Referências	33
3 ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR PARA DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS URBANAS	37
Resumo.....	37
Abstract.....	37
3.1 Introdução	37
3.2 Materiais e Métodos	38
3.3 Resultados e Discussão	41
3.4 Conclusão	44
Referências	45
4 SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA DE VENTO EM BAIRRO RESIDENCIAL EM PIRACICABA/SP	47
Resumo.....	47

Abstract	47
4.1 Introdução.....	47
4.2 Materiais e Métodos	49
4.2.1 Área de estudo	49
4.2.2 Queda de árvores.....	49
4.2.3 O <i>software</i> ENVI-met.....	50
4.3 Resultados e Discussão	54
4.4 Conclusão.....	56
Referências	57
5 ALTERAÇÕES MICROCLIMÁTICAS NA PRAÇA JOSÉ BONIFÁCIO EM PIRACICABA (SP).....	59
Resumo	59
Abstract	59
5.1 Introdução.....	59
5.2 Materiais e Métodos	61
5.2.1 Área de estudo	61
5.2.2 O <i>software</i> ENVI-met.....	62
5.2.3 Calibração e ajustes do modelo de simulação	63
5.3 Resultados e Discussão	64
5.4 Conclusão.....	67
Referências	67
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69

RESUMO

Vulnerabilidade à queda de árvores por meio de simulações microclimáticas

Muitos são os benefícios provenientes da arborização de vias públicas, como aumento da vida útil do asfalto por meio do sombreamento, filtragem de poluentes, absorção de CO₂, interceptação da água da chuva e da radiação solar e mitigação de ilhas de calor; porém, por questões culturais, é considerada muitas vezes pela população como algo negativo, cujas folhas entopem calhas, raízes destroem calçadas, troncos e folhas atrapalham fiação elétrica e, principalmente, elas estão susceptíveis às quedas. A pesquisa teve como objetivo estudar o comportamento das quedas de árvores no município de Piracicaba/SP, Brasil, com atenção especial ao regime de ventos na cidade, baseado em dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros de Piracicaba, Secretaria de Defesa do Meio Ambiente de Piracicaba (SEDEMA) e Estação Meteorológica da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ). De caráter inédito, o principal resultado foi a relação direta entre quedas e zonas urbanizadas, que, em constantes alterações no uso do solo, acabam por danificar a sustentação das árvores (raízes), fato justificado pela alta concentração de quedas na parte central (36,7%), com destaque para as estações da primavera e do verão, ou seja, ventos e chuvas, na qual, juntas, somaram 78,0% do total. O período de retorno esperado para ventos superiores a 75 km h⁻¹, classificados como temporais na Escala de Vento de Beaufort, foi de 2,8 eventos por ano. Enquanto verificou-se o predomínio de ventos alísios de sudeste, pertencentes ao quarto quadrante, a direção das rajadas de vento teve maior variação e, assim, com predomínio daqueles ventos, é recomendável instalações de parques industriais nas zonas norte, noroeste e oeste, haja vista a importância de evitar que os poluentes adentrem a cidade. As espécies de maior vulnerabilidade foram: *Pachira aquatica* Aubl. (monguba), *Handroanthus* sp. (ipê roxo) e *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (tipuana). Por meio de simulação microclimática computacional, utilizando o programa ENVI-met versão 3.1, em dois estudos de caso, sendo um em bairro residencial e outro na Praça José Bonifácio, foi possível identificar locais de maior atenção quanto às quedas de árvores, em função da rugosidade do local, capaz de alterar a velocidade e a direção do vento.

Palavras-chave: ENVI-met versão 3.1; Espécies vulneráveis; Piracicaba/SP; Planejamento da arborização urbana; Ventos fortes

ABSTRACT

Vulnerability to fallen trees through microclimate simulations

There are many benefits from public roads afforestation, such as longer pavement life through shading, filtering pollutants, CO₂ absorption, intercepting rainfall and solar radiation and mitigating heat islands; however, due cultural issues, is often regarded by the population as something negative, whose leaves clog gutters, roots destroy sidewalks, stems and leaves disrupt electrical wiring and, mainly, they are susceptible to falls. The research aimed to study the behavior of falling trees in Piracicaba/SP, Brazil, with special attention to the wind regime in the city, based on data provided by the Piracicaba Fire Department, Secretariat of Defense of the Environment of Piracicaba (SEDEMA) and Meteorological Station Luiz de Queiroz College of Agriculture (ESALQ). From unedited character, the main result was the direct relationship between falls and urbanized areas, which, in constant changes in land use, end up damaging the support of trees (roots), a fact explained by the high concentration of falls in the central part (36.7%), highlighted to the spring and summer seasons, i.e., winds and rains, which, together, totaling 78.0% of the total cases. The payback period expected to winds who exceeding 75 km h⁻¹, classified as storms in the Beaufort Wind Scale, was 2.8 events per year. While there was a predominance of trade winds from the Southeast, belonging to the fourth quadrant, the direction of the gusts of wind had greater variation and, thus, with those predominant winds, it recommend installation of industrial parks in North, Northwest and West areas, since the importance of avoiding that pollutants enter into the city. The most vulnerable species were: *Pachira aquatica* Aubl. (Guiana Chestnut), *Handroanthus* sp. (Purple Ipe) and *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (Tipuana). Through computational microclimate simulation, using the software ENVI-met version 3.1, in two case studies, being one in a residential area and another in the José Bonifácio Square, it was possible to identify locals of more attention as the falling trees, based on the local roughness, able to change the speed and direction of the wind.

Keywords: ENVI-met version 3.1; Vulnerability of species; Piracicaba/SP; Urban tree plan; Strong winds

1 INTRODUÇÃO

As cidades têm-se consolidadas de forma desorganizadas, não havendo concílio entre espaços verdes e construções, na qual altas impermeabilizações de superfícies modificam o clima urbano, ao favorecer a ocorrência de ilhas de calor e a conseqüente diminuição da qualidade de vida das pessoas (OKE, 1978).

A literatura é vasta quanto aos benefícios proporcionados pelas árvores, entretanto, por questões culturais, de modo geral, são frequentemente danificadas ou eliminadas para alargamento de ruas, conserto de encanamentos, manutenção da fiação elétrica, construção ou reforma de casas (LIMA, 1993), cuja urbanização é capaz de interferir diretamente nas quedas (MENDES et al., 2015).

Milano (1996) expôs no Congresso Brasileiro de Arborização Urbana (CBAU), em Salvador/BA, que o sucesso na arborização urbana consiste em cinco etapas: planejar, executar, controlar, analisar e replanejar. A cidade de São Paulo, por exemplo, tem quedas de árvores mapeadas desde 2003, sendo isso uma importante ferramenta para o manejo.

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar o comportamento das quedas de árvores em Piracicaba/SP, enquanto que os objetivos específicos foram: (i) identificar regiões de concentração de quedas; (ii) influência de variáveis climáticas e (iii) vulnerabilidade de espécies.

Destarte, o capítulo 2, em se tratar de estudo inédito e que pode ser aplicado em demais cidades, abordou uma ampla visão do efeito das variáveis climáticas nas quedas de árvores em Piracicaba/SP, com destaque especial para o vento. No capítulo 3, estudou-se o índice de área foliar de espécies comuns encontradas na arborização urbana local, por meio de equipamentos tecnológicos (LAI 2000 *Plant Canopy Analyser*). Esse capítulo serviu de base para a condução dos próximos, 4 e 5, que foram dois estudos de caso, sendo, respectivamente, num bairro residencial e na praça central da cidade, José Bonifácio, utilizando simulações microclimáticas com o *software* ENVI-met v.3.1, de modo a entender o comportamento da área perante condições predefinidas.

Referências

LIMA, A.M.L.P. **Piracicaba/SP**: Análise da arborização viária na área central e seu entorno. 1993. 283p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

MENDES, F.H.; ZANLORENZI, H.C.P.; DOBBERT, L.Y.; PRATA-SHIMOMURA, A.R.; SILVA FILHO, D.F. Alterações microclimáticas na Praça José Bonifácio em Piracicaba (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 19., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBAU, 2015. 11p.

MILANO, M.S. Arborização urbana no Brasil: mitos e realidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: CBAU, 1996. p. 1-6.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. London: Methuen, 1978. 372p.

2 O EFEITO DO VENTO NAS QUEDAS DE ÁRVORES EM PIRACICABA/SP

Resumo

A presente pesquisa teve como objetivo estudar o comportamento das quedas de árvores no município de Piracicaba/SP, Brasil, com atenção especial ao regime de ventos local. O Corpo de Bombeiro forneceu um banco de dados de quedas contendo 275 casos, de 3 de janeiro de 2011 a 24 de maio de 2014, com a respectiva localização, os quais foram espacializados em SIG. O efeito da urbanização teve grande importância nas quedas, onde a região central concentrou a maior parte, 36,7%. As estações da primavera e do verão somaram 78,0% das quedas, que correspondem, respectivamente, aos períodos de ventos e chuvas mais intensos. O período de retorno esperado para ventos acima de 75 km h⁻¹, classificados como temporais na Escala de vento de Beaufort, foi de 2,8 eventos por ano. As espécies de maior vulnerabilidade à queda foram *Pachira aquatica* Aubl. (monguba), *Handroanthus* sp. (ipê roxo) e *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (tipuana), caracterizando oportunidades de manejo específicas. Enquanto verificou-se o predomínio de ventos alísios de sudeste, pertencentes ao quarto quadrante, a direção das rajadas de vento teve maior variação e, assim, com predomínio de ventos de sudeste, é recomendável instalações de parques industriais nas zonas norte, noroeste e oeste, haja vista a importância em evitar que os poluentes adentrem a cidade.

Palavras-chave: Regime de ventos; Urbanização; Vulnerabilidade de espécies

Abstract

The present research aimed to study the behavior of fallen trees in Piracicaba city, São Paulo state, Brazil, with special attention at the local wind regime. The Fire Department provided a falls database, with 275 cases, from January 3rd, 2011 to May 24th, 2014, with their respective location, that were plotted on GIS. The urbanization effect had great importance on the falls, where the central region concentrated the most part, 36.7%. The spring and summer seasons amounted to 78.0% of falls, that correspond, in this order, to the periods of more intense winds and rains. The payback period expected to winds above 75 km h⁻¹, classified as storms in the Beaufort Wind Scale, was 2.8 events per year. The species such as greater vulnerability to the fall were *Pachira aquatica* Aubl. (Guiana Chestnut), *Handroanthus* sp. (Purple Ipe) and *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (Tipuana), requiring specific opportunities of management. While there was a predominance of trade winds from the Southeast, belonging to the fourth quadrant, the gusts' direction had greater variation and, thus, since the predominance of Southeast winds, it is recommended to spot industrial parks at North, Northwest and West zones, given the importance to prevent pollutants enter into the city.

Keywords: Wind regime; Urbanization; Vulnerability of species

2.1 Introdução

São muitos os benefícios provenientes da arborização de vias públicas (SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2000; DOBBERT et al., 2014) entretanto, as árvores podem estar vulneráveis a sofrer alavancas e cair, tendo o vento como um dos agentes agravantes (MATTHECK; BRELOER, 1997).

Segundo o Dicionário do Aurélio, entende-se por “vulnerável” como “o lado fraco de uma questão ou do ponto por onde alguém pode ser ferido ou atacado”. Julião et al. (2009) definem vulnerabilidade como o “grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto de determinadas severidades”.

O vento origina-se por diferenças na pressão atmosférica, com deslocamento de ar de zonas de maior pressão para as de menor pressão, ao criar diferentes velocidades, além da força de Coriolis, surgida devido ao movimento de rotação da Terra e também das forças centrípeta e de fricção (BONAN, 2002).

No globo terrestre, há três tipos de correntes atmosféricas: (i) ventos alísios, entre latitudes 30° N e 30° S, de fraca intensidade; (ii) ventos oestes, entre 30° e 60° N e S, que são rápidos e (iii) ventos polares, de latitudes maiores que 60°, que são tempestuosos. No Brasil, predominam-se os ventos alísios, de sentido sudeste (PRATA, 2005), conforme mostra a figura 2.1.

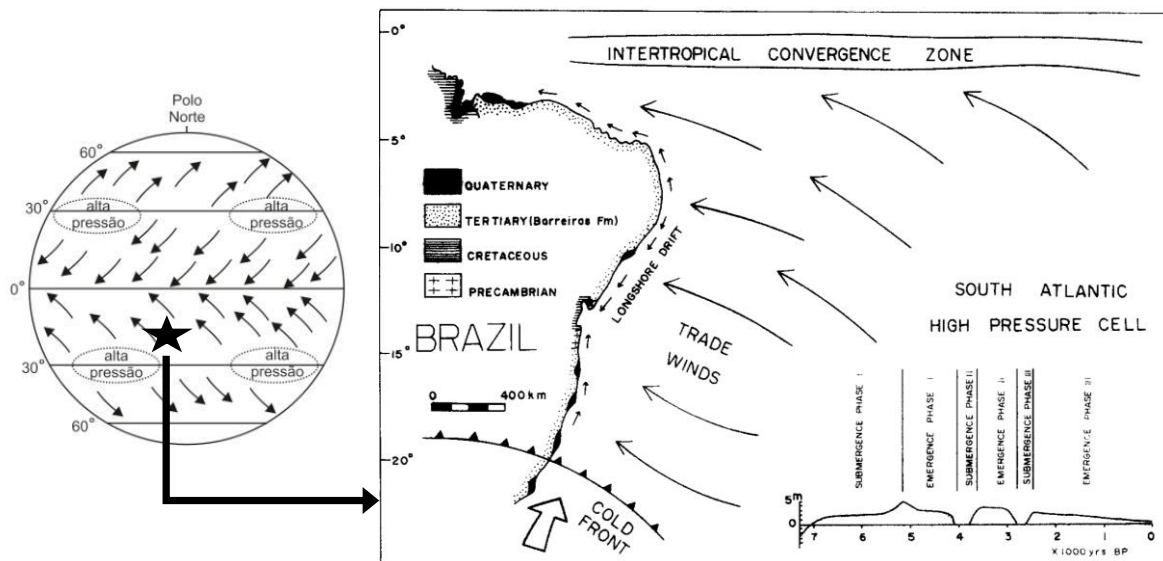


Figura 2.1 – Regime de ventos na Terra, com destaque para os ventos alísios de sudeste. Fonte: Adaptado de Dominguez, Bittencourt e Martin (1992)

Torna-se complicado prever o tempo de Piracicaba/SP com exatidão, devido aos fluxos de massas de ar ao longo do ano. Na região sudeste, há o predomínio da Massa Tropical Atlântica (mTa) durante o verão, caracterizada como quente e úmida, originária no Atlântico Sul, enquanto que, no inverno, a Massa Polar Atlântica (mPa), fria e úmida, com origem na Antártida (Figura 2.2).

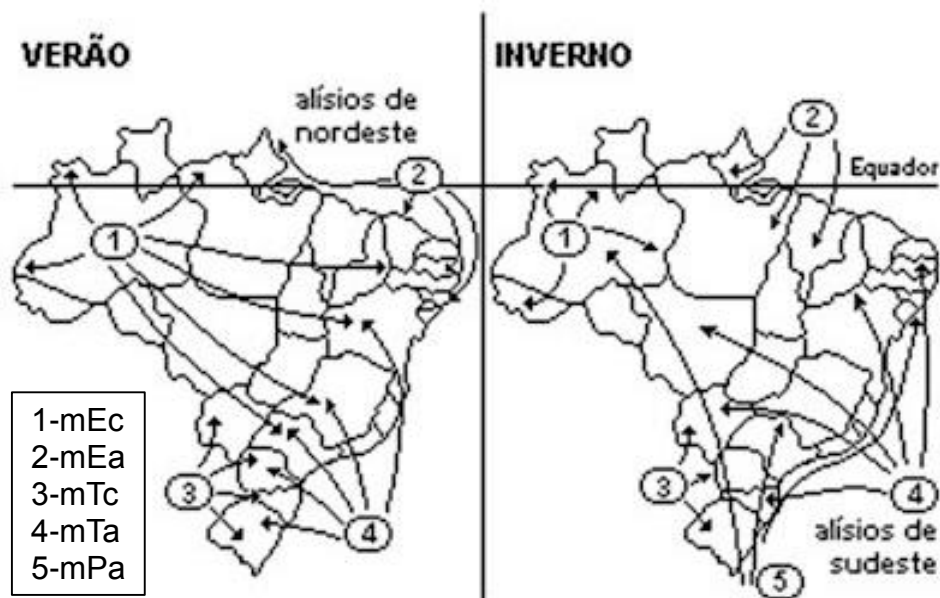


Figura 2.2 – Influências das massas de ar no território brasileiro. Fonte: Adaptado de Sene e Moreira (1998)

Em meio urbano, o vento é responsável pela dispersão de poluentes e controle da temperatura. Pesquisa feita pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) provou que a Região Metropolitana de São Paulo (capital e mais 38 municípios vizinhos) é um centro exportador de poluentes: 20 a 30% da poluição encontrada em Campinas, Tatuí e Sorocaba vêm de São Paulo, em virtude do regime dos ventos que, dependendo da intensidade, pode chegar a Bauru/SP, a 400 km da capital paulista. O que ameniza a situação de São Paulo é a brisa marinha do Oceano Atlântico, que circula a 500 m da superfície, atenuando a temperatura e dispersando poluentes. Por outro lado, Cubatão, ao pé da Serra do Mar, é responsável direto pelo ozônio encontrado no planalto paulista (FIORAVANTI, 2002).

Em microescala, o vento pode sofrer alterações devido ao processo de urbanização, por meio da rugosidade das áreas (CLEUGH; GRIMMOND, 2011), sendo esta um valor de atrito da superfície, ou seja, alturas de massas edificadas

capazes de alterar significativamente os movimentos dos deslocamentos das massas de ar (SANTOS, 2004).

Na sequência, observa-se valores aproximados para diferentes superfícies, provenientes do European Wind Atlas (TROEN; PETERSEN, 1989) (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Valores de rugosidade (Z_0) para diferentes superfícies

Z_0	Características do terreno
1,00	Cidade
0,80	Floresta
0,50	Subúrbios
0,30	Cinturões de árvores
0,20	Árvores e arbustos
0,10	Fazenda com vegetação fechada
0,05	Fazendo com vegetação aberta
0,03	Fazenda com poucas árvores/edificações
0,02	Áreas de aeroportos com edificações e árvores
0,01	Áreas de pistas de aeroporto
0,008	Pasto
0,005	Solo arado
0,001	Neve
0,0003	Areia
0,0001	Água (lagos, rios e oceanos)

Fonte: Adaptado de Troen e Petersen (1998)

A figura 2.3 mostra o comportamento do vento em função de diferentes tipologias (centro urbano, subúrbio e campo aberto).

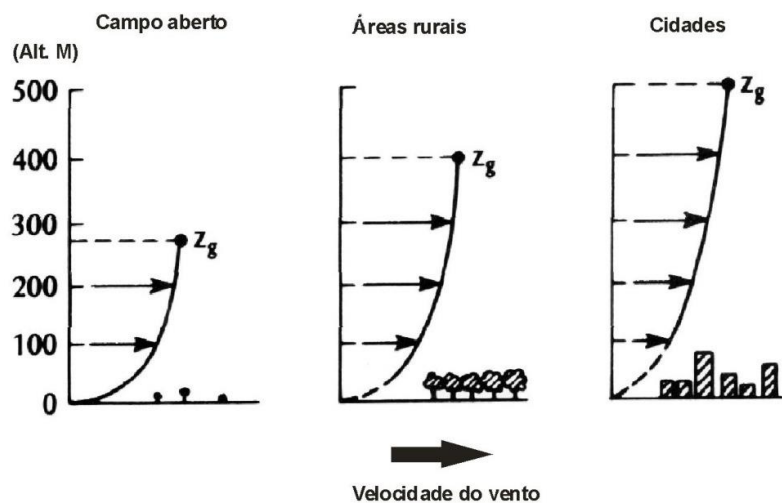


Figura 2.3 – Diminuição na velocidade do vento influenciada pela variação da rugosidade do terreno. Fonte: Adaptado de Oke (1987)

Para as quedas de árvores, Albers et al. (1992) avalia que são sete categorias responsáveis: declínio, rachaduras, problemas radiculares, fraca união de galhos, cancos, arquitetura ruim e madeira morta. De modo a garantir a integridade das raízes, os autores propõem o conceito de *Critical root radius* (CRR), sendo representado pela relação $DAP \times 1,5$ e, se mais de 40% da área estiver danificada, a estabilidade fica comprometida (Figura 2.4).

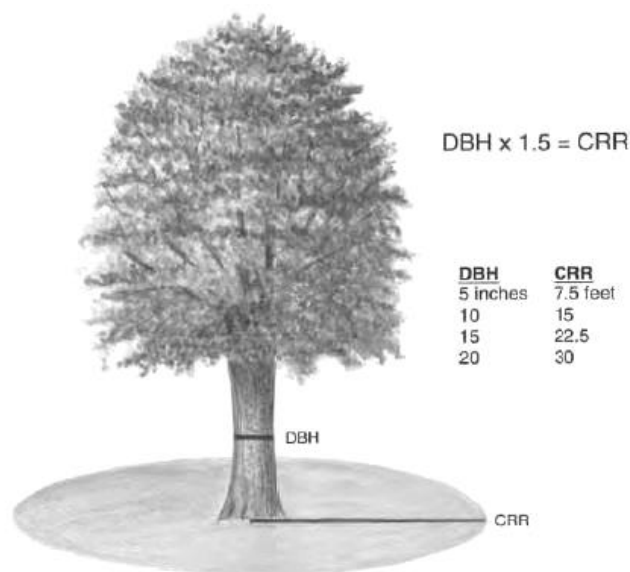


Figura 2.4 – Representação da área crítica para preservação da integridade das raízes. Fonte: Albers et al. (1992)

Seitz (1995) correlaciona diretamente espécie florestal e fungos degradadores de madeira, responsáveis pela quebra, cujas intempéries (chuva, vento, etc.) intensificam o processo, exceto em condições de abrigo e ambientes secos, na qual os galhos podem permanecer conectados por anos. Podas verdes capazes de desequilibrar a copa devem ser evitadas, visto que os brotos epicórmicos (sem ligação com a parte central da árvore), são frágeis à quebra.

Mattheck e Breloer (1997), especialistas em biomecânica, relataram os esforços a que as árvores são expostas, como: tração, compressão, cisalhamento e momentos de flexão e torção. Com o intuito de evitar o tombamento, criam tensões internas que alteram forma, tamanho e estrutura, evento denominado crescimento adaptado.

Mattheck (2007) avaliou o coeficiente de esbeltez (*slenderness*) como outro fator crítico para a queda da árvore. Esse índice pode ser obtido dividindo-se altura (m) pelo diâmetro (cm), ou seja, H/D e, se for maior que 50, a árvore fica vulnerável, assim como cavidades internas superiores a dois terços (Figura 2.5).

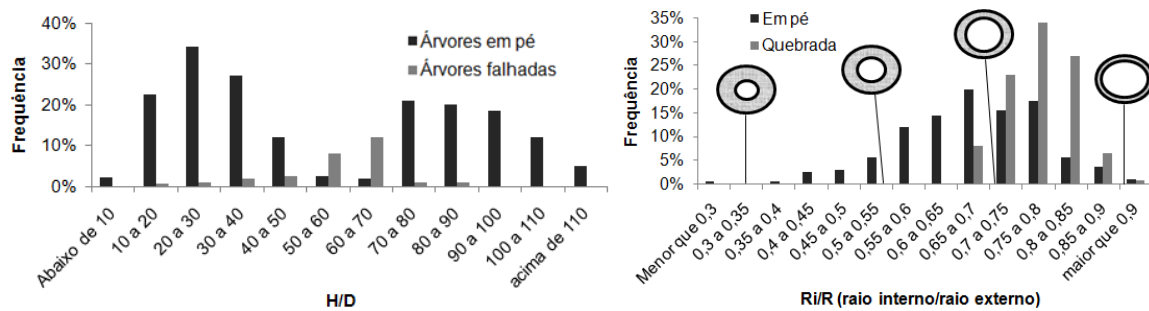


Figura 2.5 – Fragilidades relatadas em árvores quanto à biomecânica, sendo o coeficiente de esbeltez e a quantidade crítica de oco. Fonte: Mattheck (2007)

O objetivo consistiu em avaliar o comportamento das quedas de árvores no município de Piracicaba/SP.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Área de estudo

A pesquisa teve como delimitação os limites urbanos do município de Piracicaba/SP, disponibilizados pelo IPPLAP (Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba), em 2010. A cidade dista 164 km da capital do estado, com coordenadas geográficas 22°42'30" S e 47°38'00" W, clima do tipo Cwa, conforme classificação de Köppen, a 546 m de altitude e 1328 mm de pluviosidade anual, cuja vegetação predominante é a floresta estacional semidecidual, inserida no domínio da Depressão Periférica Paulista, região rebaixada por erosão, entre as terras altas do Planalto Atlântico e as escarpas elevadas das cuestas basálticas do planalto Ocidental (OLIVEIRA; PRADO, 1989).

2.2.2 Banco de dados

Obteve-se com o 16° Grupamento do Corpo de Bombeiros de Piracicaba/SP um banco de dados organizado das quedas de árvores no período de 3 de janeiro de 2011 a 24 de maio de 2014, contabilizando 3,5 anos regressos, com 275 casos, os quais continham endereço e data/hora da chamada do munícipe.

A metodologia apresenta algumas limitações:

(i) Dados anteriores a essa data, impressos em papel e não compilados, acabaram perdendo-se com o tempo e não foi possível obtê-los; hoje o banco de dados encontra-se informatizado;

(ii) Contabilizaram-se as quedas que apresentaram algum risco a pessoas ou patrimônio público;

(iii) O banco de dados não separou quedas de árvores com queda de galhos;

(iv) A hora do registro corresponde ao horário em que a viatura sai (atendimento da chamada) e não exatamente ao mesmo horário da queda;

(v) A SEDEMA (Secretaria de Defesa do Meio Ambiente) também possui dados de quedas de árvores (provavelmente mais que os Bombeiros), mas sem dados específicos, como o horário das ocorrências; entretanto, a Secretaria tem se esforçado para melhorias nesse sentido. Em eventos climáticos de maior urgência, ambos se unem para a mesma causa, com suporte mútuo, podendo, inclusive, oferecer apoio a cidades da região.

2.2.3 Espacialização de pontos

Uma vez de posse das quedas com os respectivos endereços (logradouro, número, município – estado), essas foram espacializadas em SIG, por meio do *site* BatchGeo LLC¹, cuja versão gratuita permitiu espacializar até 250 registros por vez, sendo necessário, logo, fazer esse procedimento em duas partes. Como nem todas as quedas caíram exatamente no devido ponto, fez-se a verificação uma a uma (por meio do *Google Street View*, imagem 2011) com os respectivos ajustes para que, em seguida, unisse num só arquivo *shapefile* as 275 quedas.

2.2.4 Pressuposição de espécies

Ainda utilizando a ferramenta *Google Street View*, alternando com o *plugin* “*go2streetview*”, instalado no programa Quantum GIS versão 2.6, foi feita a pressuposição das espécies, quando possível (Figura 2.6). A utilização dessa metodologia na área de arborização urbana é inédita. Destaca-se que isso foi viável em função do concílio entre as quedas dos Bombeiros (a partir de janeiro de 2011) e a imagem do nível da rua para o município, do *Google* (abril de 2011 e, posteriormente, agosto de 2015), ou seja, por meio de imagens antes e após a queda. Alguns casos não foram possíveis identificar a espécie, tais como quedas entre janeiro e abril de 2011 ou por haver mais de uma árvore em frente ao

¹ <<http://pt.batchgeo.com/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

endereço, como testadas grandes, muros de fora a fora ou locais com áreas verdes em frente.



Figura 2.6 – Queda de árvore da espécie sibipiruna (*Poincianella pluviosa* (DC.) L.P. Queiroz), à direita, espacializada e pressuposta, situada à Rua Floriano Peixoto, 799, no bairro Centro. Fonte: Google Street View

2.2.5 Variáveis climáticas

As correlações com as variáveis climáticas foram feitas baseadas nos dados da Estação Meteorológica da ESALQ², sendo: (i) Estação Convencional, operando desde 1917, mas somente em 1943 com medições de vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica e (ii) Estação Automática, desde 1997, com sensores de precipitação, temperatura, umidade, radiação, evapotranspiração, velocidade e direção do vento.

As normais climatológicas são definidas de 30 em 30 anos a partir de 1901 e, assim, sucessivamente. Entretanto, quando não se completa o período e tem-se pelo menos 10 anos, podem-se fazer as Normais Climatológicas Provisórias,

² <<http://www.leb.esalq.usp.br/posto/>>. Acesso em: 25 set. 2015.

conforme explicado no Documento Técnico WMO-TD / N° 341, da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1989).

Para o estudo da direção e velocidade do vento predominante utilizou-se dados da Estação Automática (1997 a 2014), a 2 m de altura, registrados a cada 15 min., enquanto que as rajadas de vento máximas e precipitação, dados diários da Estação Convencional, a 10 m.

É importante ressaltar que às vezes foi preciso fazer a correção para UTC - 3, em função do horário de verão, uma vez que a Estação desconsiderou o evento.

Em virtude dos dados da Estação serem disponibilizados em Dias Julianos (1 a 365 ou 366), usufruiu-se do *site* proposto por Telmo Ghiorzi³ para converter para o calendário dia/mês/ano.

O esquema de trabalho que sintetiza a metodologia é mostrado na figura 2.7.

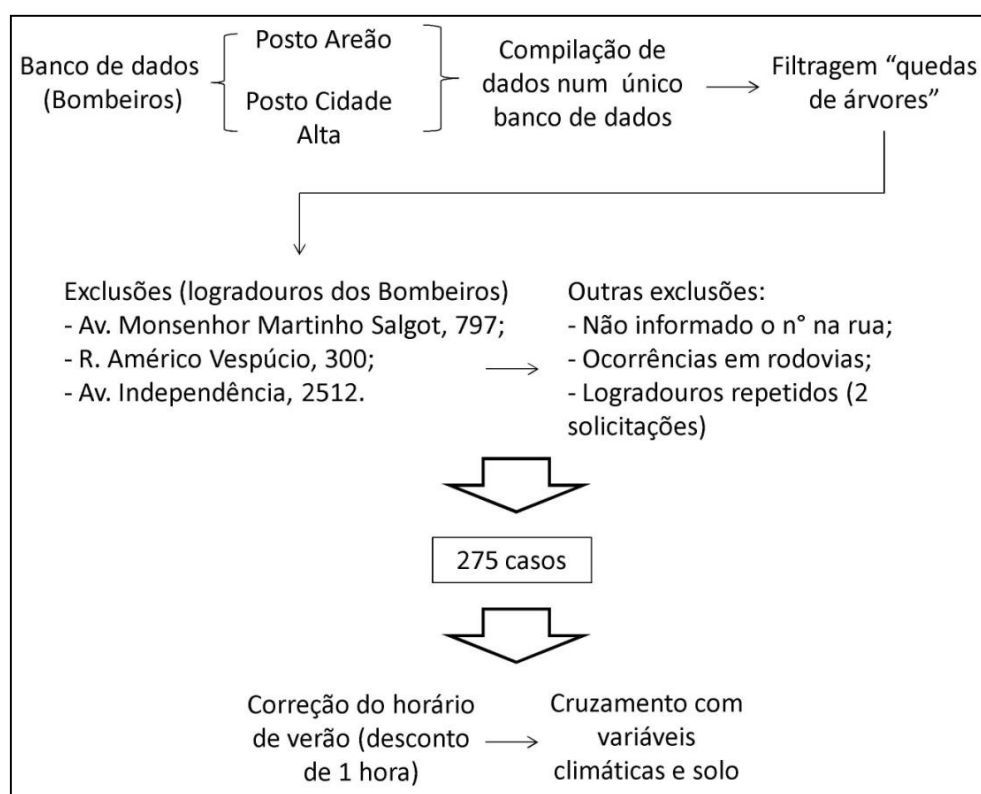


Figura 2.7 – Esquema de trabalho utilizado para a condução da pesquisa, desde a aquisição do banco de dados, filtrações e cruzamento com variáveis climáticas e tipo de solo. Fonte: o autor

³ <<http://ghiorzi.org/diasjuli.htm>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Vento

Um vendaval de 15 m s^{-1} (54 km h^{-1}) é, normalmente, o valor utilizado como referência por seguradoras em sinistros em casos de danos ao patrimônio (CAMARGO, 2014), sendo que a direção do vento predominante pode coincidir com a direção da rajada ou não (BURGARDT; LEITE; VIRGENS FILHO, 2011), cuja queda da árvore pode ocorrer em função do trajeto por onde o vendaval passa.

Inicialmente, analisou-se a correlação da velocidade do vento entre as duas estações meteorológicas da ESALQ, a Automática (2 m) e a Convencional (10 m), para os 275 casos de quedas. O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,7314$) mostrou tendência linear dos dados (Figura 2.8), ao passo que o coeficiente de correlação Pearson, que varia de -1 a 1, na qual os extremos representam forte correlação, sendo negativa ou positiva, respectivamente, foi de 0,86, classificada como forte (DANCEY; REIDY, 2006).

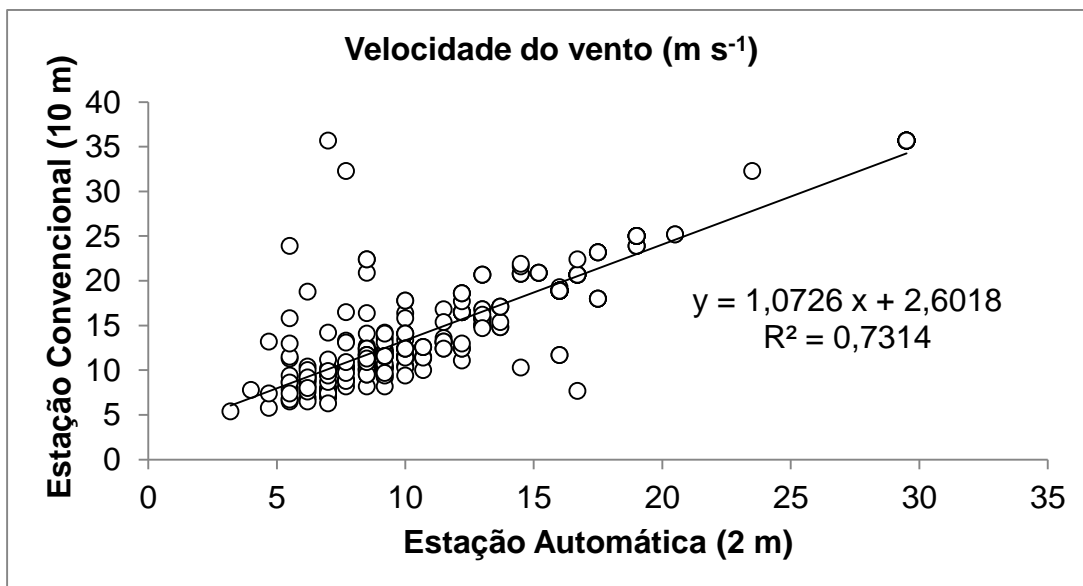


Figura 2.8 – Forte correlação entre a velocidade de vento aferida nas estações meteorológicas da ESALQ. Fonte: o autor

O trabalho de Oliveira e Lopes (2007) verificou que as árvores começam a cair com ventos de 7 m s^{-1} (a 10 m de altura); no caso, 97,1% teve o mesmo comportamento. Para velocidades acima de 10 m s^{-1} (36 km h^{-1}), 81,8% e, conforme sinistros de seguradoras (acima de 15 m s^{-1}), 42,2% do total.

A figura 2.9 reflete a direção do vento predominante na região, em alusão aos ventos alísios de sudeste, de acordo com a Estação Automática, visto que a

Convencional não dispunha desses dados. Nota-se que as principais direções de vento pertencem ao 4º quadrante (leste, sudeste e sul), podendo-se inferir que as principais regiões no município para alocação de distritos industriais são do lado oposto, ou seja, norte, noroeste e oeste, de modo que os poluentes não adentrem a cidade.

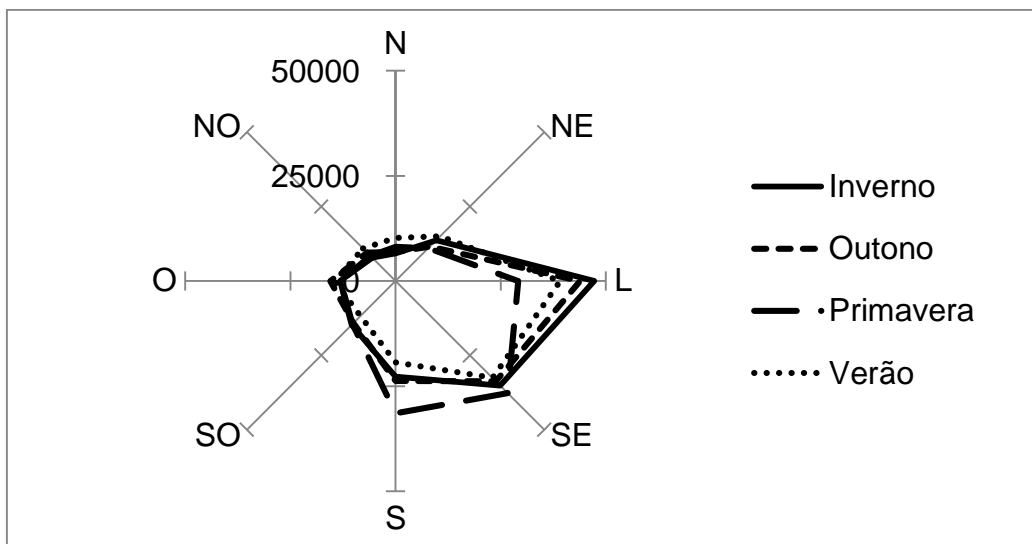


Figura 2.9 – Direção do vento predominante durante as quatro estações do ano. Fonte: o autor

Por meio da figura 2.10, fica evidente que a primavera é a estação do ano que mais venta, entretanto, é no verão que ocorrem as rajadas e temporais com maiores velocidades, com média das máximas de $11,2 \text{ m s}^{-1}$.

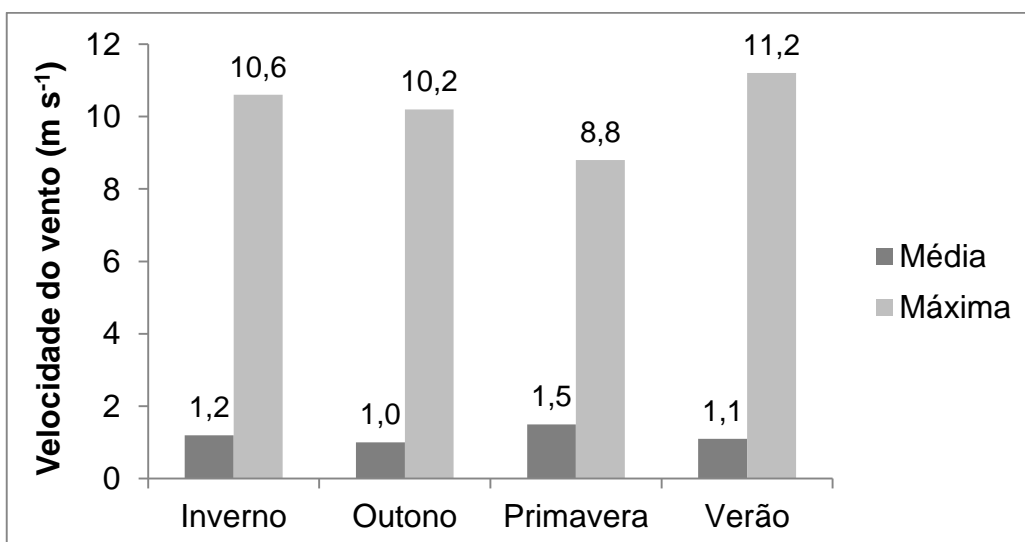


Figura 2.10 – Velocidade do vento: média da média e média da máxima da Estação Automática durante as quatro estações do ano. Fonte: o autor

A figura 2.11 faz alusão à figura 2.10, decomposta em direções (rumos), de acordo com as rajadas de ventos a cada 15 min. Fica claro que o rumo associado

às rajadas teve maior variação ao longo do ano, se comparado com o predomínio dos ventos alísios de sudeste na cidade (quadrante 4).

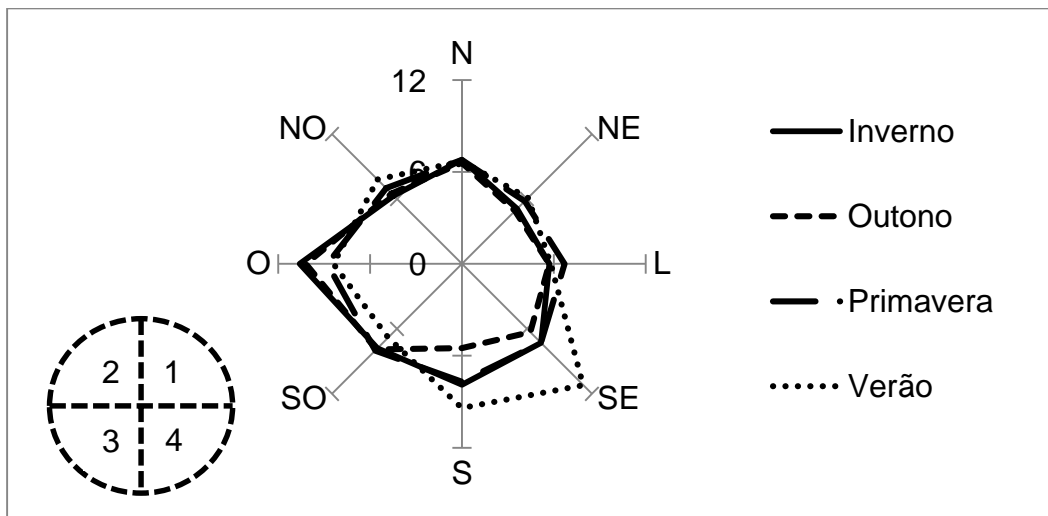


Figura 2.11 – Direção das rajadas de vento ao longo das estações do ano, com a respectiva média da velocidade máxima ($m\ s^{-1}$); no canto esquerdo tem-se a numeração padrão dos 4 quadrantes. Fonte: o autor

Baseado na Escala de vento de Beaufort, que auxilia na interpretação dos dados de velocidade máxima de vento (rajadas), tem-se o período de retorno esperado para cada faixa correspondente (Tabela 2.2). Os dados foram compilados da Estação Convencional (1964 a 2014).

Tabela 2.2 – Escala de vento de Beaufort e o respectivo período de retorno esperado, em dias

Grau	Descrição	Velocidade ($km\ h^{-1}$)	Período de retorno (dias)
0	Calmaria	0 – 2	1087,3
1	Vento Calmo	2 – 6	101,0
2	Brisa Amena	7 – 11	47,8
3	Brisa Leve	12 – 19	7,7
4	Brisa Moderada	20 – 29	3,2
5	Brisa Forte	30 – 39	3,4
6	Vento Forte	40 – 50	6,2
7	Vento Muito Forte	51 – 61	25,2
8	Vento Fortíssimo	62 – 74	55,0
9	Temporal	75 – 87	188,5
10	Temporal Forte	88 – 101	565,4
11	Temporal Muito Forte	102 – 117	2355,8
12	Tornado, Furacão	> 118	3533,8

Fonte: o autor

Verificou-se que os ventos mais frequentes se enquadraram na faixa de 20 a 39 km h⁻¹, ou seja, de 5,5 a 10,8 m s⁻¹. Para fins de comparação com o sinistro de seguradoras (15 m s⁻¹), o período de retorno esperado para essa velocidade é de 1 a cada 19 dias. Para fenômenos naturais classificados entre “temporal” e “tornado/furacão” (acima de 75 km h⁻¹), por exemplo, o período de retorno esperado é de 1 a cada 128,5 dias, ou seja, 2,8 eventos por ano. O principal destaque foi o dia 29 de março de 2006, quando o equipamento atingiu valor máximo de medição (44 m s⁻¹).

É complicado estabelecer correlações com a direção do vento predominante para as árvores que caíram, uma vez que, conforme citado na metodologia, a hora do registro corresponde ao horário da chamada e não exatamente ao horário da queda.

A influência das chuvas no encharcamento do solo e a consequente queda da árvore não devem ser desprezadas: 65,5% dos casos de quedas foram em períodos de chuva nas últimas 24 horas (Figura 2.12), sendo que 47,6% tiveram quedas em períodos com pelo menos 5 mm de chuva até 1 dia antes.

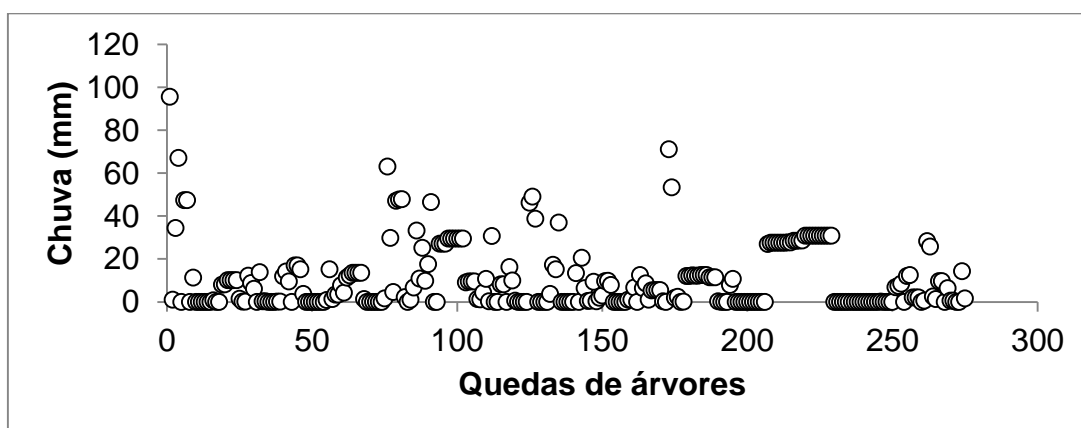


Figura 2.12 – Influência da pluviosidade nas quedas de árvores sendo outro fator agravante, além da velocidade dos ventos. Fonte: o autor

2.3.2 Locais de maior ocorrência

De acordo com as cinco regiões geográficas da cidade, a parte central foi a que apresentou mais quedas, 36,7%, seguido, respectivamente, por leste (22,2%), norte (20,0%), sul (13,1%) e oeste (8,0%). Para Mendes, Silva Filho e Lopes (2015), as sombras dos edifícios podem ser consideradas como indicativo do grau de urbanização da área. Desse modo, o centro foi a região com mais sombras (imagem do satélite WorldView-2, de 22 de abril de 2011), evidenciando o fator “urbanização” como um dos principais agravantes nas quedas das árvores

(Figura 2.13), na qual raízes danificadas, solos compactados e canteiros estreitos são problemas comuns.

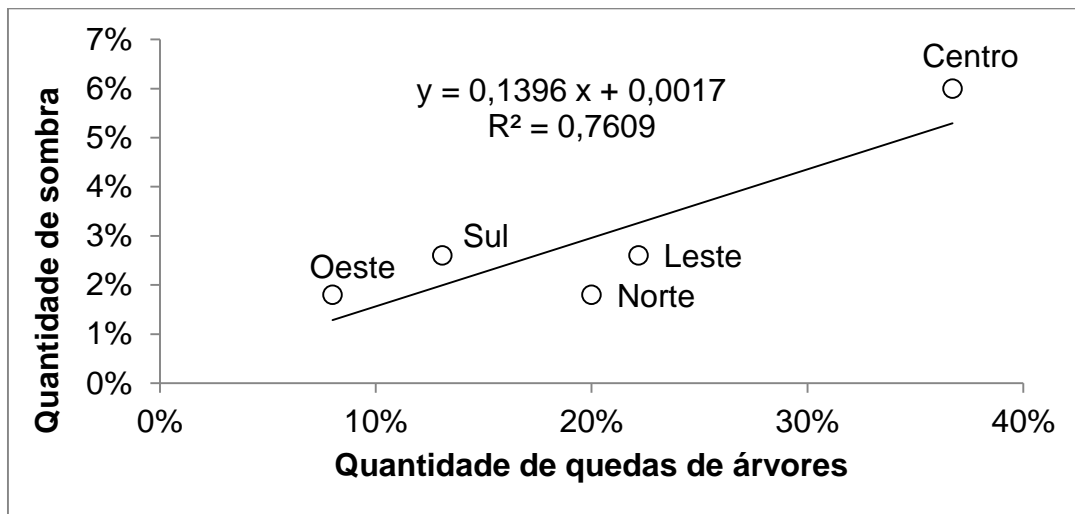


Figura 2.13 – Correlação entre as quedas de árvores e o grau de urbanização, representado pela quantidade de sombra dos edifícios. Fonte: o autor

Ao cruzar as informações quedas de árvores com tipo de solo, sendo este proveniente do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), verificou-se outra vez o fator “urbanização” influenciando nas quedas, onde representou 48,4%, numa área do território quantificada em 29,3% (Figura 2.14).

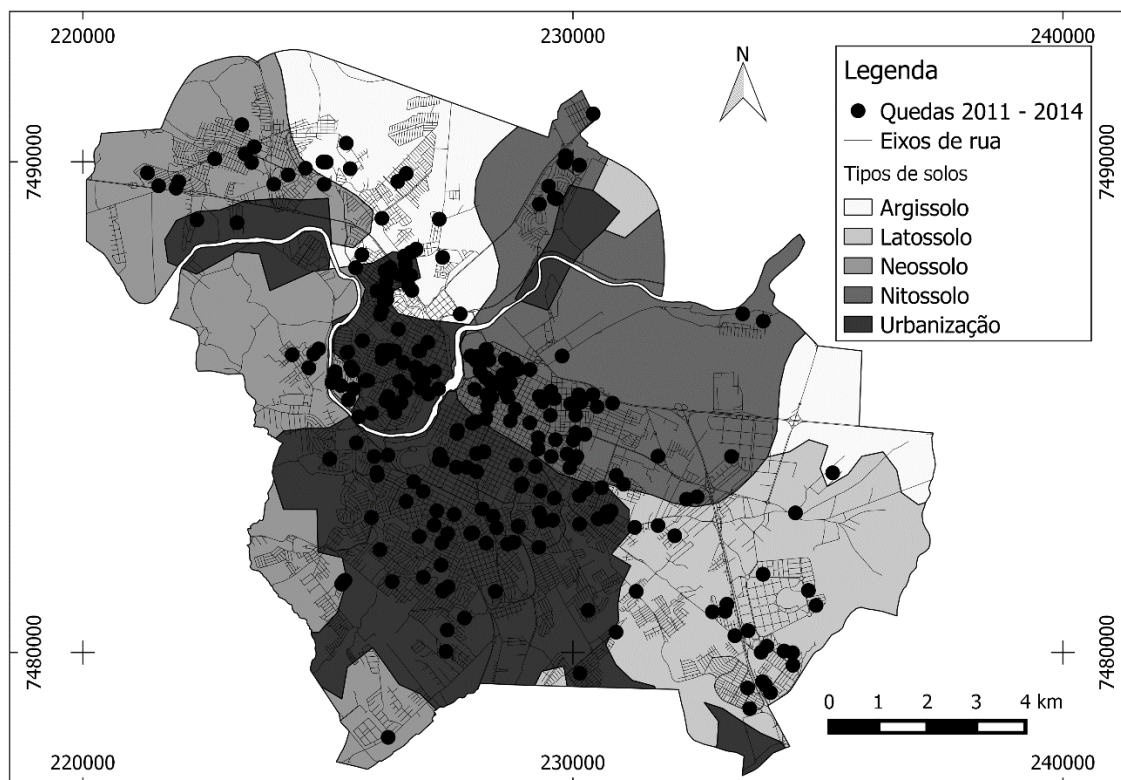


Figura 2.14 – Espacialização das quedas de árvores registradas pelo Corpo de Bombeiros de Piracicaba, de acordo com o tipo de solo proveniente do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Fonte: o autor

O neossolo, presente em grande quantidade no município de Piracicaba/SP (OLIVEIRA et al., 1999), possui horizonte A com menos de 40 cm de espessura, depositado diretamente sobre a rocha ou horizonte C (solo e fragmentos de rocha). Caracterizado por problemas de seca no inverno e encharcamento no verão, em relevo inclinado, o enraizamento da planta é dificultado.

As quedas concentraram-se nas estações da primavera e verão, caracterizadas pelos ventos e chuvas, nessa ordem, que representaram 78,0%. Especificamente para essa análise, utilizou-se o período de 01 de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2013, ou seja, exatos 3 anos completos, totalizando 250 quedas, para padronizar igual quantidade de dias em cada estação (Figura 2.15).

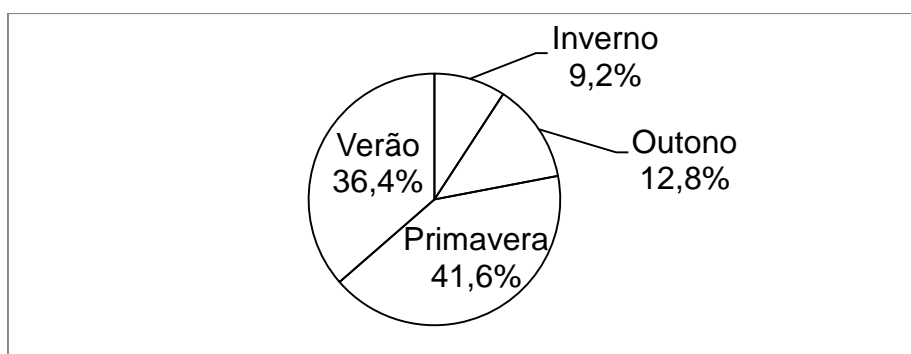


Figura 2.15 – Quedas de árvores por estação do ano. Fonte: o autor

Ribeiro e Lopes (2011) viram que as ruas com orientações N-S registraram maiores quantidades de quedas em Lisboa, capital de Portugal, devido ao vento de rumo norte, conhecido como “nortada”, comum no verão. Em função do planejamento urbano dos leitos carroçáveis, em conjunto com a direção dos ventos alísios de sudeste, predominantes na área, percebe-se que as ruas com orientação sudeste - noroeste (SE-NO) e nordeste - sudoeste (NE-SO) totalizaram 80,4% das quedas (Figura 2.16).

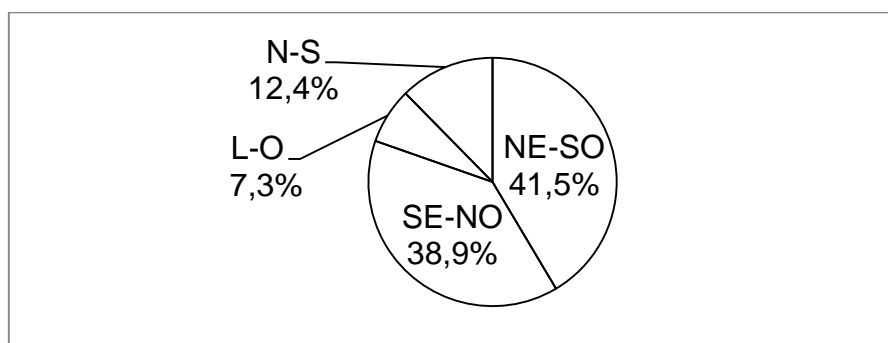


Figura 2.16 – Quedas de árvores por orientação da rua. Fonte: o autor

O planejamento da divisão das regiões geográficas norte, sul, leste, oeste e centro foi feito de modo adequado, seguindo a topografia do relevo, cujos limites territoriais correspondem aos topos de morro e baixadas. O modelo digital do terreno, elaborado com curvas de nível de 1 m obtidas a partir do Topodata, sob iniciativa do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), revelou que as quedas nos bairros São Judas / São Dimas estão suscetíveis a ventos de maior intensidade, em virtude da altitude mais elevada do relevo (Figura 2.17).

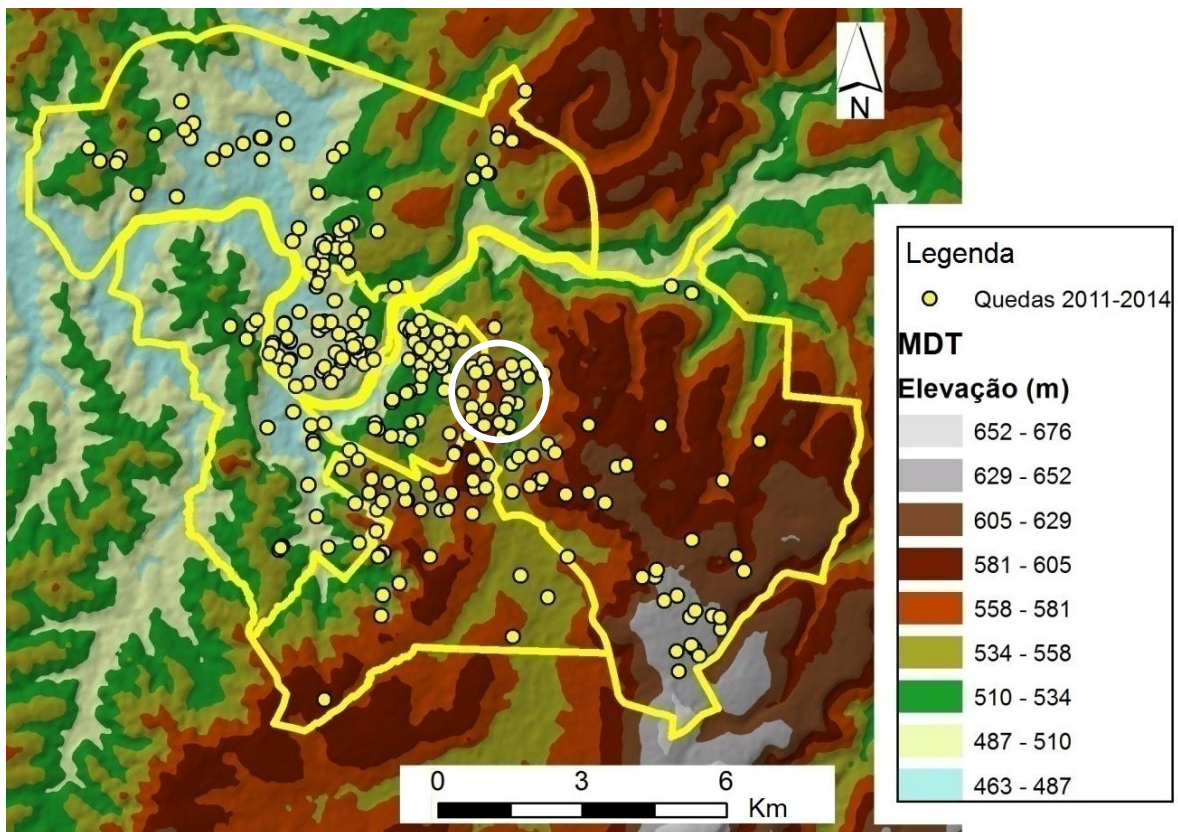


Figura 2.17 – Quedas de árvores conforme o modelo digital do terreno (MDT) de Piracicaba/SP; o círculo em branco compreende os bairros São Judas e São Dimas, em altitude elevada. Fonte: o autor

2.3.3 Vulnerabilidade de espécies

Foram pressupostos 123 indivíduos, além de 4 mortas. Rollo (2014) amostrou 9,6% dos 3759 quarteirões de Piracicaba, ou seja, 360, e encontrou 5744 indivíduos, numa população arbóreo-arbustiva estimada em 60.146 indivíduos de rua na cidade, pertencentes a 165 espécies.

Para ter representatividade nas pressuposições das quedas, considerou-se pelo menos 2 casos e comparou-os com os resultados de Rollo (2014), a fim de verificar se as que caem mais são porque há mais exemplares ou se, de fato, são mais vulneráveis. O índice foi obtido dividindo-se a quantidade de queda

pressuposta pela quantidade existente nas ruas e transformada em porcentagem (Figura 2.18).

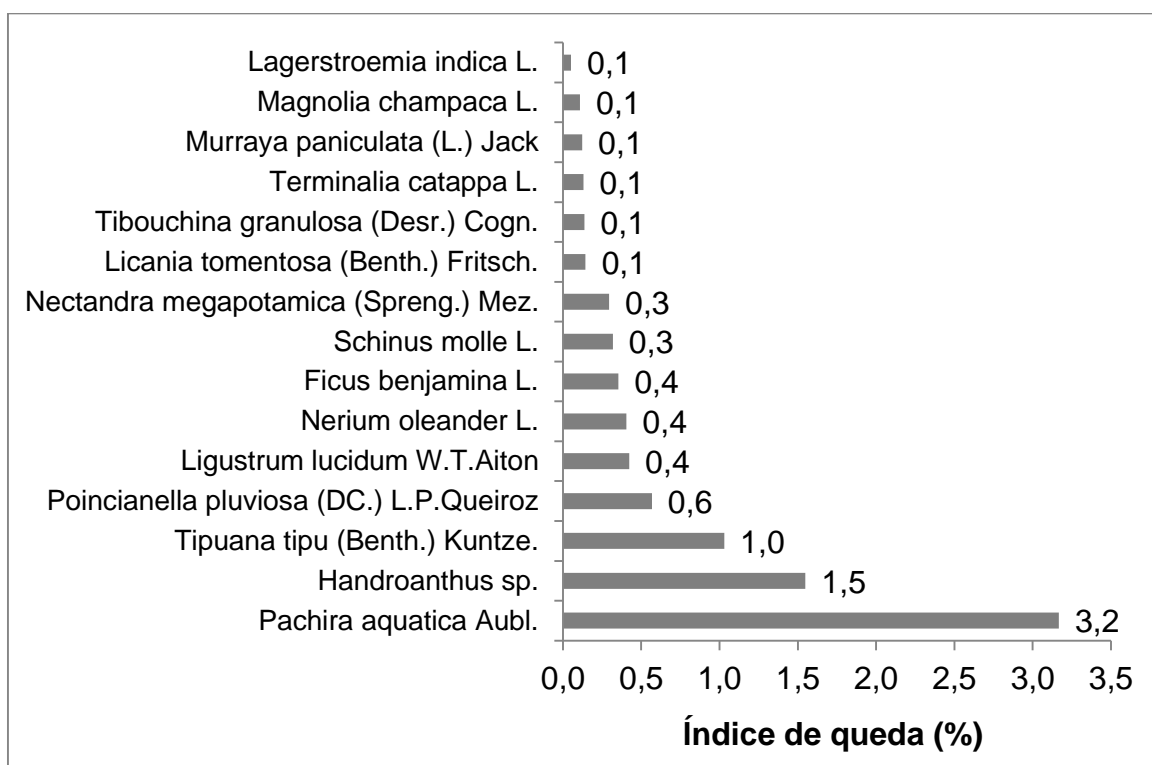


Figura 2.18 – Espécies plantadas na arborização de vias públicas vulneráveis à queda, conforme os 275 casos do banco de dados dos Bombeiros, durante 3,5 anos passados. Fonte: o autor

As espécies mais vulneráveis foram *Pachira aquatica* Aubl. (monguba), *Handroanthus* sp. (ipê roxo) e *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (tipuana), como exhibe a figura 2.19.

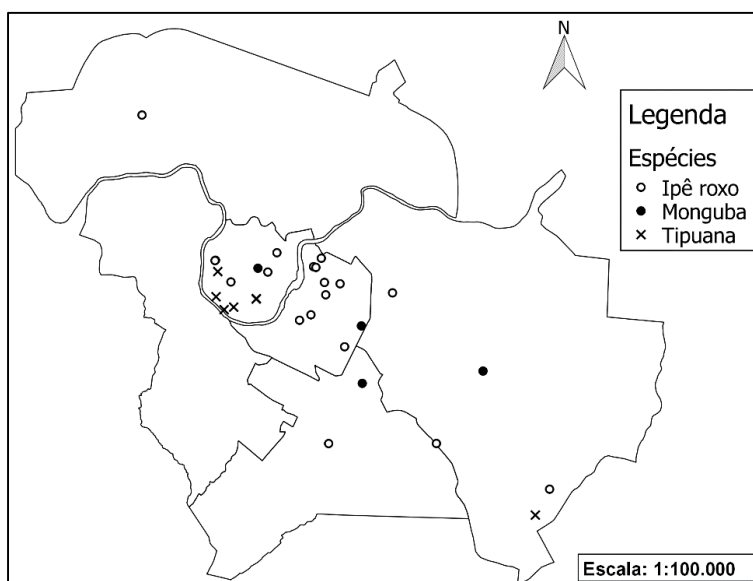


Figura 2.19 – Espacialização das três espécies com maior vulnerabilidade à queda: monguba, ipê roxo e tipuana, com 71,4% dos casos concentrados na região central. Fonte: o autor

Apesar da análise somente visual, as espécies *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (guapuruvu) e *Triplaris americana* L. (pau formiga), raros em ruas, mas comuns em praças, costumam falhar no tronco, ao sofrer torção. Ambos os responsáveis pelas remoções das quedas, Bombeiros e SEDEMA, mostraram satisfatório grau de conhecimento no assunto, uma vez que representantes dos Bombeiros disseram que tipuana, sibipiruna e ipê caem bastante, enquanto que representantes da SEDEMA, ipê e ficus benjamina.

A figura 2.20 ressalta a importância do tamanho do canteiro, visto que, se o mesmo for estreito, as raízes tendem a subir para respirar e comprometem a sustentação, tornando-se vulneráveis à queda, conforme observado na Rua Pedro Eusébio Stocco, 362 (bairro Jardim Alvorada) e Rua dos Uirapurús, 133 (bairro Parque Chapadão), respectivamente.



Figura 2.20 – Exemplos de plantas com canteiro de tamanho reduzido que caíram: *Nerium oleander* L. (espirradeira) e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch. (oiti), nessa ordem. Fonte: Google Street View

2.4 Conclusão

A pesquisa teve como contribuição o entendimento das quedas de árvores no município de Piracicaba/SP, sendo o fator “urbanização” como um dos principais responsáveis, visto que 36,7% concentraram-se na região do centro, enquanto que 48,4%, em solo classificado como urbanizado. Isso se deve em função de condições estressantes para as plantas, como solo compactado, canteiros estreitos e danificações no sistema radicular, capaz de comprometer a sustentação.

As estações do ano que mais caíram árvores foram primavera e verão que, juntas, somaram 78,0% do total. Exatamente nesse período que ocorrem os agravantes chuva (verão) e vento (primavera) e, dependendo das condições

fitossanitárias, podem ocasionar a queda. Enquanto que 97,1% caíram com rajada de vento superior a 7 m s^{-1} nas últimas 24 horas, conforme metodologia proposta por Oliveira e Lopes (2007), quase metade (42,2%) sucumbiram com ventos superiores a 15 m s^{-1} . Do total, 65,5% das árvores caíram com chuvas nas últimas 24 horas.

O período de retorno esperado de ventos fortes, classificados entre “temporal” e “tornado/furacão”, conforme a Escala de vento de Beaufort, com velocidade superior a 75 km h^{-1} , é de 1 a cada 128,5 dias, ou seja, 2,8 eventos por ano, enquanto que ventos acima de 100 km h^{-1} , 1 a cada 1087 dias (equivalente a 3 anos).

As espécies mais vulneráveis perante as condições analisadas foram *Pachira aquatica* Aubl. (monguba), *Handroanthus* sp. (ipê roxo) e *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (tipuana), o que representa oportunidades de manejo específicas, cujas condições intrínsecas do local de plantio podem ser desfavoráveis.

Baseado na direção dos ventos predominantes de leste, sudeste e sul (ventos alísios), concluiu-se que os melhores lugares para localizar as indústrias são zona norte, noroeste e oeste, visto a importância da dispersão dos poluentes, evitando a entrada desses no interior das cidades.

Referências

- ALBERS, J.S.; POKORNY, J.D.; JOHNSON, G.R. How to Detect and Assess Hazardous Defects in Trees. In: POKORNY, J.D. (Ed.). **Urban Tree Risk Management: A Community Guide to Program Design and Implementation**. St. Paul: USDA Forest Service. 1992. chap. 3. p. 41-116.
- BONAN, G.G. **Ecological Climatology: Concepts and Application**. New York: Cambridge Univ. Press, 2002. 990p.
- BURGARDT, S.; LEITE, M.L.; VIRGENS FILHO, J.S. Direção horária predominante e de rajada de vento em localidades dos campos gerais do Paraná e arredores. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8, p. 137-151, 2011.
- CAMARGO, R. **Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG / USP / Seção Técnica de Serviços Meteorológicos**, São Paulo, v. 17, 2014. 76p.
- CLEUGH, H.; GRIMMOND, S. Urban Climates and Global Climate Change. In: HENDERSON-SELLERS, A.; MCGUFFIE, K. **The Future of the World's Climate**, Oxford: Elsevier. 2011. chap. 3. p. 47-76.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 608p.

DOBBERT, L.Y.; PRATA-SHIMOMURA, A.R.; MENDES, F.H.; SILVA FILHO, D.F. The influence of tree canopy cover on urban thermal comfort. In: CONGRESSO LUSO - BRASILEIRO PARA O PLANEAMENTO URBANO REGIONAL INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 6., 2014, Lisboa. **Proceedings...** Lisboa: PLURIS, 2014. 8p.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 80, n. 3-4, p. 213-232, 1992.

FIORAVANTI, C. **Estufa que exporta poluição**. Pesquisa FAPESP. 2002. p. 28-35.

JULIÃO, R.P.; NERY, F.; RIBEIRO, J.L.; CASTELO BRANCO, M.; ZÊZERE, J.L. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. Carnaxide: AUTORIDADE NACIONAL DE PROTECÇÃO CIVIL. 2009. 91p.

MATTHECK, C. **Updated Field Guide for Visual Tree Assessment**. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe Gm, 2007. 170p.

MATTHECK, C.; BRELOER, H. **The body language of trees: a handbook for failure analysis**. London: The Stationery Office, 1997. 239p.

MENDES, F.H.; SILVA FILHO, D.F.; LOPES, A.M.S. A sombra de edifícios como índice de verticalização das cidades. **Hipótese**, Itapetininga, v. 1, n. 1, p. 24-34, 2015.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2nd. ed. London: Routledge. 1987. 435p.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Embrapa Solos / IAC, 1999. 64p.

OLIVEIRA, J.B.C.; PRADO, H. **Carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo**: Folha Piracicaba. (SF 23-Y-A-IV). Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1989. Mapa, escala 1:100.000.

OLIVEIRA, S.; LOPES, A.M.S. Metodologia de avaliação do risco de queda de árvores devido a ventos fortes. O caso de Lisboa. In: CONGRESSO DA GEOGRAFIA PORTUGUESA, 6., 2007. Lisboa. **Anais...** Lisboa: CGP, 2007. 21p.

OMM – ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normals**. WMO. WCDP, n. 10. Geneva, 1989. (Technical document, 341).

PRATA, A.R. **Dimensionamento do impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano simulando em túnel de vento**: o caso de Santos. 2005. 243p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RIBEIRO, P; LOPES, A. Modelação do risco de queda de árvores sobre as viaturas devido a ventos fortes em Lisboa. In: CONGRESSO DA GEOGRAFIA PORTUGUESA, 8., 2011. Lisboa. **Anais...** Lisboa: CGP, 2011. p. 1-6.

ROLLO, L.C.P. **Metodologias de quantificação de áreas verdes urbanas**: mapeamento da cobertura arbórea e inventário florestal de árvores de rua em cidades do Estado de São Paulo. 2014. 103p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SANTOS, R.M. **Morfologia urbana e conforto térmico**. AUP 823 Seminário da Integração, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2004. 13p.

SEITZ, R.A. **Manual de poda de espécies arbóreas florestais**. Curitiba: FUPEF, 1995. 56p.

SENE, E.; MOREIRA, J.C. **Geografia geral e do Brasil**: espaço geográfico e globalização. São Paulo: Scipione, 1998. 504p.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M.E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 31, n. 3, p. 221-235, Apr. 2000.

TROEN, I.; PETERSEN E.L. **European Wind Atlas**, Roskild: Risø National Laboratory, 1989. 656p.

3 ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR PARA DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS URBANAS

Resumo

A presente pesquisa teve como escopo a quantificação do Índice de Área Foliar (LAI) de diferentes espécies arbóreas utilizadas na arborização urbana, durante o período da estiagem em Piracicaba (SP), cuja vegetação predominante é a floresta estacional semidecidual. Por meio do equipamento LAI 2000 *Plant Canopy Analyser*, desenvolvido pela LI-COR, foram obtidos valores médios de LAI para 15 espécies. Dentre as análises, *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch. obteve maior valor (5,2), seguido do *Cupressus sempervirens* L. (5,1) e *Caesalpinia echinata* Lam. (4,3), enquanto que o menor foi registrado pelo *Jacaranda mimosifolia* D.Don (0,8). Estimativas horárias do LAI ao longo do dia mostraram, em geral, que a radiação direta subestimou o Índice de Área Foliar. Por se tratar de trabalho inédito, a estimativa do LAI para árvores urbanas desperta atenção, ao se mostrar como mais um fator a ser considerado na escolha da espécie para seu respectivo uso em vias públicas.

Palavras-chave: Árvores urbanas; Índice de área foliar; LAI 2000 *Plant Canopy Analyser*

Abstract

This research aimed to quantify the Leaf Area Index (LAI) for different species of trees used in urban forestry, during the dry season in Piracicaba (SP), in a semideciduous forest. Through the equipment called LAI 2000 Plant Canopy Analyser, developed by LI-COR, we obtained mean values of LAI for 15 species. The results showed that *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch. had higher value (5.2), followed by *Cupressus sempervirens* L. (5.1) and *Caesalpinia echinata* Lam. (4.3), while the lowest value was recorded at *Jacaranda mimosifolia* D.Don (0.8). Hourly estimation about LAI during the day showed, in general, that direct radiation underestimated the Leaf Area Index. This work is pilot, then, the assessment about LAI for urban trees draws attention, because could be another factor to be considered on the choice of species on public streets.

Keywords: Urban trees; Leaf area index; LAI 2000 Plant Canopy Analyser

3.1 Introdução

O índice de área foliar (IAF), também conhecido como *Leaf Area Index* (LAI), é a razão entre a área foliar do dossel e sua respectiva projeção sobre o solo ($m^2 m^{-2}$), sendo representado por um número adimensional (WATSON, 1947). O LAI é uma variável biofísica que está ligada diretamente aos processos ecológicos e fisiológicos, como fotossíntese e evapotranspiração, além de poder auxiliar no entendimento de adaptações físico-químicas da vegetação (NORMAN; CAMPBELL, 1989).

Ele pode ser quantificado por métodos diretos, que, apesar de possuir alta precisão, são destrutivos e trabalhosos ou métodos indiretos, que são mais práticos e mais utilizados, em virtude da prévia aferição através do método destrutivo.

Como meios indiretos, destaca-se o LAI 2000 *Plant Canopy Analyser*, equipamento que se sobressai pela praticidade e rapidez na obtenção do LAI. Ele analisa a redução da radiação solar pela copa, fundamentado no conceito do *gap fraction*, que corresponde à proporção das aberturas da copa acima do ponto de medição, variando entre as árvores devido ao arranjo geométrico das folhas. Entretanto, os ramos e troncos, assim como a aglomeração de folhas, aparecem como as principais fontes de erro, pois, enquanto aqueles interceptam a radiação, superestimando o resultado principalmente em locais de baixo LAI, este danifica o pressuposto da distribuição aleatória das folhas projetadas no plano (WELLES, 1990).

Para Nowak (1994), a qualidade do ar nas cidades pode ser avaliada por meio da área foliar, através de medições da interceptação de poluentes para diferentes espécies de árvores.

Shinzato et al. (2013) utilizaram o LAI 2000 no interior do Parque Trianon, em São Paulo (SP), para 22 pontos distintos e encontraram um valor médio de 2,52, sendo que as estimações variaram entre 1,46 e 3,86.

Em Portugal, Amorim et al. (2013) estudaram a influência da ventilação na dispersão de poluentes e encontraram uma redução geral de 16% na concentração de CO em avenida disposta quase que paralela à direção do vento ao comparar com outra posicionada aproximadamente 45°. Esses autores relataram a forte dependência que a qualidade do ar sofre em função das sinergias realizadas entre condições meteorológicas, configurações 3D de *canyons* urbanos e presença de vegetação.

Portanto, esse estudo buscou quantificar o índice de área foliar para árvores utilizadas na arborização urbana de Piracicaba (SP), valor esse considerado no cálculo do balanço de energia em áreas urbanas.

3.2 Materiais e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida na ESALQ/USP, em Piracicaba (SP). Situado a uma altitude de 546 m, com coordenadas geográficas 22°42'30" S e 47°38'00"

W, o município possui clima do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como subtropical úmido com estiagem no inverno; a precipitação média anual é de 1328 mm, com temperaturas anuais mínima média de 14,8°C e máxima média de 28,2°C, conforme dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), da Universidade de Campinas (UNICAMP).

A Folha de Piracicaba destaca que a vegetação predominante no município é a floresta estacional semidecidual, localizada no domínio da Depressão Periférica Paulista (OLIVEIRA; PRADO, 1989).

Por meio do LAI 2000 (Figura 3.1), foi estimado o LAI médio para 15 espécies arbóreas, sendo que para cada espécie foram considerados 3 indivíduos com diferentes geometrias de copa, a fim de quantificar, além do LAI médio, o desvio padrão. O dia de campo escolhido foi 18 de julho de 2014, onde houve alta nebulosidade no céu e a radiação solar direta foi praticamente inexistente, condição ideal para utilização do LAI, assim como pela manhã ou final da tarde. Segundo a Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP (ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS, 2014), a radiação solar média incidente para esse dia foi de 104,30 W m⁻². Nos poucos instantes de radiação direta, não houve medições do LAI. Para cada árvore, foram realizadas uma medição externa e cinco sob a copa, sendo todas com a capa protetora de menor abertura disponível (10°), de modo a limitar a porção das folhas da copa, desviando de galhos e ramos.



Figura 3.1 – LAI 2000 *Plant Canopy Analyser*; ao lado, uma régua de 30 cm e o manual do usuário. Fonte: o autor

De igual modo, para avaliar a variação dos valores do LAI ao longo do dia, sob influência da radiação direta, sendo isto apresentado como possível fonte de erro de estimativas, haja vista as condições ideais de campo, foi adotado o dia 30 de julho de 2014, dia com céu aberto e pouca nebulosidade. De acordo com a Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP (ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS, 2014), a radiação solar média incidente foi de $234,03 \text{ w m}^{-2}$, sendo o nascer do sol às 6h45 e o pôr do sol às 17h48, de acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE, 2014). Assim fez-se para as espécies com maior e menor LAI dentre as estudadas.

O equipamento consiste em um sensor óptico acoplado a uma lente de 148° que mensura simultaneamente a radiação difusa em cinco bandas angulares diferentes (7° , 23° , 38° , 53° , 68°), com 5 fotodiodos de superfícies ativas arranjados em anéis concêntricos (Figura 3.2). A imagem da copa, de formato quase hemisférica, é projetada dentro desses anéis, o que permite, para cada intervalo angular, a medição da radiação na banda e no ângulo zenital conhecido, na qual um filtro óptico restringe a transmissão radiativa para comprimentos de onda menores que 490 nm (LI-COR, 1992). Os dados coletados ficam armazenados na memória interna do próprio dispositivo.

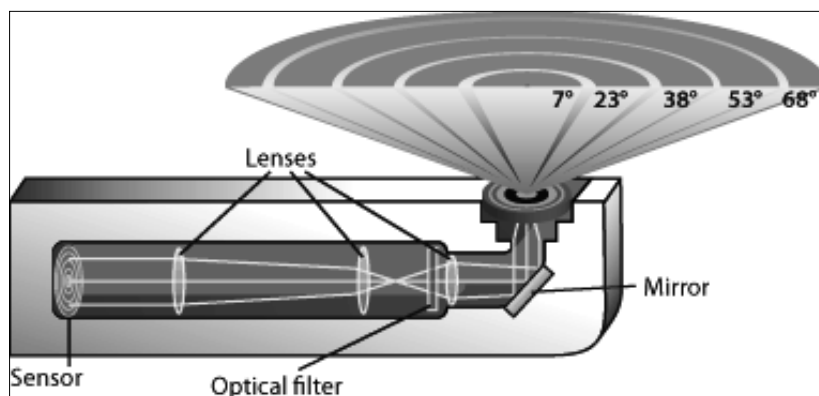


Figura 3.2 – Estrutura interna do LAI 2000. Fonte: LI-COR

Em sequência, utilizando o *software* FV 2200, desenvolvido pela LI-COR, os valores de LAI foram descarregados. É importante salientar que pode ocorrer um “mascaramento” de certos anéis, como, por exemplo, se o campo de vista de referência não for suficientemente grande, as leituras dos últimos anéis precisam ser desconsideradas, evitando o céu aberto. A figura 3.3 exemplifica o caso:

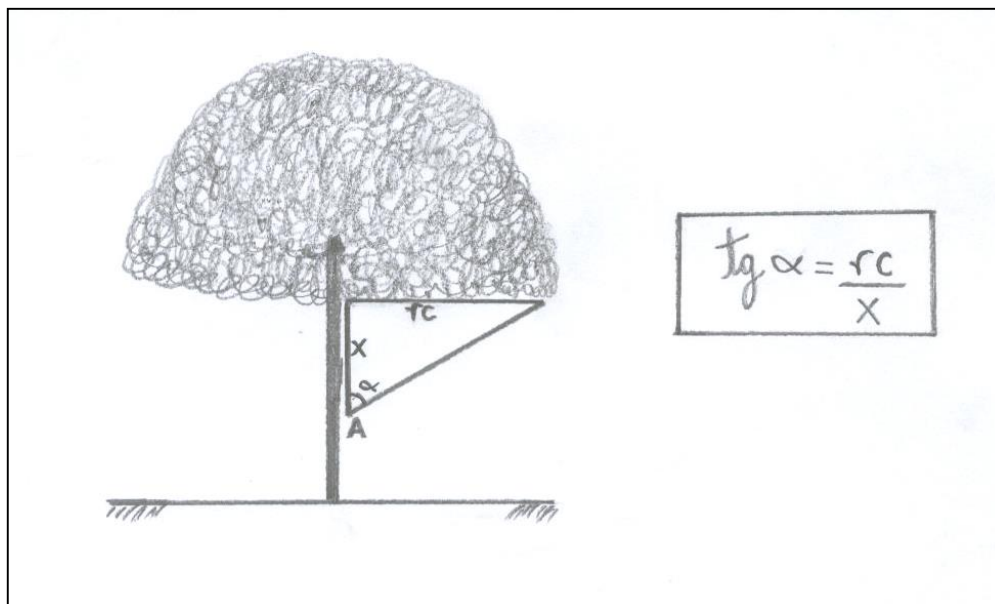


Figura 3.3 – Exemplo do cálculo a ser feito para aceite ou exclusão da leitura, onde: A = ponto de leitura do equipamento LAI 2000; α = ângulo da medição formado entre o eixo perpendicular ao solo e a extremidade da copa (em graus); rc = raio da copa (m); x = distância entre o equipamento LAI 2000 e a base da copa (m). Fonte: o autor

Assim, uma vez conhecidos valores de rc e x , foi possível encontrar o ângulo α , sendo esse o valor máximo que poderá ser utilizado. Podem ocorrer casos em que é necessária a exclusão de mais que um anel. Se $\alpha > 68^\circ$, tem-se que todas as leituras do LAI 2000 estavam sob a copa.

3.3 Resultados e Discussão

Dentre as 15 espécies analisadas, foi constatado que o oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch.) obteve maior LAI, enquanto que o jacarandá mimoso (*Jacaranda mimosifolia* D.Don), o menor. O cipreste italiano (*Cupressus sempervirens* L.), apesar do plantio em áreas urbanas não ser tão comum, foi estimado o LAI para ter um parâmetro do que seria uma árvore com LAI elevado, conforme figura a seguir:

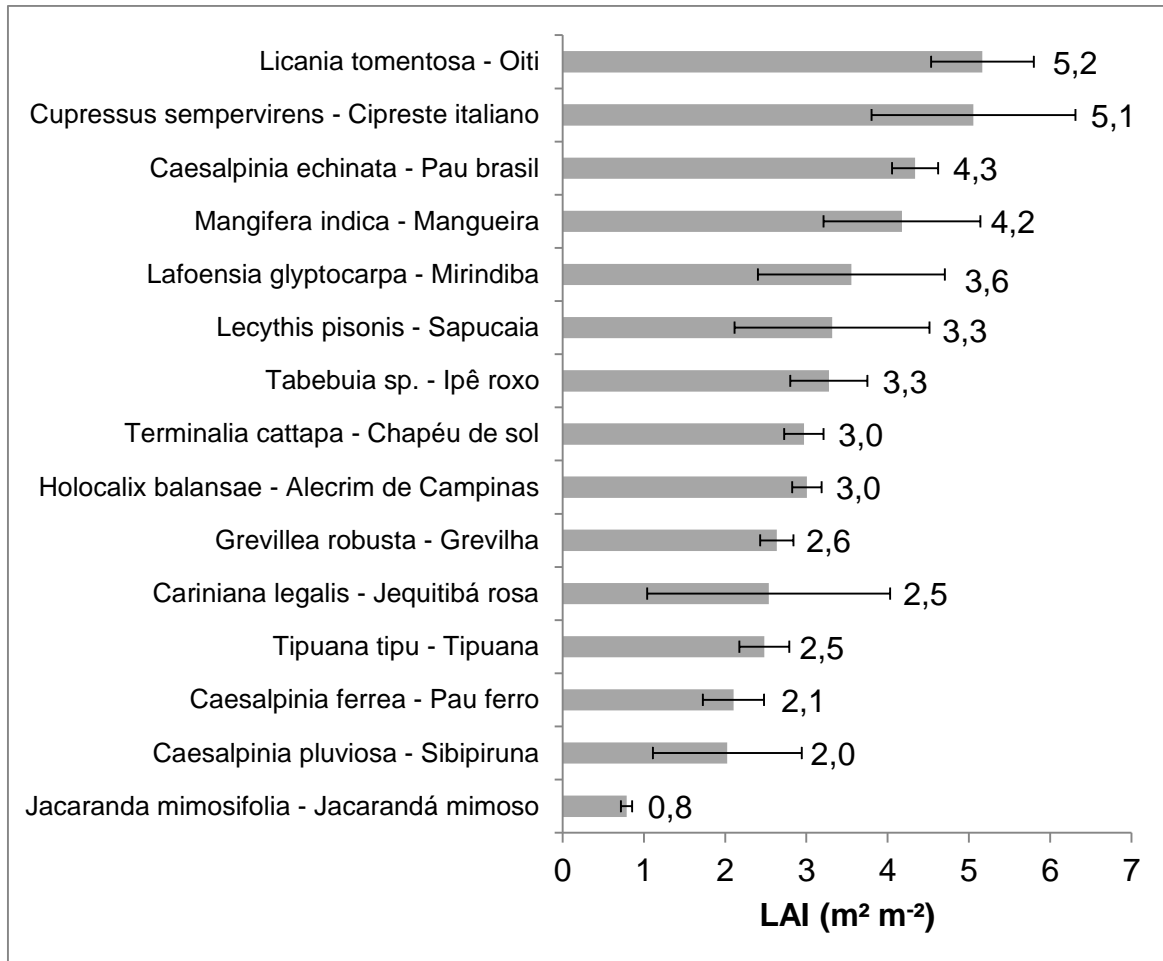


Figura 3.4 – Estimativas do LAI para 15 espécies de árvores, com o respectivo desvio padrão.
Fonte: o autor

Percebe-se grande diferença do LAI do jacarandá mimoso para as demais. A explicação é que, aliado ao fato da árvore não possuir copa densa, os dados foram coletados na metade de julho, correspondente ao inverno local e, por se tratar de uma espécie decídua a semidecídua, possuía poucas folhas no instante da quantificação, apesar da figura 3.4 ter outras espécies que ainda vão perder folhas no inverno.

Abaixo, é possível verificar as árvores com diferentes índices de área foliar:



Figura 3.5 – Comparativo entre (A) *Licania tomentosa* - LAI = 5,2 e (B) *Jacaranda mimosifolia* - LAI = 0,8, respectivamente. Fonte: o autor

Em seguida, para verificar a influência da radiação direta nas estimativas de LAI, duas espécies foram monitoradas das 6h00 até às 18h00: *Licania tomentosa*, com alto LAI e *Jacaranda mimosifolia*, com baixo LAI.

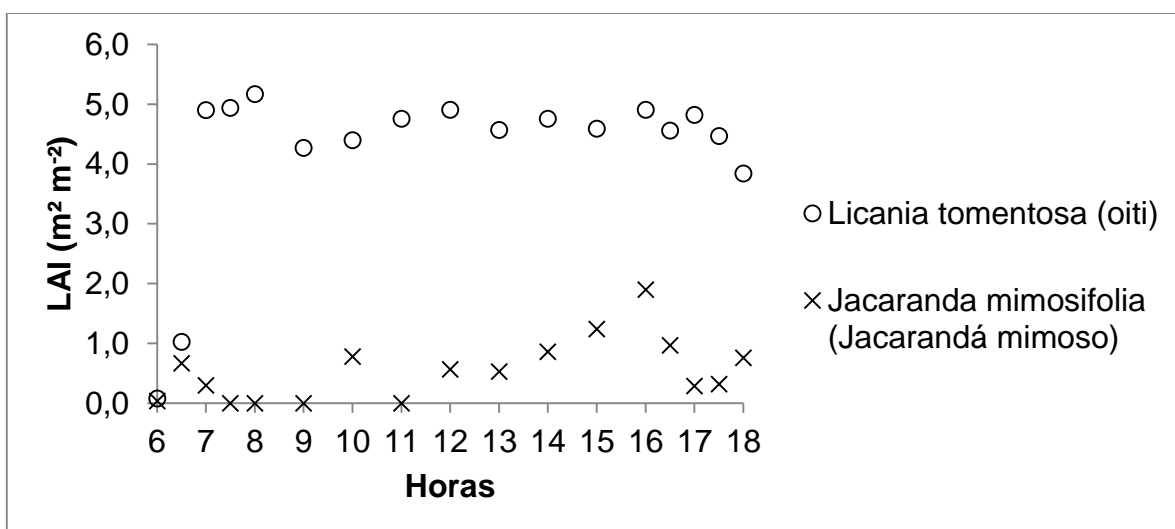


Figura 3.6 – Variação horária do LAI ao longo do dia para espécies com diferentes valores de LAI. Fonte: o autor

Ficou evidente que a presença da radiação direta influenciou na estimativa do LAI, subestimando os valores. Os primeiros pontos das duas espécies podem ser considerados discrepantes em virtude do horário do nascer do sol, ou seja, ainda estava muito escuro durante a aferição. O segundo ponto coletado para *Licania tomentosa* também foi subestimado em função da presença de um poste de iluminação que estava aceso no momento da análise.

3.4 Conclusão

Os maiores valores de LAI foram encontrados nas espécies *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch., *Cupressus sempervirens* L. e *Caesalpinia echinata* Lam., enquanto que os menores, em *Jacaranda mimosifolia* D.Don, *Caesalpinia pluviosa* DC. e *Caesalpinia ferrea* C.Mart.

O monitoramento horário de árvores com diferentes estimativas de LAI mostrou que a radiação direta subestimou o LAI. O ângulo de inclinação do sol também pode ter interferido na curva de dispersão dos pontos.

O estudo do LAI para árvores urbanas merece mais atenção. A literatura é escassa quanto ao tema e futuras pesquisas poderão avaliar a influência de árvores de diferentes LAI para condições de conforto ambiental, retenção de poluentes, interceptação da pluviosidade e balanço da evapotranspiração. Perante o exposto, o LAI pode ser mais um dos critérios adotados na escolha da espécie a ser utilizada na arborização de vias públicas, além dos já comentados por Paiva (2000), como tipo de copa, porte, flores, frutos, troncos, raízes, problemas de toxidez, rusticidade, resistência, desrama natural e origem. Faz-se necessário, inclusive, a elaboração de uma escala que agrupe árvores com valores de LAI próximos.

Incrementando a pesquisa de Amorim et al. (2013), tendo-se como base a dispersão de poluentes por ventos, para ruas com alto tráfego de veículos, se a orientação do vento predominante for paralela à rua, podem ser escolhidas espécies com elevados valores de LAI, enquanto que se o vento predominante for quase perpendicular ao sentido da rua, árvores com valores intermediários de LAI podem ser mais interessantes.

Como a vegetação predominante local é a floresta estacional semidecidual, os dados aqui apresentados podem ser comparados com medições na época do verão, estação chuvosa, onde as folhas estão mais vigorosas e o LAI tende a ser maior.

Devido à existência de modelos computacionais tridimensionais, como o ENVI-met, capaz de simular interações entre superfície - vegetação - atmosfera, o LAI é uma das variáveis de entrada no modelo (BRUSE, 2009), sendo possível inserir essas informações no banco de dados de plantas. Assim, tais árvores podem ser modeladas em futuras simulações microclimáticas para o local.

Referências

- AMORIM, J.H.; RODRIGUES, V.; TAVARES, R.; VALENTE, J.; BORREGO, C. CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 461-462, p. 541-551, Sept. 2013.
- BRUSE, M. **ENVI-met 3.1**: Online Manual. 2009. Disponível em <<http://www.envi-met.com/>>. Acesso em: 23 jul. 2014.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_436.html>. Acesso em: 22 jul. 2014.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/cidades/tempo/4009>>. Acesso em: 30 jul. 2014.
- ENGENHARIA DE BIODIVERSIDADE. Posto Meteorológico. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/posto.html>>. Acesso em: 23 jul. 2014.
- LI-COR. **LAI-2000 Plant Canopy Analyser**: Instruction manual. Li-cor Inc. Lincoln, 1992. 182p.
- NORMAN, J.M.; CAMPBELL, G.S. Canopy structure. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J., MOONEY, H. A., RUNDEL, P. W. (Ed.). **Plant physiological ecology**: field methods and instrumentation. London: Chapman and Hall, 1989. p. 301-326.
- NOWAK, D.J. Air pollution removal by Chicago's urban Forest. In: McPHERSON, E.G.; NOWAK, D.J.; ROWNTREE, R.A. (Ed.). **Chicago's Urban Forest Ecosystem**: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Radnor: USDA Forest Service, 1994. p. 63-81.
- OLIVEIRA, J.B.C.; PRADO, H. **Carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo**: Folha Piracicaba. (SF 23-Y-A-IV). Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1989. Mapa, escala 1:100.000.
- PAIVA, H.N. Seleção de espécies para arborização urbana. **Revista Ação Ambiental**, Viçosa, v. 2, n. 9, p. 14-16, 2000.
- SHINZATO, P.; DUARTE, D.H.S.; BARROS, F.; MOREIRA, D. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos: estimativa do índice de área foliar em diferentes grupos arbóreos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12.; ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC; ELACAC, 2013.
- WATSON, D.J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v. 11, p. 41-76, 1947.

WELLES, J.M. Some indirect methods of estimating canopy structure. **Remote Sensing Reviews**, New York, v.5, p. 31-43, 1990.

4 SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA DE VENTO EM BAIRRO RESIDENCIAL EM PIRACICABA/SP

Resumo

A presente pesquisa estudou as quedas de árvores no município de Piracicaba/SP, por meio do banco de dados dos Bombeiros, de 2011 a 2014. A avaliação espacial mostrou o predomínio de duas zonas: a parte da Vila Rezende/Nova Piracicaba, considerada arborizada e a outra, dos bairros São Judas/São Dimas, em relevo de maior altitude. A simulação microclimática em bairro residencial (Vila Independência) foi capaz de identificar mudanças na direção do vento nas proximidades das maiores edificações, entretanto, não foi suficiente para a canalização do vento, mas caíram devido ao vento inicial ser forte o suficiente para a derrubada.

Palavras-chave: ENVI-met; Modelagem computacional; Queda de árvores

Abstract

This paper studied the fallen trees in Piracicaba city, São Paulo state, Brazil, through database's Fire Department from 2011 to 2014. The spatial assessment showed the predominance of two zones: the part of Vila Rezende/Nova Piracicaba neighborhoods, considered wooded and another, São Judas/São Dimas neighborhoods, in the higher relief. The microclimate simulation in a residential area (Vila Independência) was able to identify changes in wind direction near the biggest buildings, however, it was not sufficient to canalize the wind, but fell due to the initial wind be strong enough to the fell.

Keywords: ENVI-met; Computational modeling; Fallen trees

4.1 Introdução

As cidades têm-se consolidadas de forma desorganizadas, não havendo concílio entre espaços verdes, construções e seres vivos, onde as superfícies impermeáveis são cada vez mais comuns e as ocorrências de ilhas de calor nos centros urbanos, de maior intensidade, causando desconforto e diminuindo a qualidade de vida das pessoas.

O clima urbano, definido por Oke (1978), corresponde ao resultado das modificações do urbanismo da superfície da Terra e a consequente interferência nas condições da atmosfera local. Para Duarte e Serra (2003), há um conjunto de mosaicos de microclimas em cada cidade, na qual cada bairro ou unidades territoriais menores podem possuir seu próprio microclima, devido à constituição da vegetação, edificação e solos locais, os quais afetarão diretamente a temperatura e umidade relativa do ar e direção e velocidade do vento.

A ação do vento no meio urbano depende da rugosidade da área, sendo compreendida como um valor de atrito da superfície, ou seja, a presença de edificações capazes de alterar significativamente os movimentos referentes ao deslocamento das massas de ar (SANTOS, 2004). Um exemplo disso é Lisboa, capital portuguesa, cujas ruas com orientação norte-sul são responsáveis por uma quantidade significativa de quedas de árvores (RIBEIRO; LOPES, 2011), cuja velocidade de vento que troncos e árvores começam a sucumbir corresponde a aproximadamente 7 m s^{-1} (OLIVEIRA; LOPES, 2007).

Após a passagem de dois furacões nos EUA em 1995, Duryea (1997) concluiu que as espécies nativas estão mais adaptadas às condições locais do que as exóticas e esse fato garante maior estabilidade àquelas contra eventos da natureza.

Moser et al. (2010) analisaram a ocorrência de árvores danificadas na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) após um evento de vento forte e encontraram como espécies suscetíveis às quedas *Cupressus lusitanica*, *Mimosa scabrella* e *Tipuana tipu*.

Em Piracicaba/SP, a maior velocidade de vento já registrada, segundo a estação meteorológica da ESALQ / USP, foi em 29 de março de 2006, com 44 m s^{-1} , valor máximo que o equipamento é capaz de medir. Nesse evento de tornado, de intensidade F1, segundo a escala Fujita de intensidade dos tornados, houve a derrubada de mais de 3% do total das árvores da cidade, sendo 500 apenas na ESALQ (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) e outras 400 na Unimep (Universidade Metodista de Piracicaba), com prejuízos urbanos da ordem de R\$ 1,5 milhão (NUNES et al., 2008).

Um modelo computacional capaz de realizar simulações a nível microclimático é o ENVI-met. Por meio desse programa, muitos autores conseguiram avaliar a interferência humana nas cidades: Ozkeresteci et al. (2003) afirmaram ser possível prever impactos climáticos, Yu e Hien (2006) avaliaram os benefícios dos parques urbanos em Cingapura, ao reduzir as temperaturas do ar, Kallas (2008) verificou que o arranjo urbano contribuiu para o aumento da temperatura do ar em sua área de estudo, Teresina/PI e Masiero e Souza (2012) comprovaram os efeitos microclimáticos oriundos da proximidade com uma represa em São José do Rio Preto (SP).

Tendo em vista a relevância de estudos relacionados a canalizações de vento no ambiente urbano, o objetivo da pesquisa foi avaliar a influência de vento forte em um bairro residencial com quedas de árvores, no município de Piracicaba/SP.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Área de estudo

O município de Piracicaba/SP situa-se a 546 m de altitude, coordenadas geográficas 22°42'30" S e 47°38'00" W. O clima é do tipo Cwa, com verão úmido e estiagem no inverno e precipitação média anual de 1328 mm. A vegetação predominante é a floresta estacional semidecidual, localizada no domínio da Depressão Periférica Paulista (OLIVEIRA; PRADO, 1989).

4.2.2 Queda de árvores

Obteve-se com o 16º Grupamento do Corpo de Bombeiros de Piracicaba/SP um banco de dados organizado contendo o endereço e as datas/horários das quedas de árvores de 03/01/2011 a 24/05/2014 enquadradas no perímetro urbano municipal, totalizando 275 casos, as quais foram espacializadas em SIG com o auxílio do site BatchGeo LLC⁴. A versão gratuita permitiu espacializar até 250 registros por vez, sendo necessário fazê-lo em duas partes. Como nem todas as quedas caíram exatamente na coordenada geográfica correta, verificou-se uma a uma fazendo os devidos ajustes.

Algumas limitações devem ser destacadas: (i) Não foi possível obter dados de quedas mais antigas, com registros impressos em papel e que se perderam com o tempo (hoje se encontra informatizado); (ii) Foram contabilizadas as quedas que representaram algum risco a pessoas e/ou patrimônio público; (iii) O banco de dados não distinguiu queda de árvores com queda de galhos; (iv) A data/horário do registro corresponde à hora de saída da viatura (atendimento da chamada) e não exatamente ao mesmo horário da queda; (v) A Secretaria de Defesa do Meio Ambiente (SEDEMA) também possui dados de quedas de

⁴ <<http://pt.batchgeo.com/>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

árvores (provavelmente mais que os Bombeiros), mas sem o horário das quedas/chamadas; entretanto, a Secretaria tem se esforçado para melhorias nesse sentido. Em eventos de maior urgência para atendimento das ocorrências, ambos se unem para a mesma causa, oferecendo suporte mútuo.

4.2.3 O *software* ENVI-met

Compreender a interação entre solo - vegetação - atmosfera é algo complexo (BONAN, 2002). Dessa forma, um modelo microclimático desenvolvido por Michael Bruse e Equipe, lançado inicialmente em 1998 (BRUSE; FLEER, 1998), é o ENVI-met, programa capaz de realizar simulações que visem entender o microclima urbano por meio da modelagem estruturada. É interessante o uso do ENVI-met perante outros *softwares* de simulação, como o Ansys CFX e o Ansys Fluent, visto que, enquanto aquele considera o sistema radicular das plantas, esses o consideram como objetos estáticos.

Alguns cuidados quanto ao uso do ENVI-met foram evidenciados por Carfan et al. (2012), que viram que após 100 m de altura, a velocidade do vento tende a declinar, podendo haver inversão térmica. Rosseti (2013) reforçou que a velocidade do vento é constante durante o processamento, não havendo retroalimentação e Francisco (2012) alertou que velocidade do vento inferior a 0,8 m s⁻¹ causa instabilidade no modelo. Entretanto, Jung et al. (2009) verificaram que o programa simulou bem os ventos em Busan, Coreia do Sul, sendo que os resultados gerados foram confiáveis o suficiente na prevenção e verificação das incidências de vento, onde a vegetação serviu como barreira física e diminuiu entre 18 e 27% a velocidade do vento inicial de 55 m s⁻¹.

Para a simulação computacional, utilizou-se a versão 3.1, a qual é composta por dois arquivos, sendo eles de extensão .in (modelagem da área) e .cf (arquivo de configuração). Disponível online, o “Tutorial para iniciantes: *software* ENVI-met versão 3.1”⁵ serviu de suporte. Os dados de entrada do modelo constam na tabela 4.1:

5

<http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:projetos:envi-met31_tutorial_iniciantes.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2015.

Tabela 4.1 – Dados de entrada no modelo ENVI-met versão 3.1. Para processar os dados, é necessário obedecer os padrões exigidos referentes aos separadores de unidades

Dados de entrada	Valor
Data início da simulação (DD.MM.AAAA)	21.07.2013
Tempo início da simulação (HH:MM:SS)	21:00:00
Tempo de simulação total em horas	1.00
Salvar modelo a cada (min)	60
Velocidade do vento a 10 m altura ($m s^{-1}$)	35.7
Direção do vento (graus)	135
Rugosidade z_0 no ponto de referência	0.1
Temperatura inicial atmosférica (K)	305.2
Umidade específica a 2500m ($g kg^{-1}$)	9.4
Umidade relativa a 2m (%)	69
Fator de ajuste de ondas curtas	0.5
Distância do <i>grid</i> (dx, dy e dz) em metros	4.2
Área de aninhamento (<i>grids</i>)	4
Coordenadas (lat / lon) em graus	-22.72 ; -47.63
Tamanho do modelo simulado em <i>grids</i>	180 x 140 x 25

Fonte: o autor

As justificativas das escolhas das variáveis foram:

(i) 21 de julho de 2013 foi um dia que houve vento forte, na qual a estação meteorológica convencional da ESALQ/USP – Piracicaba/SP, a 10 m de altura, registrou $35,7 m s^{-1}$ e a estação automática, a 2 m, a direção predominante de sudeste;

(ii) O início da simulação deve ser um horário de condições de atmosfera neutra, na qual a temperatura potencial pode ser considerada constante ao longo do perfil da camada de mistura de ar (STULL, 1988), ou seja, início do anoitecer ou antes do nascer do sol. Como a sondagem atmosférica mais próxima (estação Campo de Marte – 83779) é feita às 00Z e às 12Z (21h00 e 9h00, respectivamente, hora local UTC–3), de acordo com os dados compilados pela Universidade de Wyoming⁶, fica restrita a inicialização do modelo às 21h00;

(iii) O tempo de simulação de 1 hora foi definido a fim de verificar o comportamento da área no instante da rajada de vento;

⁶ <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

(iv) O valor da rugosidade da área (0,1) foi adotado como padrão do modelo, típico para áreas abertas com obstáculos ocasionais (WIERINGA et al., 2001);

(v) A temperatura inicial atmosférica também foi obtida a partir da Universidade de Wyoming, com posterior correção por meio da calculadora Shodor⁷ (Figura 4.1). O valor foi arredondado em se tratando de modelo numérico complexo, cujo tempo de processamento seria prolongado;

Potential Temperature:	305.1868	K	Clear Field
Temperature:	12.8796	C	Clear Field
Pressure:	797.1801	mb	Clear Field

Figura 4.1 – Correção da temperatura potencial por meio da calculadora online Shodor, ao entrar com dados de temperatura e pressão (oriundos da Universidade de Wyoming).
Fonte: Adaptado da calculadora Shodor

(vi) Para a umidade específica, fez-se uma curva de regressão exponencial para 2500 m de altitude, cujo dado é exigência do modelo (Figura 4.2);

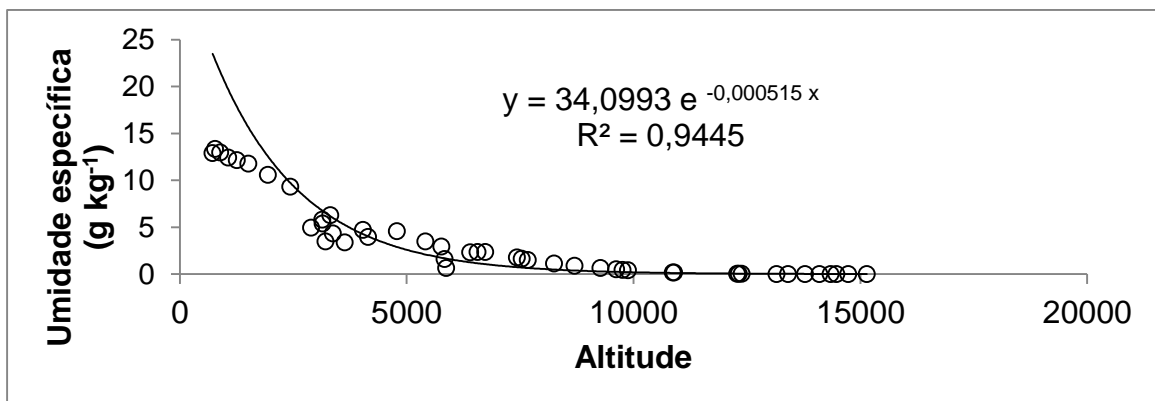


Figura 4.2 – Curva de regressão exponencial para encontrar o valor da umidade específica a 2500 m de altitude, bastando entrar com 2500 no valor de x para encontrar a umidade específica em y (dados da Universidade de Wyoming). Fonte: o autor

(vii) A umidade relativa do ar foi proveniente da estação automática da ESALQ/USP, que fica a 2 m de altura.

⁷ <http://www.shodor.org/os411/courses/_master/tools/calculators/pottemp/pt1calc.html>.

(viii) O fator de ajuste de ondas curtas foi elaborado por meio do balanço da curva polinomial de grau 2 da radiação solar global do dia 21 de julho de 2013 (Figura 4.3), cujo horário das 12h00 foi tido como base para o ajuste de 0,5, que foi o que mais se aproximou da realidade;

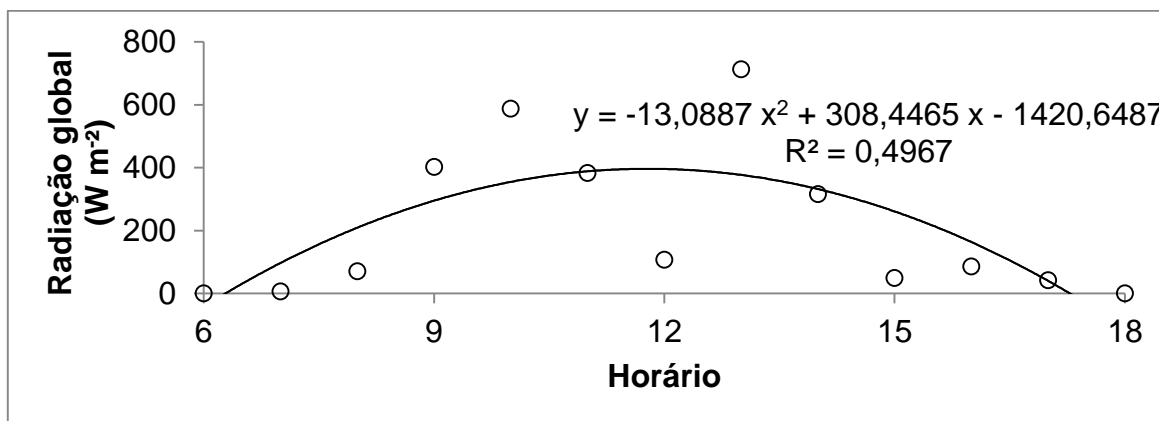


Figura 4.3 – Curva de regressão polinomial grau 2 para encontrar o ajuste da radiação global. No caso, às 12h00 encontrou-se 395,93 W m⁻². Fonte: o autor

(ix) Os valores de dx, dy e dz foram 4,20 m. O modelo ENVI-met permite simular área máxima de 2 km x 2 km, sendo o tamanho do *grid* 10 m. O bairro simulado possui dimensões 756 m x 588 m;

(x) A área de aninhamento foi de 4 *grids*, na qual o próprio programa sugere quanto deve ser essa área mínima de modo a minimizar o efeito da borda pelas variáveis climáticas.

Outras variáveis foram utilizadas padrão do ENVI-met. Quanto à vegetação inserida no modelo, consistiu em 7 diferentes tipos: gramado, sibipiruna (*Poincianella pluviosa* (DC.) L.P. Queiroz), oiti (*Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch), falsa murta (*Murraya paniculata* (L.) Jack), palmeira e dois tipos de arbustos (Tabela 4.2):

Tabela 4.2 – Modelagem da vegetação inserida no modelo, no arquivo “Plants.dat”. Os dados do LAD (*Leaf Area Density*) foram adaptados de Mendes et al. (2014), enquanto os RAD (*Root Area Density*) foram todos utilizados padrão (0,1)

V3 ----- ENVI-met Database Version 3 ----- this file is only usable with ENVI-met V3.0 or higher -----																	
ID	C?	TY	rs-m	a_f	HH.HH	TT.TT	LAD1	LAD2	LAD3	LAD4	LAD5	LAD6	LAD7	LAD8	LAD9	LAD10	Espécie
gr	C3	3	200	0	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	grass 20cm
sb	C3	1	400	0	10	2	0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	sibipiruna 10m
ot	C3	1	400	0	6	2	0	0	0	0.6	0.8	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	oiti 6m
fm	C3	1	400	0	5	2	0	0	0	0.6	0.8	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	falsa murta 5m
pm	C3	1	400	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0.4	palmeira 7m
a2	C3	1	400	0	2	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	arbusto 2m
a4	C3	1	400	0	4	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	arbusto 4m

Fonte: Adaptado de Mendes et al. (2014)

4.3 Resultados e Discussão

As quedas das árvores foram espacializadas em SIG, a fim de verificar a dispersão no território urbano. Notou-se total correlação com o nível de urbanização da cidade, onde zonas altamente edificadas (centro) apresentaram mais quedas. Houve duas concentrações de maior destaque, conforme figura 4.1. Em A, predominam os bairros arborizados Nova Piracicaba, Vila Rezende e Jardim Monumento, enquanto que em B, área central com maior elevação do relevo (aproximadamente 540 m, segundo as curvas de nível do município), São Dimas, São Judas, Cidade Jardim, Vila Independência e Vila Monteiro. Desse modo, fez-se a simulação microclimática para a Vila Independência (destacado em amarelo), caracterizada como residencial com dimensões aproximadas de 756 m x 588 m (Figura 4.4).

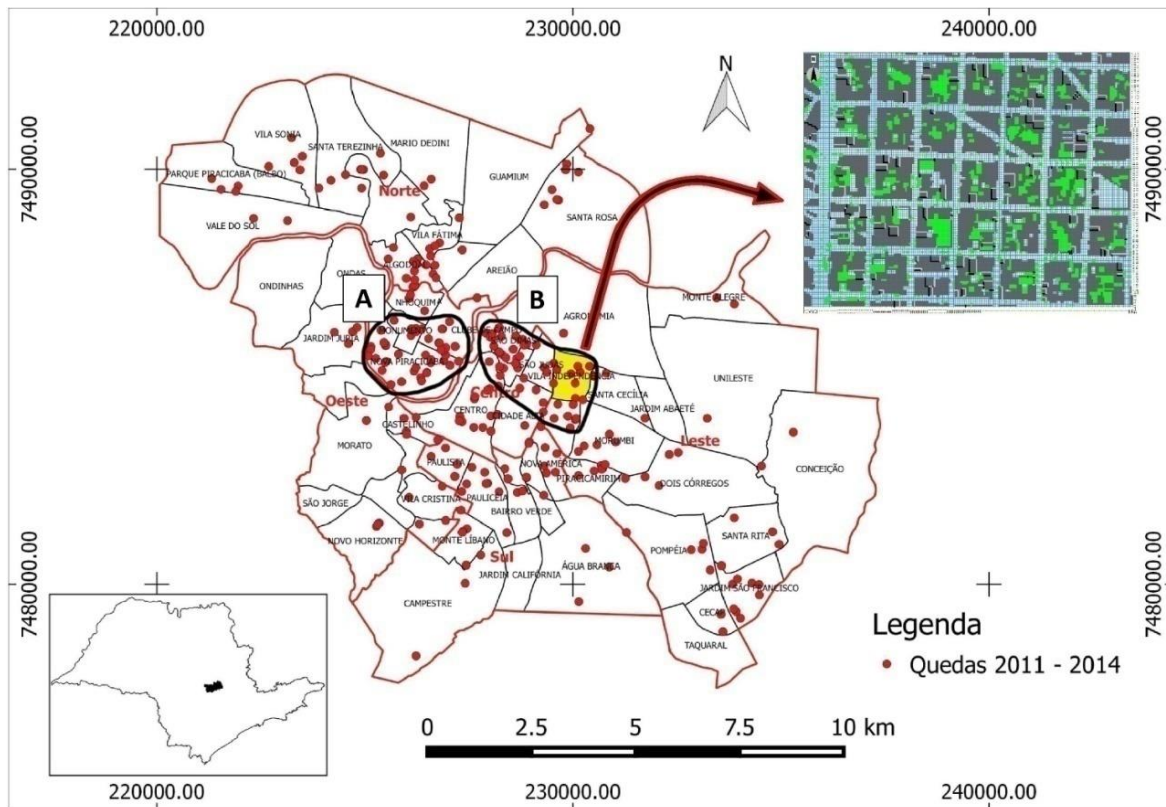


Figura 4.4 – Mapa de dispersão das quedas na área urbana de Piracicaba/SP (escala 1:100.000), com identificação de duas regiões de maior concentração (A – bairros arborizados e B – bairros com relevo elevado) e respectiva modelagem do bairro Vila Independência, com edificações (cinza), vegetação (verde), asfalto e solos arenoso e argiloso. Fonte: o autor

As alturas das casas e prédios foram calculadas pelo *Google Street View*, tendo por base a fiação primária a 6 m de altura, postes a 9 m, casas residenciais a 5 m e cada andar de prédio, 3 m. Em ambiente de infraestrutura InterNuvem da

USP, utilizou-se uma máquina virtual, com a seguinte configuração: Intel® Xeon CPU E7-2870 @ 2.40 GHz (8 processadores em cluster), com 32 GB de RAM. Maiores tempos de simulação com altas velocidades de vento de entrada causaram instabilidade no modelo e devem ser evitadas em se tratando de simulação de rajadas de vento. O tamanho da malha utilizado (180 x 180 ou 250 x 250) não interfere no resultado, mas é preciso que a área simulada encaixe num dos modelos disponíveis.

Para as quedas de árvores na área, numeradas de 1 a 6, elaboraram-se mapas temáticos no visualizador de mapas Leonardo 3.75, sendo este um módulo inserido no ENVI-met, a 4,2 m de altura (Figuras 4.5 e 4.6), valor aproximado para englobar a vegetação cujo vento é capaz de realizar o momento da força, por meio do braço, promovendo a alavanca e fazendo com que a árvore caia.

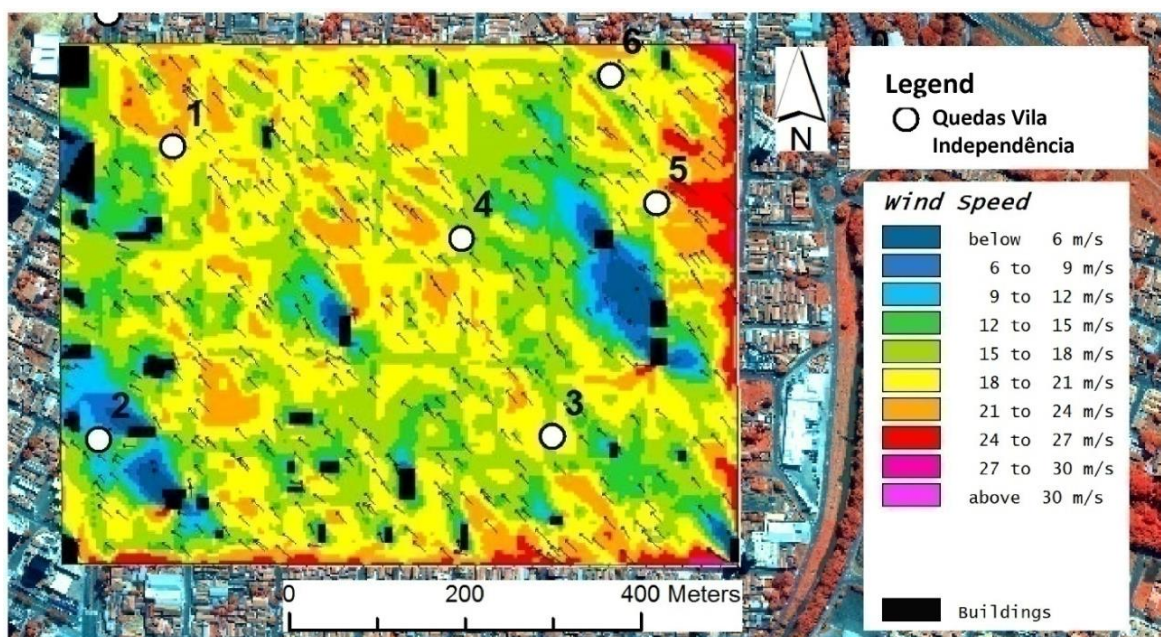


Figura 4.5 – Mapa temático da Vila Independência mostrando o comportamento da velocidade do vento no bairro, sendo a velocidade de entrada de $35,7 \text{ m s}^{-1}$, com orientação sudeste (135°), à altura de 4,2 m em relação ao chão. Fonte: o autor

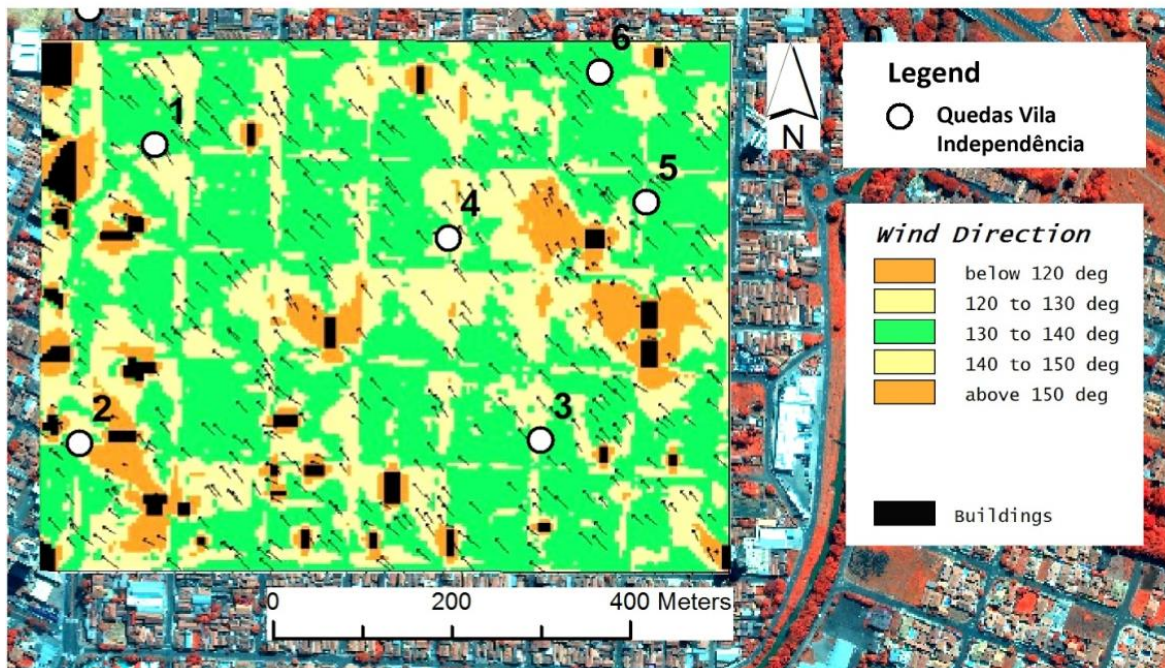


Figura 4.6 – Mapa temático da Vila Independência ressaltando a mudança na direção do vento inicial de 135° (sudeste), à altura de 4,2 m em relação ao chão; em laranja, as áreas mais afetadas pela verticalização. Fonte: o autor

O valor médio das velocidades de vento na área foi $17,6 \text{ m s}^{-1}$, ao passo que nas quedas, $16,6 \text{ m s}^{-1}$, não havendo indícios de ocorrência de zonas de aceleração, aliado ao fato da direção média na área ser de 137° e nas quedas, 136° . Para Mattheck e Breloer (1997), árvores com falhas biomecânicas (ramificação em “V”, alto coeficiente de esbeltez, oco interno superior a dois terços, cavidade na base e raiz tensionada) são as mais suscetíveis. É importante destacar que foi necessário excluir os valores “padrão” do programa (vento = 0 m s^{-1} e direção = 180° , quando estes se encontravam sobre edificações à altura do corte 4,2 m). Verificou-se que nas proximidades das edificações que superaram a altura de corte houve as maiores modificações na direção do vento, superior a 15° de desvio, mas, por serem poucos casos, isso não interferiu nas quedas.

4.4 Conclusão

Não houve canalização de vento para as quedas de árvores simuladas, visto que o bairro Vila Independência tem em sua maior parte casas térreas.

As quedas ocorreram porque o vento de entrada foi forte o suficiente para a derrubada, onde as árvores que caíram provavelmente estavam com problemas biomecânicos ou doentes.

É importante salientar que, apesar do modelo ENVI-met causar instabilidade com altas velocidades de vento de entrada simulando por períodos superiores a 1 ou 2 horas, ele mostrou ser uma ferramenta eficiente para o planejamento urbano, pois mapeou o comportamento do bairro a partir de condições externas, ao identificar locais de maior atenção.

Referências

BONAN, G.G. **Ecological Climatology: Concepts and Application**. New York: CAMBRIDGE UNIV. PRESS, 2002. 990p.

BRUSE, M; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 13, p. 373–384, Oct. 1998.

CARFAN, A.C.; GALVANI, E.; NERY, J.T. Study of thermal comfort in the City of São Paulo using ENVI-met model. **Investigaciones Geográficas**, Boletín del Instituto de Geografía, Cidade do México, n. 78, p. 34-47, 2012.

DUARTE, D.H.S.; SERRA, G.G. Padrões de ocupações do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p.7-20, abr/jun. 2003.

DURYEA, M. **Wind and Trees: Surveys of Tree Damage in Florida Panhandle after Hurricanes Erin and Opal**. Circular 1183 of the University of Florida Cooperative Extension Service, p. 1-8, 1997.

FRANCISCO, R.C.A. **Clima Urbano: um estudo aplicado a Belo Horizonte**, MG. 2012. 122p. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

JUNG, W.S.; PARK, J.K.; LEE, H.W.; KIM, E.B.; CHOI, H.J. Wind speed variation over the leeward region according to vegetation under the strong wind. In: INTERNATIONAL CONFERENCE WIND EFFECTS ON TREES, 2., 2009, Freiburg. **Proceedings...** Freiburg: Univ. Freiburg. Ber. Meteor. Inst., 2009. p. 255-261.

KALLAS, L.M.E. **Desenhando com o clima e a vegetação: um estudo de caso do loteamento HBB em Teresina-PI**. 2008. 167p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MASIERO, E.; SOUZA, L.C.L. Simulação do comportamento microclimático urbano. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 3., 2012. Maringá. **Anais...** Maringá: SIMPGEU, 2012, v. 3, 10p.

MATTHECK, C.; BRELOER, H. **The body language of trees: a handbook for failure analysis**. London: The Stationery Office, 1997. 239p.

MENDES, F.H.; CELLA, A.C.; SILVA FILHO, D.F.; POLIZEL, J.L. Estimativa do Índice de Área Foliar para diferentes espécies arbóreas urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 18., 2014. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBAU, 2014. 10p.

MOSER, P.; SILVA, A.C.; HIGUCHI, P.; SANTOS, E.M. Avaliação pós-tempestade da arborização do campus da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC. **Revsbau**, Piracicaba, v. 5, n. 2, p. 40-51. 2010.

NUNES, L.H.; CANDIDO, D.H.; ARAKI, R.; BARBIN, N.B.C.B.; CASTELLANO, M.S.; COLLAÇO, M.M.; SANTOS, F.R.N.; VICENTE, A.K. Condicionantes físicos e impactos dos tornados do final de março de 2006 no interior paulista. **GEOUSP**, São Paulo, v. 27, p. 99-124, 2008.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. London: Methuen, 1978. 372p.

OLIVEIRA, J.B.C.; PRADO, H. **Carta pedológica semidetalhada do Estado de São Paulo**: Folha Piracicaba. (SF 23-Y-A-IV). Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1989. Mapa, escala 1:100.000.

OLIVEIRA, S.; LOPES, A.M.S. Metodologia de avaliação do risco de queda de árvores devido a ventos fortes. O caso de Lisboa. In: CONGRESSO DA GEOGRAFIA PORTUGUESA, 6., 2007. Lisboa. **Anais...** Lisboa: CGP, 2007. 21p.

OZKERESTECI, I; CREWE, K.; BRAZEL, A.J; BRUSE, M. Use and evaluation of the ENVI-met model for environmental design and planning: an experiment on linear parks. In: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 21., 2003, Durban. **Proceedings...** Durban: ICC, 1997, v. 21, p. 402-409.

RIBEIRO, P.; LOPES, A.M.S. Modelação do risco de queda de árvores sobre as viaturas devido a ventos fortes em Lisboa. In: CONGRESSO DA GEOGRAFIA PORTUGUESA, 8., 2011. Lisboa. **Anais...** Lisboa: CGP, 2011. 6p.

ROSSETI, K.A.C. **Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-Met**. 2013. 253p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

SANTOS, R.M. **Morfologia urbana e conforto térmico**. AUP 823 Seminário da Integração, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2004. 13p.

STULL, R.B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. 666p.

WIERINGA, J.; DAVENPORT, A.G.; GRIMMOND, C.S.B.; OKE, T.R. New revision of Davenport roughness classification. In: EUROPEAN & AFRICAN CONFERENCE ON WIND ENGINEERING, 3., 2001. Eindhoven. **Proceedings...** Eindhoven: EACWE, 2001. 8p.

YU, C.; HIEN, W.N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 38, n. 2, p. 105-120, Feb. 2006.

5 ALTERAÇÕES MICROCLIMÁTICAS NA PRAÇA JOSÉ BONIFÁCIO EM PIRACICABA (SP)

Resumo

O objetivo da presente pesquisa consistiu em avaliar os efeitos no microclima urbano da Praça José Bonifácio, em Piracicaba (SP), após a reforma realizada no ano de 2005. Foram realizadas simulações computacionais em CFD (*Computational Fluid Dynamics*) de duas situações distintas da praça: antes e após a reforma, com imagens dos anos de 2004 e 2013, com o auxílio do *software* ENVI-met 3.1. Os resultados mostraram que alterações na ordem de 25% da vegetação inicial, além da substituição do tipo de pavimento de contorno da praça, contribuíram para uma diferença de até 0,5 K na temperatura do ar e a respectiva diminuição de 4% na umidade relativa do ar, na região onde a intensidade da reforma foi maior.

Palavras-chave: Ambiente urbano; Modelagem computacional; Microclima

Abstract

The aim of this research was to evaluate the urban microclimate effects on José Bonifácio Square, in Piracicaba (SP), after the renovation in 2005. Therefore, we simulated two different situations in CFD (Computational Fluid Dynamics): before and after the renovation, based on 2004 and 2013 images, with the aid of ENVI-met 3.1 software. The results showed that changes of about 25% of the original vegetation, plus the substitution of the pavement around the square, contributed to a difference of up to 0.5 K in air temperature and 4% in relative humidity, where the renovation was more intense.

Keywords: Urban environment; Computational modeling; Microclimate

5.1 Introdução

A vegetação urbana desempenha significativo papel na promoção do conforto térmico humano. A impermeabilização do solo e a remoção da vegetação causam uma série de alterações no microclima, que, ao promoverem áreas urbanas mais aquecidas, intensificam o efeito das ilhas de calor. Diante disso, a cobertura do dossel das árvores aparece como ferramenta importante na questão do conforto térmico e bem-estar de seus habitantes em espaços abertos, ao atenuar a luz solar através da folhagem, uma vez que aumentam a umidade relativa do ar e reduzem a temperatura.

Oke (1978) define o clima urbano como o resultado das modificações provenientes da urbanização da superfície da Terra com a sua consequente interferência nas condições atmosféricas locais.

Estudo realizado em Tel Aviv, por Shashua-Bar e Hoffman (2000), comprovou que o efeito do resfriamento em locais vegetados é perceptível de modo acentuado nas proximidades, até cerca de 100 m, sendo 80% do arrefecimento local contribuído pela sombra das árvores. Nas ruas arborizadas da região mediterrânea de Israel, houve redução de temperatura em até 2,5 K em relação a ruas não arborizadas (SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2004), evidenciando a função da vegetação na regulação microclimática urbana.

Ainda em escala microclimática, para avaliar influências climáticas decorrentes de alterações em ambientes externos, pesquisas recentes estão sendo feitas por meio do *software* ENVI-met. Desenvolvido por Bruse e Fler (1998), o modelo calcula o balanço de energia para ondas curtas e longas utilizando dados climáticos, tais como: temperatura do ar (K), umidade relativa (%) e específica do ar (g kg^{-1}), radiação global (W m^{-2}), direção e velocidade do vento (m s^{-1}). Quanto à visualização dos resultados gerados pelas simulações, durante a instalação do ENVI-met, há possibilidade de instalação do *software* Leonardo, que é um visualizador de arquivos binários (extensão .EDI e .EDT).

Com os avançados modelos numéricos ENVI-met e Leonardo, foi possível prever impactos climáticos, possibilitando, assim, projetar parques urbanos com maior conforto, visando seu uso de forma adequada e com mínimo impacto ambiental (OZKERESTECI et al., 2003).

Também usufruindo da tecnologia computacional com o ENVI-met, em estudo paramétrico em Hong Kong, Ng et al. (2012) testaram os efeitos da forma urbana e da vegetação no microclima e constataram que a inserção de 16% na cobertura arbórea da área total analisada reduziu em 0,4 K a temperatura do ar e, com o aumento da vegetação em 56%, houve uma queda de até 1,8 K.

Como objeto de estudo, a Praça José Bonifácio representa um importante referencial urbano e histórico para o município de Piracicaba. Com área aproximada de 17.000 m^2 , foi objeto de reforma em 1980 quando o acesso de veículos em seu perímetro foi radicalmente restrito. Essa polêmica solução acelerou o processo de degradação urbanística da praça, por impedir o acesso direto a moradias do entorno e assim limitar seu período de maior ocupação ao horário comercial. A partir dessas constatações, em 2005 foi feita uma remodelação no *design*, promovendo a circulação de veículos em seu entorno.

Posto isso, o presente estudo teve por objetivo avaliar as alterações no microclima da praça decorrentes dessas intervenções, através de modelagens da área para os anos de 2004 e 2013.

5.2 Materiais e Métodos

5.2.1 Área de estudo

A Praça José Bonifácio situa-se na área central de Piracicaba (SP), coordenadas $22^{\circ}43'29''$ S e $47^{\circ}38'56''$ W. Foram feitas simulações no ENVI-met versão 3.1 para as seguintes situações: (i) imagem de 2004, sem ruas asfaltadas no perímetro e com maior quantidade de árvores, sobretudo na parte oposta à igreja Catedral de Santo Antônio e (ii) imagem de 2013, com ruas asfaltadas no perímetro e com diminuição na quantidade de árvores para instalação de ponto de táxi no trecho nordeste, conforme figura 5.1. A figura 5.2 retrata a atual situação, com a igreja Catedral de Santo Antônio ao fundo.



Figura 5.1 – Imagens da Praça José Bonifácio em 2004 (A) com a banda infravermelho, para ressaltar a vegetação, obtida por sobrevoo, e em 2013 (B) obtida do Google Earth. Fonte: o autor



Figura 5.2 – Praça José Bonifácio e seu entorno. Fonte: IPPLAP

A fim de verificar precisamente a interferência da reforma no microclima, os edifícios do entorno da praça e o arquivo de configuração de dados de entrada do modelo foram mantidos em ambas as simulações. Dessa forma, fixadas todas as variáveis, os resultados oriundos das simulações correspondem exatamente às mudanças na reforma da praça.

5.2.2 O software ENVI-met

O software ENVI-met é capaz de realizar simulações de modelagem do tecido urbano, através de interações entre superfície - vegetação - atmosfera, permitindo inserir vegetação e outros elementos construtivos alterando a morfologia da área a ser estudada.

Para as simulações computacionais do modelo, foi utilizado o mesmo arquivo de configuração (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Dados de entrada no software, também conhecido como arquivo de configuração. Para processar os dados, é necessário obedecer os padrões exigidos referentes aos separadores de unidades

Dados de entrada	Valor
Data início da simulação (DD.MM.AAAA)	15.07.2004
Tempo início da simulação (HH:MM:SS)	21:00:00
Tempo de simulação total em horas	48.00
Salvar modelo a cada (min)	60
Velocidade do vento a 10 m altura ($m s^{-1}$)	2.1
Direção do vento (graus)	110
Rugosidade z_0 no ponto de referência	0.1
Temperatura inicial atmosférica (K)	290.6
Umidade específica a 2500m ($g kg^{-1}$)	3.2
Umidade relativa a 2m (%)	83
Fator de ajuste de ondas curtas	0.5
Distância do <i>grid</i> (dx e dy) em metros	4.0
Área de aninhamento (<i>grids</i>)	4
Coordenadas (lat / lon) em graus	-22.72 ; -47.65
Tamanho do modelo simulado em <i>grids</i>	60 x 84 x 20

Fonte: o autor

A estação meteorológica da ESALQ/USP encontra-se a 3,3 km de distância da área de estudo, da qual foram obtidos valores de temperatura inicial

atmosférica, umidade relativa, direção predominante e velocidade do vento (todos referentes à média de julho de 2004). É importante evidenciar que alguns dados estão disponíveis em calendário Juliano e, sendo o ano de 2004 bissexto, deve-se prestar atenção quanto ao manuseio dos dados corretos. Quanto à umidade específica a 2500 m, os dados foram extraídos a partir da Universidade de Wyoming, para a elaboração do gráfico de dispersão, com curva de regressão exponencial referente aos dias de julho de 2004 (Figura 5.3). Outras variáveis foram utilizadas padrão do ENVI-met.

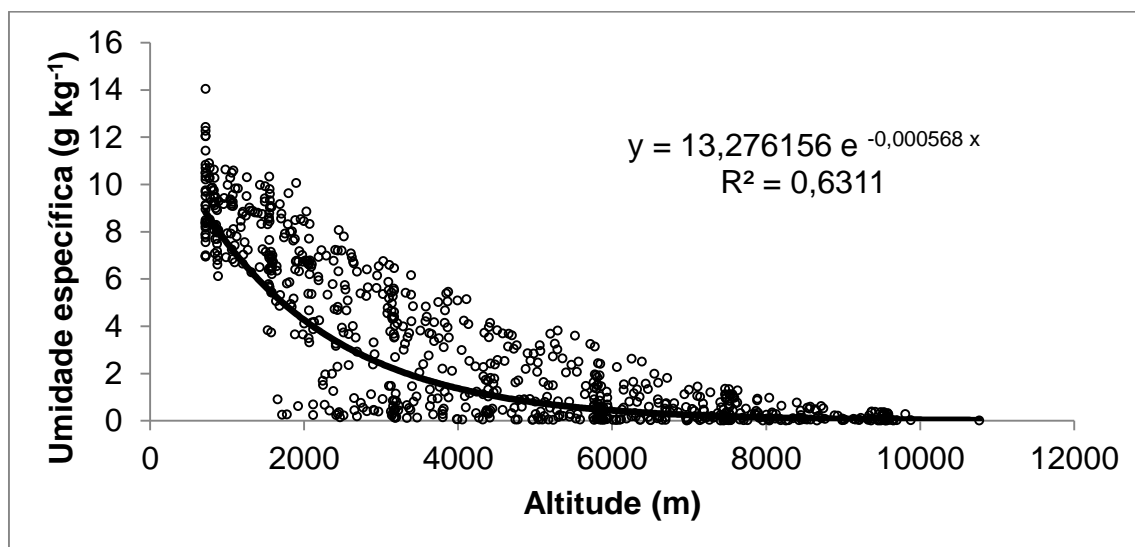


Figura 5.3 – Curva de regressão para encontrar o valor da umidade específica a 2500 m, sendo uma das variáveis de entrada no modelo. Fonte: o autor

A área de aninhamento corresponde à área de transição que contorna o modelo e o próprio programa sugere quanto deve ser a área mínima para que o efeito da borda do modelo seja minimizado.

5.2.3 Calibração e ajustes do modelo de simulação

O modelo ENVI-met foi calibrado para as condições do local de estudo. As primeiras 24 horas de cada simulação foram descartadas, visando à estabilidade do programa, conforme metodologia adotada por Assis, Sirqueira e Bamberg (2013).

O modelo tridimensional consiste em um plano horizontal, contendo a área de borda e um perfil vertical da mesoescala à altitude de 2500 m acima do nível do mar, na qual há única entrada de dados para descrever condições iniciais em

suas diversas camadas: solo, superfície (incluindo perfis de pavimentação, construção e vegetação) e atmosfera.

A vegetação inserida no modelo consistiu em árvores de 10 a 15 m de altura, com copa densa a muito densa e os mapas gerados apresentam os valores encontrados na altura média de pedestres (1,5 m).

Na camada da atmosfera, o modelo faz o prognóstico do fluxo de ar (velocidade e direção), turbulência, temperatura potencial, umidade do ar e fluxos de radiação de ondas curtas e longas, com base nas leis fundamentais da dinâmica de fluidos e termodinâmica. Na camada de solo, o modelo calcula o perfil vertical de temperatura e umidade do ar a partir da superfície, enquanto os processos de hidrologia e termodinâmicos variam de acordo com as propriedades de cada tipo de composição do solo.

O modelo define condição de inicialização de atmosfera neutra (estabilidade estática), quando a temperatura potencial pode ser considerada constante ao longo do perfil da camada de mistura de ar (STULL, 1988). Assim sendo, ressalta-se que é importante iniciar a simulação em condições de atmosfera neutra, como início do anoitecer ou antes do nascer do sol. Como a sondagem atmosférica mais próxima (Campo de Marte – estação número 83779) é realizada às 00Z e às 12Z (21h00 e 9h00), visto que a praça está a 3 fusos a oeste do meridiano de Greenwich, fica restrita a inicialização do modelo às 21h00.

5.3 Resultados e Discussão

As simulações foram executadas em processador Intel® Xeon CPU E7-2870 @ 2.40 GHz (8 processadores em cluster), sendo um com 16GB de RAM e outro com 32 GB de RAM. O tempo gasto no processamento variou de 21 a 24 horas, valor este considerado ótimo, visto a complexidade dos modelos do ENVI-met.

A partir da modelagem da área para diferentes situações (Figura 5.4), observou-se que o horário com maior amplitude térmica entre as duas situações foi às 15h00 (Figura 5.5), na qual os valores foram extraídos através de receptores inseridos nos modelos, na região da reforma, próxima aos táxis (ponto 46 x 70 no *grid*). Com aproximadamente 25% na modificação da cobertura arbórea inicial, foi encontrada diferença de até 0,5 K.



Figura 5.4 – Modelagem das áreas em diferentes configurações: 2004 (A) e 2013 (B), em conjunto com um receptor instalado para análises das variações climáticas na parte dos táxis, a nordeste da imagem, indicada pela seta. Fonte: o autor

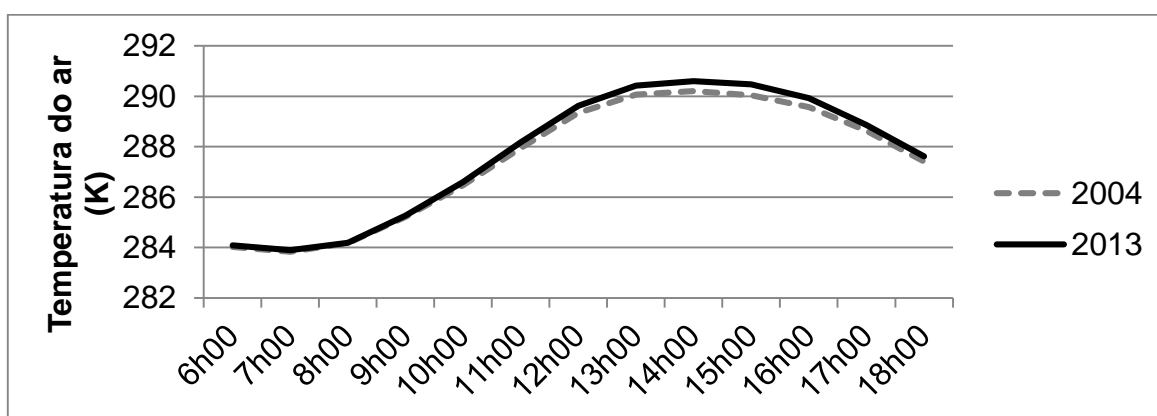


Figura 5.5 – Variação da temperatura do ar nas situações simuladas, obtidas pelo receptor da ENVI-met. Fonte: o autor

Os resultados das simulações podem ser verificados através da figura 5.6, em sequência. Nela, pode-se notar o alastramento da mancha de calor e a redução da mancha referente à umidade relativa do ar.

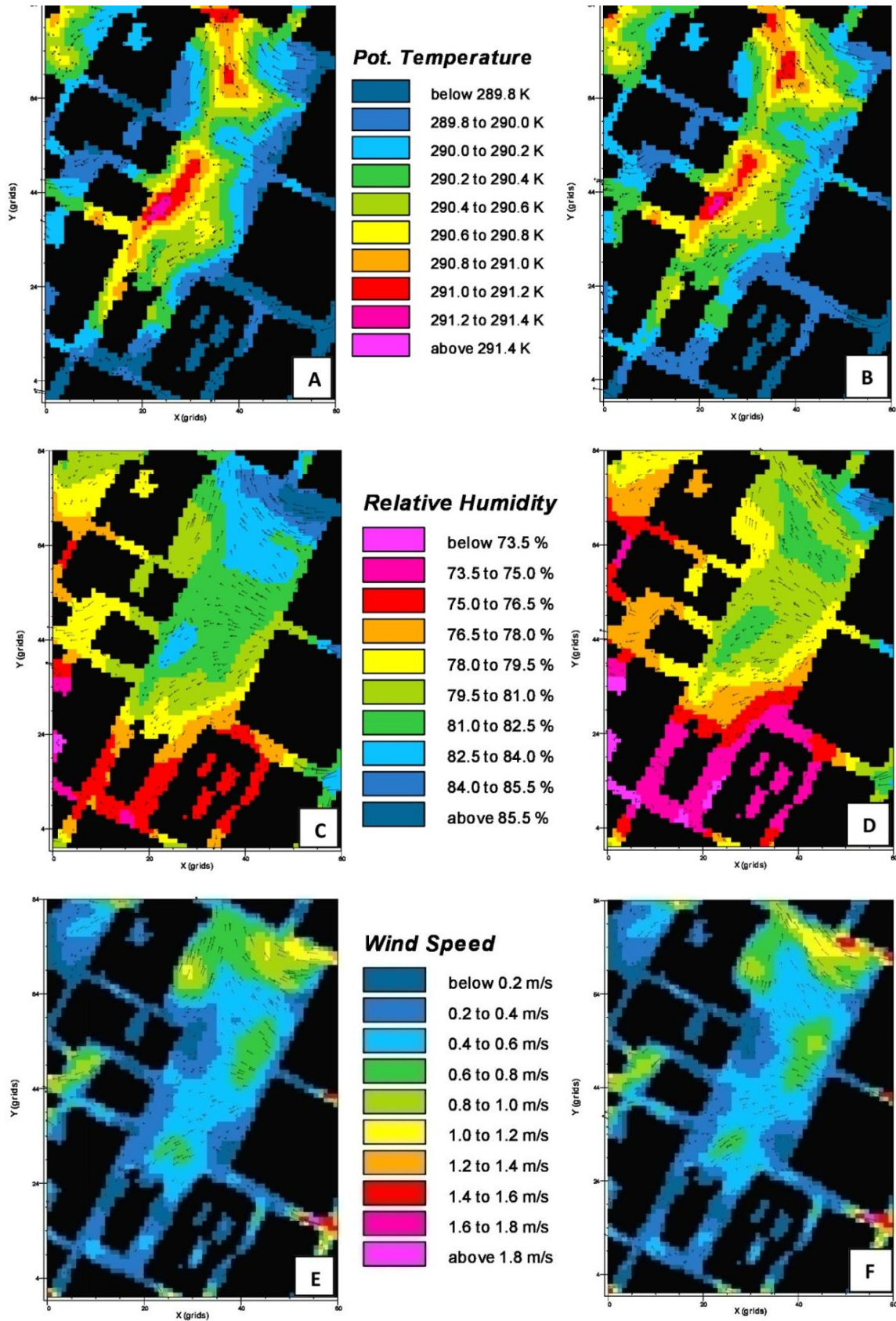


Figura 5.6 – Resultados das simulações para as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, para 2004 e 2013, respectivamente, à altura de 1,5 m em relação ao nível do solo. As setas espalhadas na simulação representam a orientação do vento. Fonte: o autor

A mudança do material utilizado no revestimento do piso no perímetro da praça (semipermeável de cor clara a média pelo asfalto) aliada à remoção de algumas árvores aumentou a quantidade de calor absorvido, acarretando aumento da temperatura do ar e diminuição da umidade relativa. O efeito é constatado ao comparar as figuras 5.6 (A) e 5.6 (B) ou 5.6 (C) e 5.6 (D). Nos períodos mais quentes do ano espera-se que a amplitude seja ainda maior. Com relação ao vento, nas figuras 5.6 (E) e 5.6 (F), quando este origina de sudeste, fica claro na simulação que pode haver aumento em sua velocidade.

5.4 Conclusão

A substituição do piso claro e semipermeável (em 2004) pelo escuro e impermeável (em 2013) provocou o aumento da absorção da radiação solar e o consequente aumento da temperatura do ar em 0,3 K no perímetro da praça. Na nova área dos táxis (Figura 5.1 B), a nordeste da imagem da praça, onde ocorreu a retirada majoritária de árvores, também foram verificadas alterações microclimáticas em virtude da reforma da ordem de até 0,5 K de aumento na temperatura do ar e a respectiva diminuição de 4% na umidade relativa do ar.

As modificações ocorridas na praça foram necessárias para a revitalização do espaço público; no entanto, uma solução que atenda também à melhoria do microclima mostra-se possível e viável por meio de pequenas alterações como o acréscimo de árvores que promovam sombra sobre o asfalto e substituição do tipo de pavimento em seu perímetro por material de maior permeabilidade.

Destaca-se, por fim, a importância da utilização do programa de simulação baseado em CFD, visando melhorar a qualidade de vida urbana, ao permitir identificar zonas que merecem maior atenção e futuramente serem os alvos de intervenções.

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...** Brasília: ENCAC; ELACAC, 2013. 10p.

BRUSE, M; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 13, p. 373–384, Oct. 1998.

NG, E.; CHEN, L; WANG, Y.; YUAN, C. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. **Building and Environment**, Oxford, v. 47, p. 256–271, Jan. 2012.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. London: Methuen, 1978. 372p.

OZKERESTECI, I; CREWE, K.; BRAZEL, A.J; BRUSE, M. Use and evaluation of the ENVI-met model for environmental design and planning: an experiment on linear parks. In: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 21., 2003, Durban. **Proceedings...** Durban: ICC, 1997, v. 21, p. 402-409.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M.E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 31, n. 3, p. 221-235, Apr. 2000.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M.E. Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees. **Building and Environment**, Oxford, v. 39, p. 1087-1099, Sept. 2004.

STULL, R.B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. 666p.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nessa dissertação conclui:

O comportamento das quedas de árvores em Piracicaba/SP revelou ser afetado pela urbanização. Áreas densamente edificadas, como o centro urbano, com condições estressantes para o desenvolvimento das árvores, solo compactado e possíveis cortes e danos nas raízes prejudicaram diretamente a sustentação.

A maior parte das quedas (78,0%) ocorreu durante a primavera e verão, estações ligadas aos ventos e às chuvas, nessa ordem. Assim, os maiores cuidados quanto ao manejo devem ser feitos nesse período.

O predomínio de ventos do quarto quadrante, com rumos leste, sudeste e sul sugere que os locais mais adequados para instalações de parques industriais, emissores de gases poluentes, seja do lado oposto, ou seja, segundo quadrante, com rumos norte, noroeste e oeste, de modo que tais gases não entrem na cidade, prejudicando a saúde das pessoas.

As espécies mais susceptíveis à queda foram: *Pachira aquatica* Aubl. (monguba), *Handroanthus* sp. (ipê roxo) e *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (tipuana). A monguba, além da copa densa, que aumenta a superfície de contato com vento e sofre a alavanca, possui raízes vigorosas, que se espalham pelo asfalto e calçada, cujas podas nessa região comprometem a sustentação.

O programa computacional ENVI-met v. 3.1 identificou zonas capazes de modificar a velocidade e direção do vento, com boa representação da rugosidade da área analisada.

Na prática, é muito difícil zerar as quedas de árvores. Logo, em dias de ventos e chuvas fortes, deve-se evitar ficar embaixo de árvores, bem como trafegar ou estacionar carros na área de influência. Por se tratar de uma cidade quente (clima subtropical úmido com estiagem no inverno e relevo situado na Depressão Periférica Paulista), na qual a sombra é muito valorizada, deve-se zelar pela permanência da vegetação.

A aplicação da metodologia desenvolvida mostrou ser satisfatória e pode ser utilizada em outros estudos, na qual a complementação com mais dados e a idade das árvores certamente agregarão mais qualidade ao tema de quedas de árvores em vias públicas.