

A INFLUÊNCIA DA ARBORIZAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO DO PEDESTRE NO MICROCLIMA URBANO NOS BAIRROS DE HIGIENÓPOLIS E SANTA CECÍLIA

Ana Luiza Thomaz da Silva (IC) e Erika Ciconelli de Figueiredo (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackpesquisa

RESUMO

A pesquisa analisa o microclima urbano nos bairros de Higienópolis e Santa Cecília para verificar a influência da massa arbórea no conforto térmico dos pedestres, por meio de medições *in loco* e simulações com o *software* ENVI-Met. A arborização do bairro Higienópolis (São Paulo, Brasil) se faz presente desde o início dos loteamentos na região. No entanto, o bairro de Santa Cecília, que faz divisa com Higienópolis, possui urbanização e arborização diversa, se comparada ao primeiro. A pesquisa visa compreender a influência da massa arbórea no microclima urbano dos bairros supracitados, com base no estudo da Avenida Higienópolis e da Rua Dona Veridiana, que são geograficamente próximas. Essas vias apresentam tráfego de pedestres intenso e dimensões aproximadas. Por meio dessa comparação, propõe-se identificar a alteração do conforto térmico do pedestre em decorrência da vegetação e da urbanização. A realização de um inventário arbóreo dessas vias foi necessária para compreender melhor a atenuação da temperatura proporcionada pelas espécies arbóreas, visto que, há divergências quanto a quantidade de massa arbórea presente em cada uma dessas vias. Medições pontuais nas duas ruas demonstraram que a arborização e o sombreamento proporcionado pelos edifícios ampliam o conforto do pedestre. Permitiram também mensurar a variação de temperatura e umidade entre as vias.

Palavras-chave: Microclima urbano, arborização, simulação computadorizada ENVI-Met

ABSTRACT

This paper presents urban microclimatic analyses in Higienópolis and Santa Cecília neighbourhood (São Paulo, Brazil). The aim of this research was to verify the influence of the urban trees in the urban microclimate and the thermal comfort of the pedestrian, by measurements (air temperature in-site) and simulations with the ENVI-Met software. The urban afforestation of the Higienópolis neighborhood has been present since the beginning of its development. However, Santa Cecília neighborhood has a diverse urbanization and urban trees. This research aims to understand the influence of streets arborization in urban climate of the neighbourhoods above mentioned, based on the study of Higienópolis boulevard and Dona Veridiana street. These streets are geographically close, but had a different number of urban

trees. This attenuation temperature of the urban vegetation been comprehensive in the trees inventory (describes all tree species in this streets) and in the pontualict measurements in the steets prove that edification and tree shad increase thermal comfort of the pedestrian. Also allowed measure the variation of temperature and humidity between the streets.

Keywords: Urban microclimatic, arborization, simulation ENVI-Met

1. INTRODUÇÃO

A arborização do bairro Higienópolis atribui-se a particularidades históricas da região. Há três momentos significativos na história do bairro: os campos e as chácaras (antes de 1898), os palacetes entre 1898 e 1933, que definiram a atual caracterização do bairro, e a verticalização. A infraestrutura presente na região proporcionou um desenvolvimento distinto do restante da cidade, como a instalação dos bondes e o saneamento básico, fato que influenciou o nome do bairro. A verticalização de 1930 gerou um adensamento populacional, pois se constituiu majoritariamente de edifícios residenciais, possibilitando uma variedade de classes sociais na região (ANTONUCCI, 2006).

O bairro passou a ser ocupado pela classe média emergente nos anos 1940. Com a derrubada dos casarões e sua substituição progressiva por prédios de apartamentos, o bairro foi perdendo suas características horizontais, mas manteve seu traçado original, suas ruas arborizadas e boas construções. O processo de transformação foi acelerado com novas construções nas décadas de 1940 e 1950, quando a Avenida Angélica foi alargada e perdeu sua arborização original, com o objetivo de facilitar a circulação sempre crescente de veículos (ANTONUCCI, 2006, p.12)

Brocaneli e Stuermer (2007) realizam um estudo na região, demonstrando a influência das árvores no microclima. As autoras identificaram que nas ruas Itambé, Maranhão e Sabará, no bairro de Higienópolis, há a variação de 6% da umidade relativa e de 0,9°C na temperatura (de 22,8°C a 2,7° C).

O levantamento arbóreo realizado por Murasaki et al. (2009) mapeou e identificou espécies arbóreas nas quadras da Avenida Higienópolis. Os autores registraram o inventário arbóreo, a partir de classificações da Prefeitura de São Paulo, com relação ao porte da vegetação. A pesquisa de Murasaki et al. (2009) identificou 95% das espécies da Avenida

Higienópolis, das quais 75% correspondem a espécies exóticas e 76% das árvores são de grande porte. Chrysostomo et al. (2009) realizou um levantamento arbóreo de quadras do bairro de Santa Cecília, contudo, essa pesquisa compreende apenas duas quadras da Rua Dona Veridiana¹.

O estudo da vegetação nas cidades possui não apenas relevância ambiental, mas social. O Plano Diretor de São Paulo (PDE), de 2014, incentiva a mobilidade do pedestre, seja a pé ou de bicicleta, para reduzir os congestionamentos e/ou ampliar a percepção da cidade. Gehl (2013) ressalta a importância do percurso do pedestre para ampliar o senso de cidadania e de comunidade, no entanto, em um dia de verão, se o conforto térmico não for contemplado nos projetos dos passeios públicos, os transeuntes podem optar por outros meios de deslocamento.

A carência de espaços públicos na cidade de São Paulo amplia a concentração de pessoas nos parques aos fins de semana, demonstrando o desejo dos paulistanos por áreas verdes. Segundo a SINAENCO (2008) estima-se que 600 mil pessoas frequentem o Parque do Ibirapuera por mês e 14 mil pessoas frequentem o Parque Buenos Aires (Higienópolis) (ao mês). De acordo com o censo de 2010, o distrito de Santa Cecília, onde se localiza o bairro de Higienópolis, possui cerca de 84 mil habitantes, indicando que os frequentadores do Parque Buenos Aires representam aproximadamente 16% da população (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2016).

O bairro de Higienópolis possui um alto tráfego de pedestres devido à concentração de instituições de ensino (Universidade Presbiteriana Mackenzie, Fundação Armando Álvares Penteado, Instituto Europeo di Design, Colégio Rio Branco, Colégio Nossa Senhora de Sion, Cultura Inglesa e Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo) e devido aos estabelecimentos comerciais e de serviços, como o Shopping Higienópolis.

A Rua Dona Veridiana apresenta uma urbanização, semelhante à defendida por Jacobs (2001), que favorece o fluxo constante de pedestres - devido aos hospitais, comércios, instituições da região e edifícios residenciais voltados para a rua. No entanto, o deslocamento pela Rua Dona Veridiana não proporciona uma experiência agradável, do ponto de vista do conforto térmico, se comparado à Avenida Higienópolis.

¹ Foram identificadas disparidades entre esses levantamentos arbóreos e a situação real das vias. Tal fato, deve-se a queda ou retirada de alguns exemplares e por não contemplarem árvores plantadas após 2009. A Rua Dona Veridiana não possui levantamento arbóreo de toda sua extensão, as duas quadras que apresentam levantamento arbóreo não correspondem com as árvores atualmente locadas. Visto essas divergências, realizou-se um novo levantamento arbóreo para a Av. Higienópolis e a Rua Dona Veridiana.

A pesquisa tem como objetivo analisar o microclima da Rua Dona Veridiana e da Avenida Higienópolis, visando compreender o conforto do pedestre e sua relação com a arborização e a urbanização.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Lombardo (1985) afirma, em seu estudo sobre Ilha de calor em São Paulo, que as áreas verdes amenizam os efeitos da mancha urbana², característica das metrópoles, e, conseqüentemente, alteram as características do clima na sua região de influência. A evapotranspiração da vegetação influencia a umidade local e melhora o conforto térmico em locais de clima quente e úmido.

A impermeabilização do solo contribui para a criação das ilhas de calor bem como a densidade dos materiais empregados nas construções. A capacidade dos materiais de conduzir calor (condutividade térmica) é ampliada de acordo com a cor das superfícies dos mesmos, sendo que a coloração escura contribui para que o calor fique retido no microclima, podendo gerar ilhas de calor. (FROTA, SCHIFFER, 2001; LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014)

As ilhas de calor impactam diretamente no conforto do pedestre. Frota e Schiffer (2001) apontam o sombreamento do caminho do transeunte como uma estratégia para melhorar o conforto térmico e reduzir a incidência de radiação solar direta no percurso. As autoras recomendam a seleção de materiais e, conseqüentemente, cores que retenham menos calor para a pavimentação das calçadas.

Lombardo (1985) destaca a importância da adequação de uma legislação eficiente, que oriente a quantidade de áreas verdes, assim como os tipos de materiais, necessários para amenizar os efeitos das ilhas de calor na cidade e melhorar o conforto do pedestre.

A nível dos espaços microclimáticos urbanos, os componentes da massa edificada, também atuam como horizontes “fabricados” que modificam a duração da exposição ao sol desses espaços microclimáticos, pela justaposição dos edifícios, os quais mascaram o sol em determinados períodos do dia ou do ano, provocando sombreamento do solo (OLIVEIRA, 1988, p.24)

² Mancha urbana: “[...] é a expressão espacial do processo de metropolização, resultante do crescimento demográfico que a cidade de São Paulo sofreu desde o final do século XIX até a Segunda Guerra Mundial” (LOMBARDO, 1985, p.68).

Segundo Oliveira (1988), dentro do microclima, a variação climática depende de um conjunto fatores, entre eles, a radiação, que pode ser condicionada pela massa edificada, podendo ser verificado pela “máscara de sombras”. A Avenida Higienópolis e a Rua Dona Veridiana apresentam disparidade com relação à área construída, sendo que a primeira possui maior verticalidade do que a segunda. Com isso, a exposição ao sol do percurso do pedestre varia nesse microclima.

Ferreira e Collischonn (2016) realizaram um estudo a respeito do clima urbano. Os autores utilizaram o recurso da fotografia como meio de “avaliação da obstrução do horizonte à entrada e saída de radiação pode ser obtida por estimativa do Fator de Visão do Céu (FVC) (HÄMMERLE et. Al apud FERREIRA; COLLISCHONN, 2016, p.2), que demonstra o impacto da urbanização no conforto térmico. Outra contribuição desse trabalho é que “a obstrução por vegetação pode apresentar comportamentos diversos ao longo do ano” (FERREIRA; COLLISCHONN, 2016, p.7), enfatizando que a variação da quantidade de folhas da copa da árvore influencia na obstrução da radiação solar direta e conseqüentemente no conforto térmico.

Lorenzi (2003, 2008, 2009) catalogou espécies arbóreas nativas e exóticas presentes no Brasil. Pivetta e Silva Filho (2002) e Minas Gerais (2017) abordam as características de espécies que são normalmente utilizadas na arborização de calçadas, destacando a dimensão da copa das árvores. Essas literaturas possibilitaram a realização do levantamento arbóreo da Avenida Higienópolis e da Rua Dona Veridiana.

Segundo Fiori (2001), estudos sobre a influência vegetal no conforto térmico da cidade foram desenvolvidos a partir da experiência e do método proposto por Labaki e Santos (1999) no projeto Conforto Térmico em Cidades: Efeito da Arborização no Controle da Radiação Solar. As autoras demonstraram a atenuação da radiação solar por parte da copa das árvores. Fiori (2001) afirma que Labaki e Santos (1999) estabelecem quatro parâmetros ambientais para suas pesquisas, sendo eles: umidade relativa do ar, velocidade do ar, temperatura e temperatura radiante média³. O método consiste em analisar as árvores plantadas em locais isolados, com equipamentos de medição fixados sob a copa das árvores, a 1,30m do solo.

Bueno (1998) utiliza o método descrito acima para gerar gráficos de cinco espécies analisadas na pesquisa - Sibipiruna (presente na área), Chuva-de-ouro, Jatobá, Magnólia, Ipê-roxo - detalhando a pesquisa iniciada por Labaki e Santos (1999). Em sua pesquisa

³ Valor médio entre a radiação térmica incidente na superfície e a radiação emitida pela mesma.

seguinte, Bueno – Bartholomei⁴ (2003) estuda a interferência desses dados coletados em um ambiente construído.

Segundo Bueno – Bartholomei e Labaki (2003) a diferença de atenuação solar deve-se ao tamanho da copa, densidade e altura das árvores. Abreu e Labaki (2010) realizam um estudo em Campinas analisando as variáveis de conforto proporcionadas por árvores durante o ano. As autoras concluíram que “todas as espécies arbóreas avaliadas foram capazes de alterar a sensação de conforto térmico no entorno imediato” (ABREU; LABAKI, 2010, p.115). De acordo com a pesquisa, algumas espécies estudadas possuem maior interferência térmica no verão ou no inverno, devido às suas características termorreguladoras.

Labaki et al. (2012) realizou um estudo nas cidades de Campinas, Bauru e Presidente Prudente, onde aborda o conforto térmico do pedestre em espaços arborizados de passagem, comparando a diferença de temperatura em três ruas diferentes, de três cidades distintas. Contudo, nas pesquisas supracitadas, não há a análise da vegetação dentro do microclima urbano em situações geograficamente próximas.

3. METODOLOGIA

O método aplicado nesta pesquisa pode ser elencado nas seguintes etapas:

1. Levantamento do referencial teórico;
2. Realização do curso sobre o funcionamento do programa ENVI-Met (tópico especial fornecido pela FAU-Mackenzie);
3. Pesquisa de campo;
 - 3.1 Registro fotográfico das vias Av. Higienópolis e Rua Dona Veridiana;
 - 3.2 Redesenho das quadras no programa CAD e locação das árvores nas mesmas, com base no Sistema de consulta do mapa digital da cidade de São Paulo (GeoSampa);
 - 3.3 Modelagem 3D por meio do programa *SketchUp*;
 - 3.4 Realização do levantamento arbóreo da Avenida Higienópolis e Rua Dona Veridiana;
 - 3.4.1 Verificação das árvores *in loco* e por meio do *Google Street view*;
 - 3.4.2 Realização das tabelas 1 e 2, que organizam as árvores que foram levantadas em cada via;
 - 3.4.3 Inserção das árvores e da dimensão das copas levantadas no CAD;

⁴ Bueno – Bartholomei corresponde ao nome de casada da pesquisadora Bueno.

- 3.5 Medição de temperatura e umidade *in loco* ao longo da Av. Higienópolis e da Rua Dona Veridiana realizada com o relógio termo-higrômetro *minipa* MT-241⁵. O percurso estabelecido a partir da Praça Esther Mesquita (Avenida Higienópolis) em direção à Rua Dona Veridiana até o metrô Santa Cecília foi subdividido em 20 pontos de medição, realizada no dia 9 de fevereiro de 2018 das 12:00h às 12:40h. A medição segue as orientações do aparelho, sendo realizada na área de sombra à 1,30 metro do piso acabado;
- 3.6 Organização dos dados da medição em mapa como os pontos e tabela;
4. Realização das Simulações computadorizadas no programa ENVI-Met;
 - 4.1 Seleção das quadras e desenho do ambiente a ser simulado em *grid* por meio de uma foto aérea (Google Earth), respeitando as limitações da versão gratuita do software;
 - 4.2 Inserção dos materiais no modelo; Divisão simplificada da quantidade de material que mais está presente dentro desse quadrante menor (5x5 m), na pesquisa foram identificados os elementos: massa construída, água e árvores;
 - 4.3 Incorporação da altura dos edifícios e as árvores da biblioteca 3D⁶ no modelo;
 - 4.4 Incorporação dos dados meteorológicos do dia simulado (mesmo dia da medição *in loco*) na aba *ConfigWizard*, para a criação virtual de condições mais próximas da realidade⁷;
 - 4.4.1 Realização de quadro simulações diferentes⁸ : Av. Higienópolis com arborização atual, Av. Higienópolis sem a arborização, Rua Dona Veridiana com a arborização atual, Rua Dona Veridiana sem a arborização;
5. Análise dos dados do levantamento arbóreo, da medição *in loco* e dos dados gerados na simulação ENVI-Met;
6. Discussão dos resultados;
7. Redação Final.

⁵ Este aparelho permite a medição de temperatura e umidade relativa do ar, com variação de 0°C a 50°C e de 20% a 90% umidade relativa.

⁶ O programa possui uma biblioteca 3D com espécies nativas alemãs, para a pesquisa foi utilizada a árvore que mais se aproximava a dimensão de copa e altura das árvores levantadas.

⁷ Dados do dia da medição *in loco* (9 de fevereiro de 2018) foram obtidos por meio do *Weather Underground* (Campo de Marte, São Paulo) e do *Department of Atmospheric Science of University of Wyoming* para a configuração da simulação. Sendo estes: temperatura às 19:00 h (27°C), velocidade do vento à 10 metros de altura (4.1 m/s), umidade relativa (48%), umidade específica a 2500 metros (11.4 g/kg).

⁸ As simulações computadorizadas foram realizadas no Laboratório de Conforto da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Campus Higienópolis. Demoraram cerca de 36 horas cada uma.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

O resultado do levantamento arbóreo realizado na Av. Higienópolis e na Rua Dona Veridiana contempla tabelas e mapas com as espécies arbóreas que foram identificadas. Consultou-se a literatura produzida por Lorenzi (2003, 2008, 2009), Pivetta e Silva Filho (2002), Murasaki et al. (2009) e Minas Gerais (2017) para a realização do levantamento. A organização foi feita por meio da divisão de quadras da Avenida Higienópolis e Rua Dona Veridiana.

Organização das quadras do levantamento arbóreo realizado

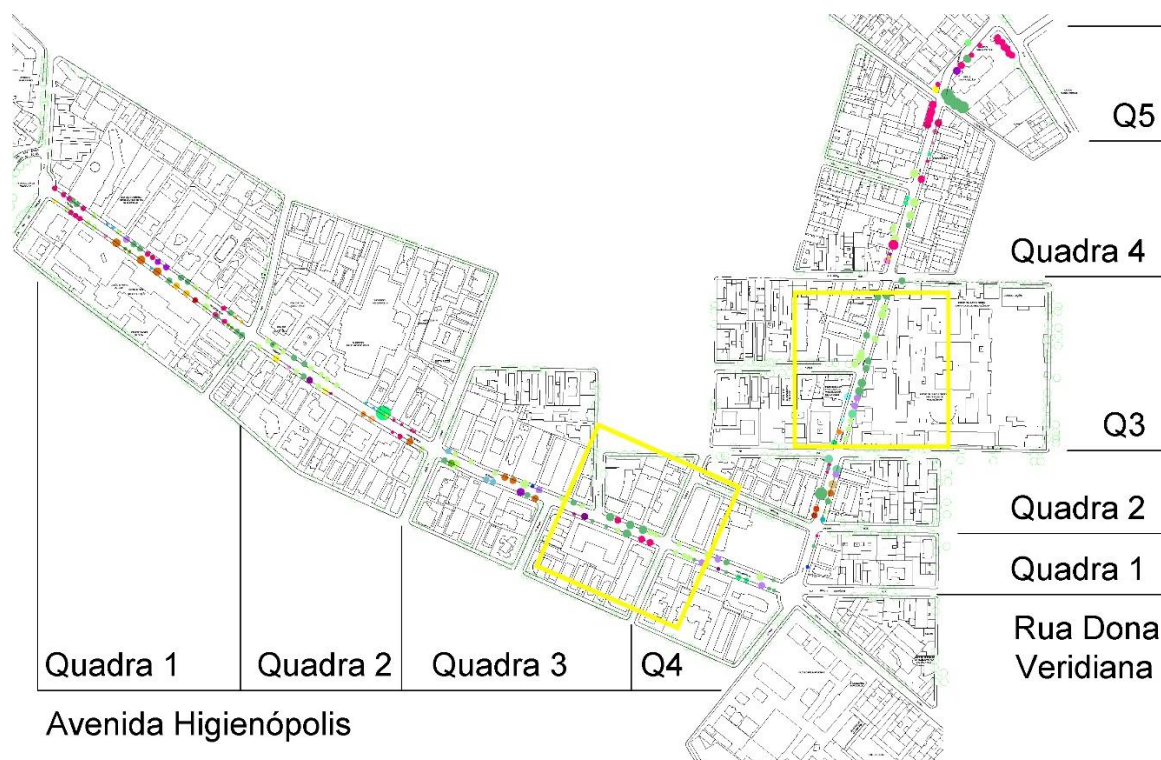


Figura 1 fonte: A partir de GeoSampa, 2014, s/p.

Os dois quadrados amarelos, destacados na Figura 1, indicam as quadras selecionadas para simulação no ENVI-Met. As tabelas 1 e 2 elencam as espécies arbóreas presentes em cada quadra – segundo a divisão supracitada – compreendendo informações como nome popular, altura (em metros), dimensão da copa (em metros) e quantidade (qtd.) de exemplares dessa espécie para o desenvolvimento da análise comparativa como o referencial teórico.

Tabela síntese do levantamento arbóreo realizado

| Avenida Higienópolis | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------|------|---------------|------------|
| Quadra | Espécie | Nome Popular | Altura | Copa (d) | Qtd. | Total árvores | |
| Rua Rio de Janeiro à Rua Aracajú | 1 | <i>Ficus benjamina</i> | Figueira Benjamina | 10 | 6 | 12 | 52 árvores |
| | | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 11 | |
| | | <i>Tibouchina granulosa</i> | Quaresmeira rosa | 6 | 4 | 2 | |
| | | <i>Ligustrum lucidum</i> | Alfena | 7 a 10 | 6 | 8 | |
| | | <i>Lagerstroemia indica</i> | Resedá | 6 | 3 | 3 | |
| | | <i>Tipuana tipu</i> | Tipuana | 12 | 8 | 1 | |
| | | <i>Spathodea nilotica</i> | Tulipeira | 15 | 8 | 4 | |
| | | <i>Tabebuia cf chrysotricha</i> | Ipê-amarelo-cascudo | 4 a 10 | 4 | 4 | |
| | | <i>Tabebuia impetiginosa</i> | Ipê-roxo | 8 a 12 | 12 | 3 | |
| | | <i>Ficus sp</i> | | | 7 | 2 | |
| | | <i>Eriobotrya japonica</i> | Ameixa-amarela | | 6 | 1 | |
| | <i>Schinus molle</i> | falso-chorão | 4 a 8 | 4 | 1 | | |
| Rua Aracajú à Av Angélica | 2 | <i>Ligustrum lucidum</i> | Alfena | 7 a 10 | 6 | 11 | 32 árvores |
| | | <i>Tibouchina granulosa</i> | Quaresmeira rosa | 6 | 4 | 1 | |
| | | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 4 | |
| | | <i>Caesalpinia férrea</i> | Pau-ferro | 12 | 6 | 1 | |
| | | <i>Lagerstroemia indica</i> | Resedá | 6 | 3 | 2 | |
| | | <i>Tabebuia impetiginosa</i> | Ipê-roxo | 8 a 12 | 8 | 1 | |
| | | <i>Coffea sp</i> | Cafeeiro | 4 | 6 | 1 | |
| | | <i>Eucalyptus ficifolia</i> | Eucalipta-vermelho | 7 a 15 | 8 | 1 | |
| | | <i>Holvenia dulcis</i> | uva-japonesa | 10 a 15 | 4 | 1 | |
| | | <i>Magnolia grandiflora</i> | Magnólia branca | 12 | 9 | 1 | |
| | | <i>Tecoma stans</i> | ipê amarelo de jardim | 5 a 7 | 4 | 1 | |
| | <i>Ficus benjamina</i> | Figueira Benjamina | 10 | 6 | 7 | | |
| Av Angélica à Rua Sabará | 3 | <i>Ligustrum lucidum</i> | Alfena | 7 a 10 | 6 | 10 | 34 árvores |
| | | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 9 | |
| | | <i>Caesalpinia pulcherrima</i> | flamboianzinho | 4 | 7 | 3 | |
| | | <i>Spathodea nilotica</i> | Tulipeira | 15 | 8 | 1 | |
| | | <i>Tabebuia impetiginosa</i> | Ipê-roxo | 8 a 12 | 8 | 3 | |
| | | <i>Persea americana</i> | | | | 1 | |
| | | <i>Bauhinia variegata</i> | pata-de-vaca | 10 | 4 | 1 | |
| | | <i>Tipuana tipu</i> | Tipuana | 12 | 8 | 1 | |
| | | <i>Holvenia dulcis</i> | uva-japonesa | 10 a 15 | 8 | 1 | |
| | | <i>Ficus benjamina</i> | Figueira Benjamina | 10 | 6 | 4 | |
| Rua Sabará à Rua Dona Veridiana | 4 | <i>Ligustrum lucidum</i> | Alfena | 7 a 10 | 6 | 8 | 20 árvores |
| | | <i>Holvenia dulcis</i> | uva-japonesa | 10 a 15 | 4 | 1 | |
| | | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 6 | |
| | | <i>Tipuana tipu</i> | Tipuana | 12 | 8 | 3 | |
| | <i>Caesalpinia ferrea</i> | Pau-ferro | 12 | 6 | 2 | 138 árvores | |

Tabela 1 Fonte: Autoria própria, 2018

Tabela síntese do levantamento arbóreo realizado

| Rua Dona Veridiana | | | | | | |
|--|-----------------------------------|---------------------|---------|----------|------|---------------|
| Quadra | Espécie | Nome Popular | Altura | Copa (d) | Qtd. | Total árvores |
| 1 Rua Major Sertório à General Jardim | <i>Bauhinia variegata</i> | pata-de-vaca | 10 | 4 | 1 | 3 árvores |
| | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 1 | |
| | <i>Ficus benjamina</i> | Figueira Benjamina | 10 | 6 | 1 | |
| 2 Rua General Jardim à Rua Itú | <i>Zeyheria tuberculosa</i> | ipê-felpudo | 15 | 6 | 1 | 14 árvores |
| | <i>Ficus benjamina</i> | Figueira Benjamina | 10 | 6 | 2 | |
| | <i>Ficus cannonii</i> | figueira-bronzina | 9 | 7 | 2 | |
| | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 2 | |
| | <i>Tabebuia impetiginosa</i> | Ipê-roxo | 8 a 12 | 8 | 1 | |
| | <i>Diptychandra aurantica</i> | balsaminho | 8 a 14 | 10 | 1 | |
| | <i>Tipuana tipu</i> | Tipuana | 12 | 8 | 1 | |
| | <i>Ficus auriculata</i> | Figueira-de-jardim | 6 a 9 | 4 | 1 | |
| | <i>Cybistax antisyphilitica</i> | ipê-verde | 4 a 20 | 10 | 2 | |
| <i>Ligustrum lucidum</i> | Alfena | 7 a 10 | 6 | 1 | | |
| 3 Rua Itú à Rua Jaguaribe | <i>Caesalpinia ferrea</i> | Pau-ferro | 12 | 6 | 1 | 24 árvores |
| | <i>Coffea sp</i> | Cafeeiro | 4 | 6 | 1 | |
| | <i>Tipuana tipu</i> | Tipuana | 12 | 8 | 2 | |
| | <i>Millettia dura</i> | cássia-azul | 8 a 10 | 4 | 2 | |
| | <i>Eucalyptus ficifolia</i> | eucalipto-vermelho | 7 a 15 | 8 | 1 | |
| | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 8 | |
| | <i>Ligustrum lucidum</i> | Alfena | 7 a 10 | 6 | 9 | |
| 4 Rua Jaguaribe à Rua Frederico Abranches | <i>Holocalyx balansae</i> | Alecrim-de-campinas | 15 a 25 | 8 | 1 | 23 árvores |
| | <i>Tabebuia cf chrysotricha</i> | Ipê-amarelo-cascudo | 4 a 10 | 4 | 1 | |
| | <i>Araucaria columnaris</i> | pinheiro-de-natal | 40 | 4 | 1 | |
| | <i>Ficus benjamina</i> | Figueira Benjamina | 10 | 6 | 9 | |
| | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 6 | |
| | <i>Caesalpinia férrea</i> | Pau-ferro | 12 | 6 | 4 | |
| <i>Michelia champaca</i> | magnólia-amarela | 7 a 10 | 6 | 1 | | |
| 5 Rua Frederico Abranches à Rua das Palmeiras | <i>Tibouchina granulosa</i> | Quaresmeira rosa | 6 | 4 | 2 | 18 árvores |
| | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> | Sibiruna | 10 | 7 | 4 | |
| | <i>Ficus benjamina</i> | Figueira Benjamina | 10 | 6 | 11 | |
| | <i>Artocarpus sp</i> | Jaqueira | 10 | 9 | 1 | |
| | | | | | | 82 árvore |

Tabela 2 fonte: Autoria própria, 2018

Ao analisar a quantidade de árvores nas duas vias, nota-se que apesar das vias possuírem dimensões aproximadas (1,0 Km e 0,8 Km de extensão), a Rua Dona Veridiana apresenta 82 espécies vegetais, enquanto a Avenida Higienópolis possui 138 espécies; 68,29% a mais de vegetação que a primeira.

Por meio das ampliações da Figura 1, pode-se analisar melhor o levantamento arbóreo realizado. Para isso, as árvores levantadas foram incorporadas a base existente no GeoSampa (2014).

Avenida Higienópolis - Quadras 1 e 2

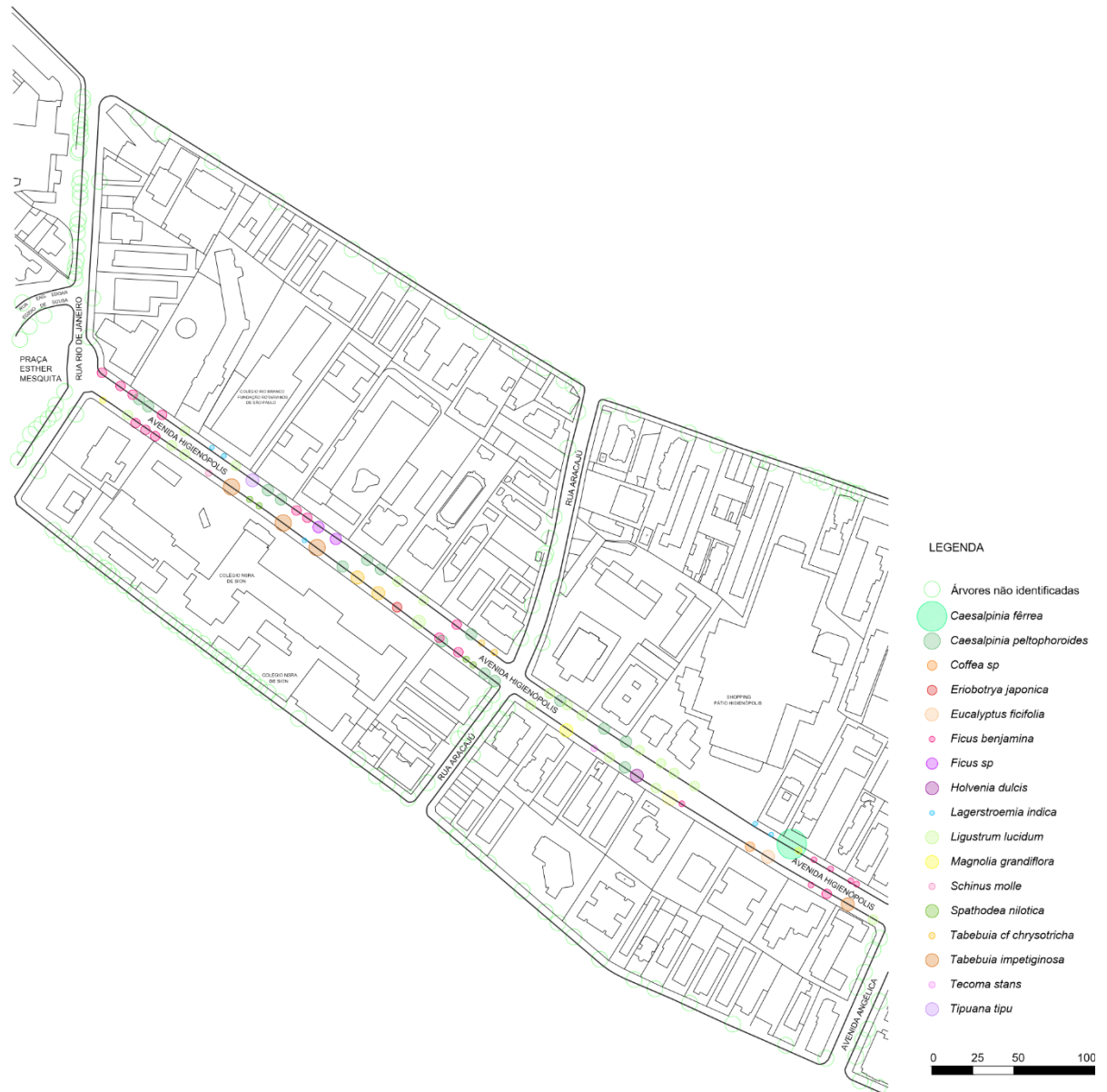


Figura 2 fonte: A partir de Geosampa, 2014, s/p.

Avenida Higienópolis – Quadras 3 e 4 – e na Rua Dona Veridiana – Quadras 1, 2 e 3.



Figura 3 fonte: A partir de Geosampa, 2014, s/p.

Rua Dona Veridiana – Quadras 4 e 5.

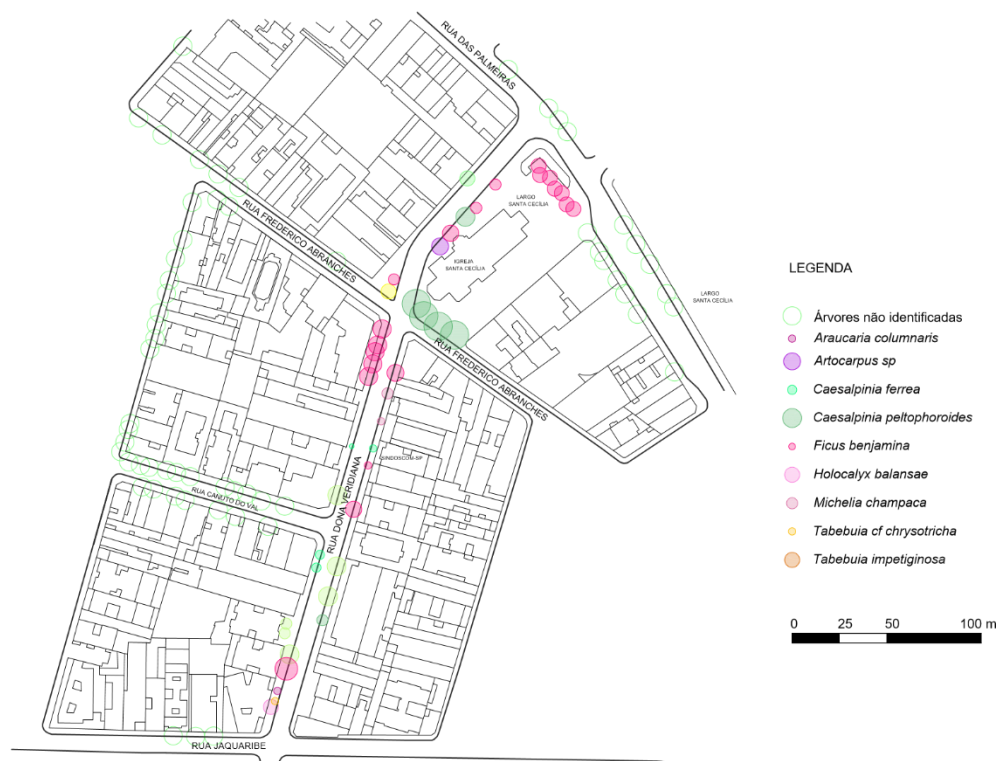


Figura 4 fonte: A partir de Geosampa, 2014, s/p.

Na Avenida Higienópolis e a Rua Dona Veridiana há a presença de espécies que foram analisadas por Bueno – Bartholomei e Labaki (2003) de forma isolada. O levantamento arbóreo realizado nessa pesquisa permite analisar essas espécies em um ambiente construído. Uma das espécies presentes na área é a *Caesalpinia peltophoroides*, que atenua 88,5% da radiação solar que recebe (BUENO – BARTHOLOMEI; LABAKI; 2003), sendo que a Avenida Higienópolis apresenta 30 unidades dessa espécie, enquanto a Rua Dona Veridiana, possui 21 unidades. Outras espécies presentes no referencial teórico levantado são a *Bauhinia variegata* que atenua 81,7% e possui 1 unidade em cada via, e a *Ficus benjamina* que atenua 86,3% e representa 25% do conjunto de 220 árvores da área de estudo.

Basso e Corrêa (2014) analisam 13 espécies arbóreas, considerando a sombra da árvore na calçada e a radiação solar direta no asfalto. Seis espécies estudadas por eles estão presentes no levantamento realizado da Av. Higienópolis e da Rua Dona Veridiana, sendo estas: *Tibouchina granulosa*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Bauhinia variegata*, *Michelia champaca*, *Tibouchina granulosa*, *Tecoma stans* e *Lagerstroemia indica*. A última citada proporciona a amenização de 6,7°C⁹ (BASSO; CORRÊA; 2014) sendo que, a Avenida Higienópolis possui 5 árvores dessa espécie.

A medição *in loco* foi realizada no dia 9 de fevereiro de 2018, das 12h às 12h40, por meio do relógio termo-higrômetro *minipa* MT-241 que permitiu a coleta de dados primários e possibilitou a identificação da variação de temperatura e umidade no percurso supracitado. Os pontos destacados na figura 5 indicam os locais onde a coleta de temperatura e umidade relativa foram feitas.

⁹ O estudo de Basso e Corrêa (2014) foi realizado na Região de Campo Grande (Mato Grosso do Sul, Brasil);

Mapeamento dos pontos da medição *in loco*.

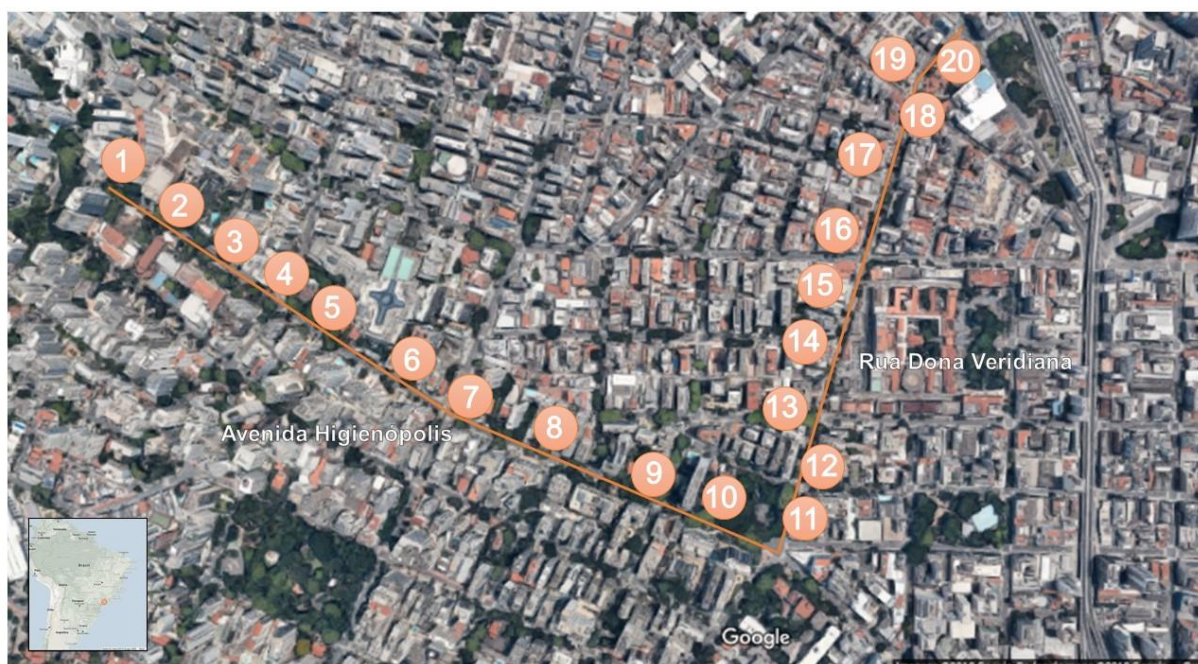


Figura 5 fonte: A partir de Google Maps, 2018, s/p.

Tabela com dados da medição *in loco*

| Local | Avenida Higienópolis | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Ponto de medição | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Temperatura | 29,1°C | 29,4°C | 30,2°C | 30,5°C | 31,5°C | 30,9 °C | 31,6°C | 30,2°C | 31,3°C | 31,2°C |
| Umidade | 33% | 40% | 43% | 41% | 41% | 35% | 38% | 42% | 34% | 38% |
| Local | Rua Dona Veridiana | | | | | | | | | |
| Ponto de medição | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Temperatura | 31,9°C | 31,7°C | 31,8°C | 32,3°C | 32,4°C | 32,2°C | 31,9°C | 32,1°C | 32,4°C | 33,1°C |
| Umidade | 34% | 30% | 30% | 32% | 30% | 32% | 33% | 30% | 31% | 31% |

Tabela 3 fonte: Autoria própria, 2018.

Como demonstrado na Tabela 3, a medição na Avenida Higienópolis indica temperaturas de 29,1°C a 31,6°C enquanto na Rua Dona Veridiana foram medidas temperaturas que variam de 31,7°C a 33,1°C. Portanto, enquanto a temperatura média da primeira via é de 30,3° C a da segunda é de 32,4°C, que corresponde a 2,1°C de diferença.

A umidade relativa da Avenida Higienópolis variou de 33% a 42%, a da Rua Dona Veridiana variou de 30% a 34%. Sendo assim a primeira é mais confortável para o percurso do pedestre do que a segunda, tanto em relação à umidade relativa quanto à temperatura.

Essas diferenças dentro do microclima também foram analisadas por meio das simulações realizadas no programa ENVI-Met. Utilizou-se os mesmos dados de umidade, temperatura e velocidade do vento para configurar as simulações, com a variação do ambiente construído e a vegetação existente variam em cada simulação (correspondendo a realidade

de cada via). Foram destacadas as duas quadras mais significativas das áreas, em relação à arborização e altura dos edifícios. Tanto o recorte da Av. Higienópolis quanto o da Rua Dona Veridiana possuem dimensões de 200 x 200 metros e 24 árvores em cada. Sendo que as árvores encontradas nesses recortes correspondem às principais espécies do levantamento arbóreo: a *Caelsalpinia peltophoroides*, sibiruna, que corresponde a 22% de todas as espécies levantadas e a *Ligustrum lucidum*, alfena, que corresponde a 20%.

A área selecionada da Av. Higienópolis (quadra 3 e 4) compreende edifícios de 6 metros a 70 metros, demonstrando a verticalidade dessa via, sendo que a maior parte (14 edifícios) possuem mais de 40 metros de gabarito enquanto apenas 2 possuem menos de 10 metros. Quanto a arborização, das 24 árvores, 8 são da espécie *Caelsalpinia peltophoroides*; 10 da *Ligustrum lucidum*; 4 da *Ficus benjamina*; 1 da *Tipuana tipu* e 1 da *Holvenia Dulces*.

A modelagem da Rua Dona Veridiana (quadra 3) compreende a edifícios de 3 metros a 60 metros de altura, enfatizando a variação de gabaritos da via, sendo que a maior porção destes (18 edifícios) apresentam menos de 10 metros de altura e apenas 5 possuem mais de 40 metros. A área também possui 24 árvores, sendo 8 são da espécie *Caelsalpinia peltophoroides*; 9 da *Ligustrum lucidum*; 2 da *Tipuana tipu*; 2 da *Millettia dura*; 1 da *Coffea sp*; 1 da *Caesalpinia ferrea* e 1 da *Eucalyptus ficifolia*. As espécies, contudo, apresentam massa arbórea menor que a da Avenida Higienópolis.

Com isso, nota-se que apesar da semelhança quanto a quantidade de árvores e as principais espécies, há uma diferença quanto aos gabaritos das construções e, conseqüentemente, à massa edificada.

As simulações compreendem a quatro situações ambientais microclimáticas, visto que tanto a Avenida Higienópolis quanto a Rua Dona Veridiana foram analisadas com e sem a arborização já existente. Contudo, devido ao programa ENVI-Met não contemplar espécies brasileiras, as árvores utilizadas na modelagem correspondem a uma espécie padrão do programa que apresenta características muito próximas às das árvores levantadas.

Nas simulações sem a presença de vegetação, a arborização das vias foi retirada da modelagem para verificar a influência do sombreamento dos edifícios no conforto do pedestre. Os resultados dessas simulações demonstram que há o aumento de 0,9°C na temperatura da Avenida Higienópolis com a ausência da vegetação, mas não foi identificada variação térmica expressiva na Rua Dona Veridiana. Isso indica que apesar das áreas analisadas possuírem a mesma quantidade de árvores, a variação da massa arbórea resulta em variação de temperatura

Modelagem da quadra 3 e 4, e mapeamento da temperatura do ar da Avenida Higienópolis

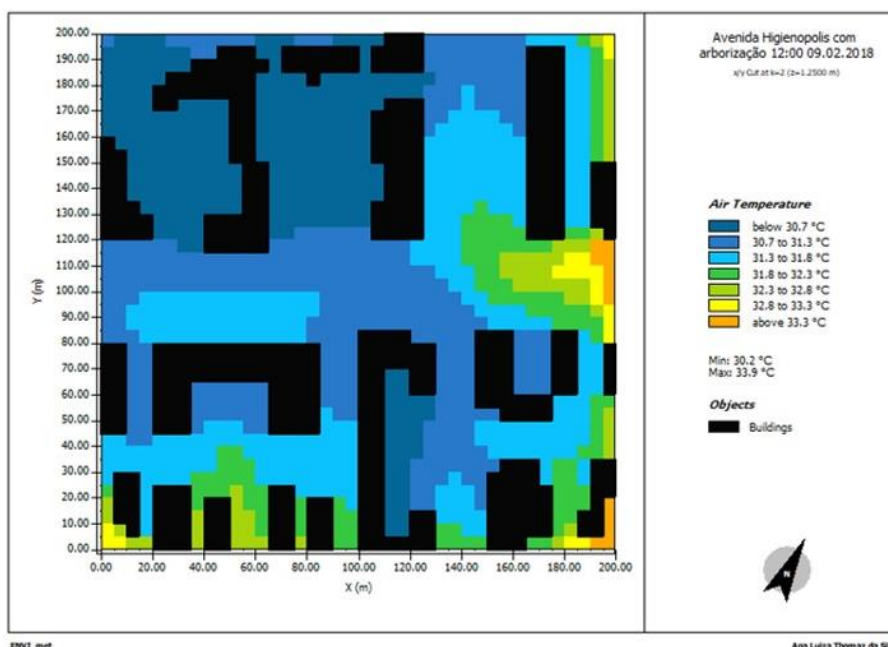
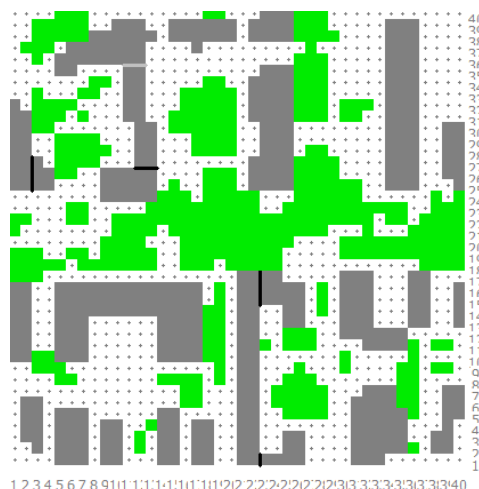


Figura 6 fonte: A partir de Google Earth, 2018, s/p. Autoria própria, 2018

A figura 6, indica a foto aérea que auxiliou na modelagem da área e a aplicação dos dados necessários para a simulação no programa, onde a massa construída – é indicada em cinza - e a arborização local – em verde.

Na porção inferior da figura 6, a situação climática da temperatura do ar às 12:00 h do dia 9 de fevereiro de 2018 é exemplificada e demonstra que há uma variação de temperatura na área 30,2° a 33,9°C. A porção superior esquerda da quadra apresenta temperaturas mais baixas e constantes que a inferior, devido ao maior espaçamento entre os edifícios.

Os dados de temperatura coletados nos pontos 9 e 10 (31,3°C e 31,2°C, respectivamente) estão em concordância com os resultados da simulação.

Modelagem da quadra 3 e mapeamento da temperatura do ar da Rua Dona Veridiana

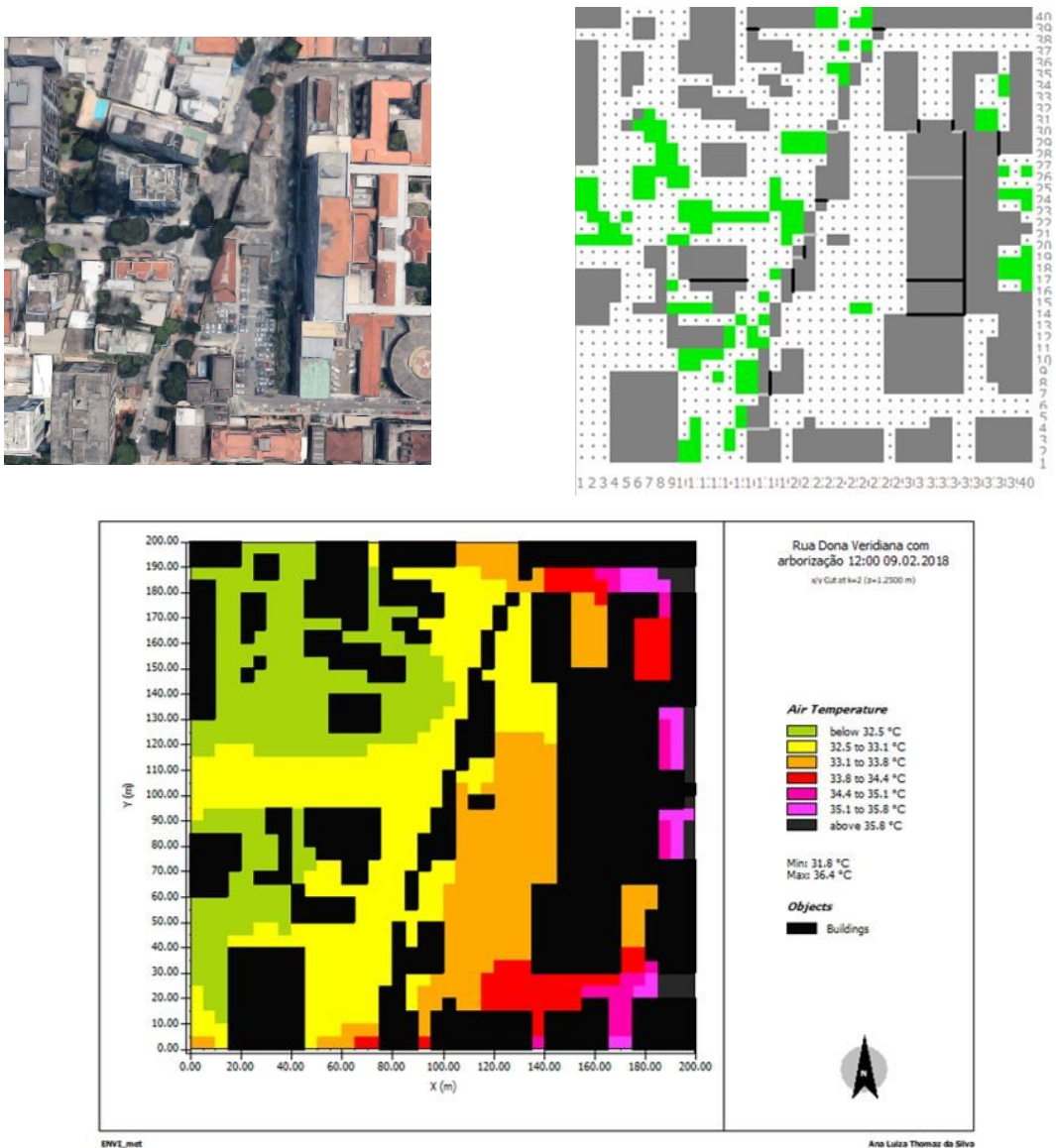


Figura 7 fonte: A partir de Google Earth,2018, s/p. Autoria própria, 2018

Na Figura 7, a variação de arborização da Rua Dona Veridiana é notável em comparação com a modelagem da área da Av. Higienópolis (figura 6). O mapa indicado na figura 7 exemplifica a situação climática da temperatura do ar às 12:00 h do dia 9 de fevereiro de 2018, e demonstra que há uma variação de 31,8° a 36,4°C. Com relação à medição *in loco*, a área apresentou temperaturas de 32,3°C e 32,4°C (pontos 14 e 15, respectivamente), que também estão dentro do intervalo de temperatura demonstrado na simulação.

Ao analisar essas duas simulações, percebe-se que a amplitude térmica verificada nas quadras corresponde a 3,7°C na Avenida Higienópolis, enquanto na Rua Dona Veridiana é de 4,6°C. A temperatura mínima registrada na primeira (30,2°C) é 1,6°C menor que a da segunda (31,8°C), e a temperatura máxima registrada é 2,5°C menor na Avenida Higienópolis.

Portanto, as simulações e as medições *in loco* demonstram que o conforto térmico na altura do pedestre – a 1,30 m do piso acabado - difere nas duas ruas. De modo que, a Avenida Higienópolis é termicamente mais confortável para o pedestre dentro desse microclima.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstra como o conforto térmico é afetado pela arborização. A obstrução da radiação solar, seja por meio do ambiente construído ou pela arborização presente no local, representa uma influência significativa no microclima. De modo que, as simulações computadorizadas podem verificar essas variações térmicas e auxiliar no desenvolvimento de soluções pontuais para a área ou mesmo no planejamento urbano da cidade.

Contudo, a ausência de uma biblioteca arbórea com espécies nativas brasileiras no *software* ENVI-Met não permite uma simulação ainda mais realista, pois a espécie arbórea influencia atenuação da radiação solar. Essa informação é importante para auxiliar na seleção de espécies que correspondam de forma mais eficiente à melhoria do conforto térmico do local.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, Loyde Vieira; LABAKI, Lucila Chebel. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.103-117, out./dez. 2010.

ANTONUCCI, Denise. Higienópolis: formação e transformação. **Cadernos de PósGraduação em Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v.6, n.1, 2006. Disponível em: <<http://www.mackenzie.br/dhtm/seer/index.php/cpgau/article/view/111>>. Acesso em: 19 maio 2016.

BASSO, Jussara Maria; CORRÊA, Rodrigo Studart. Arborização urbana e qualificação da paisagem. **Paisagem e Ambiente: Ensaios**, São Paulo, v. 0, n. 34, p.129-148, dez. 2014.

BUENO, Carolina Lotufo. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. 1998. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina Lotufo. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. 2003. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 2003

BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L.; LABAKI, Lucila C.. **How Much Does the Change of Species of Trees Affect Their Solar Radiation Attenuation?** Polónia: Origin Publication, 2003. 26 slides, color. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Carolina_Lotufo_Bueno-Bartholomei2/publication/304347882_How_much_does_the_change_of_species_of_trees_affect_their_solar_radiation_attenuation/links/57e2e7b508aedde5f3659e3b?origin=publication_list>. Acesso em: 28 fev. 2017.

BROCANELI, P. F. ; STUERMER, M. M. . A vegetação na paisagem do bairro de Higienópolis. In: III FÓRUM DE PESQUISA FAU-MACKENZIE, 2007, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007. p. 1 - 20.

CHRYSOSTOMO, N.; FÁVERO, O. A.; MOURA, A.R.; NUCCI, J.C. **Mapeamento e Avaliação da Arborização de Rua do Bairro de Santa Cecília (São Paulo - SP)**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. Anais do XIII SBGFA. Viçosa : Ed. UFV, 2009. p. 165-166. Viçosa: 2009.

FERREIRA, Caio Vinicius Oliveira; COLLISCHONN, Erika. Cômputo do fator de visão do céu em 10 diferentes ambientes intraurbanos da cidade de pelotas-rs. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 12., 2016, Goiânia. **Goias**. Goiânia: Gráfica Ufg, 2016. p. 1316 - 1324.

FIORI, Ana Maria. **Um método para medir a sombra**: Pesquisa avalia cinco espécies de árvores plantadas na área urbana e indica quais as mais adequadas para dar conforto aos habitantes. Pesquisa Fapesp, São Paulo, v. 61, p.26-29, fev. 2001. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2001/01/01/um-metodo-para-medir-a-sombra/>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do conforto térmico**: arquitetura, urbanismo. 5. ed. São Paulo: Nobel, 2001.

GEHL, Jan. **Cidades para pessoas**. Tradução Anita Di Marco. Editora: Perspectiva, 2013.

GOOGLE. **Google Earth**. 2017,2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 11 out. 2017.

JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F., **Conforto térmico em cidades: efeito da arborização no controle da radiação solar**. Projeto FAPESP. Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 1999.

LABAKI, Lucila Chebel et al. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudo em ruas de pedestres do estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p.167-183, mar. 2012.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Florianópolis: Eletrobrás, 2014. 382 p.

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

LORENZI, H.. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil (5 ed.). Nova Odessa/São Paulo: Instituto Plantarum, v. 1, 2008. 384 p.

LORENZI, H.. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil** (3 ed.). Nova Odessa/São Paulo: Instituto Plantarum, v. 2, 2009. 384 p.

LORENZI, P.; SOUZA, H. M. TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B.. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa/São Paulo: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

MINAS GERAIS. Prefeitura de Uberaba. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Arborização de calçadas: ajude a tornar nossa cidade mais bela e agradável**. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/meio_ambiente/arquivos/agenda_verde/cartilha_arborizacao.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2017.

MURASAKI, Nara Heiwa et al. **Mapeamento e Avaliação da Arborização de Rua de parte do Bairro Higienópolis (Centro De São Paulo/SP)**. In: XIII CBAU _ Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, 2009, Rio Branco Acre Brasil. Diversidade na Floresta e na Cidade, 2009.

OLIVEIRA, Paulo Marcos Paiva de. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. 1988. 134 f. Tese (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Planejamento Urbano, Universidade de Brasília, Brasília, 1985.

PIVETTA, Kathia Fernandes Lopes; SILVA FILHO, DF da. Arborização urbana. **Boletim Acadêmico-Série Arborização Urbana. Jaboticabal: UNESP/FCAV/FUNEP**, 2002.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (Org.). **População Recenseada e Taxas de Crescimento: Município de São Paulo, Regiões e Distritos Municipais 1980, 1991, 2000 e 2010**. 2016. Disponível em: <http://infocidade.prefeitura.sp.gov.br/htmls/7_populacao_recenseada_e_taxas_de_crescime_1980_10747.html>. Acesso em: 02 abr. 2017.

SÃO PAULO, Marte Station. **Weather Underground**, weather and elevation at Heathrow Airport. São Francisco, California. Disponível em: <https://www.wunderground.com/history/daily/SBMT/date/2018-2-9?req_city=&req_state=&req_statename=&reqdb.zip=&reqdb.magic=&reqdb.wmo=>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

SÃO PAULO. PREFEITURA DE SÃO PAULO. **GeoSampa: Mapa digital da cidade de São Paulo**. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx>. Acesso em: 11 out. 2017.

SINAENCO – Sindicato da Arquitetura e da Engenharia. **Estudo sobre o Estado de Manutenção das Praças Paulistanas**. 2008. Disponível em: <<http://www.sinaenco.com.br/downloads/pras%C3%A7as.pdf>>. Acesso em 25mar. 2017.

UNIVERSIDADE DE WYOMING. College of Engineering. **Department of Atmospheric Science**. Disponível em: < <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> >. Acesso em: 22 fev. 2018.

Contatos: analu.thomaz@gmail.com e erika.figueiredo@mackenzie.br