

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**ANÁLISE DO AMBIENTE TÉRMICO URBANO ATRAVÉS DO
FATOR DE VISÃO DO CÉU:**

ESTUDO EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP

ÉRICA DE SANTANA SILVA

CAMPINAS, SP
2011

ÉRICA DE SANTANA SILVA

**ANÁLISE DO AMBIENTE TÉRMICO URBANO ATRAVÉS DO
FATOR DE VISÃO DO CÉU:
ESTUDO EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Arquitetura e Construção.

Orientadora: Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki

CAMPINAS, SP
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Si38a	<p>Silva, Érica de Santana Análise do ambiente térmico urbano através do fator de visão do céu: estudo em São José dos Campos, SP / Érica de Santana Silva. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.</p> <p>Orientador: Lucila Chebel Labaki. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.</p> <p>I. Ambiente urbano. I. Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.</p>
-------	--

Título em Inglês: Analysis of the thermal urban environment through the sky view factor: study in São José dos Campos, SP

Palavras-chave em Inglês: Urban environment

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Lea Cristina Lucas de Souza, Evandro Ziggiatti Monteiro

Data da defesa: 05-08-2011

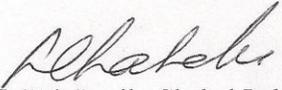
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**ANÁLISE DO AMBIENTE TÉRMICO URBANO ATRAVÉS DO FATOR
DE VISÃO DO CÉU: ESTUDO EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP**

Érica de Santana Silva

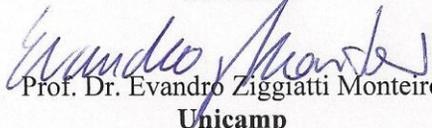
Tese de Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof^ª. Dr^ª. Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientador(a)/ Unicamp



Prof^ª. Dr^ª. Léa Cristina Lucas de Souza
UFSCar



Prof. Dr. Evandro Ziggatti Monteiro
Unicamp

Campinas, 05 de agosto de 2011

Dedico este trabalho ao meu filho Henrique.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por Seu amor eterno.

Agradeço aos meus pais, Elisabete e Paulo, pela exemplar educação dada às suas filhas. Às minhas queridas irmãs e familiares. Em especial, agradeço ao meu filho que me ensina constantemente a viver.

À professora Lucila Chebel Labaki que acreditou e depositou sua confiança em meu trabalho, me orientando com muita paciência e dedicação.

Agradeço aos técnicos do Laboratório de Conforto Ambiental, Obadias e Daniel, pelo suporte e auxílio nas medições realizadas.

À professora Maria Teresa Françoso por sua contribuição e preocupação nas orientações ministradas.

Ao aluno Gustavo Navarro Fujiki pela assessoria no desenvolvimento dos dados estatísticos.

Aos profissionais do INPE, CPTEC e Secretaria de Planejamento de São José dos Campos pela disponibilização do material cartográfico, dados climáticos e históricos da região em estudo da cidade.

Às pessoas que disponibilizaram suas casas para as medições desta pesquisa.

Agradeço aos membros da banca examinadora pelas orientações dadas.

Ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante estes anos e a todas as pessoas que sempre me incentivaram e apoiaram.

RESUMO

Em cidades de clima quente, a preocupação em proporcionar ambientes termicamente confortáveis torna-se imprescindível. O crescimento desordenado do ambiente construído com um traçado urbano desfavorável à insolação, ventilação e à transferência de calor pelos materiais do entorno, ocasiona modificações nos padrões de clima das cidades. Assim, esta pesquisa busca a correlação existente entre os parâmetros climáticos (variáveis de temperatura e umidade relativa do ar) e o parâmetro urbanístico denominado fator de visão do céu. O estudo desenvolvido analisa uma micro-região da cidade de São José dos Campos (SP) que compreende os bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias. O Parque Residencial Aquarius vem apresentando uma acelerada ocupação vertical com novas construções comerciais e residenciais, em contraposição ao Jardim das Indústrias, bairro residencial com predominância de edificações com até dois pavimentos. A escolha da área baseou-se na hipótese de que, à medida que a verticalização da área urbana se intensifica, a geometria do ambiente é modificada, trazendo alterações no fator de visão do céu, e conseqüentemente, nas variáveis de temperatura e umidade relativa do ar. A metodologia aplicada baseou-se em medições fixas das variáveis climáticas (realizadas nos períodos de verão e inverno) e análises de imagens, obtidas com câmera fotográfica acoplada a lente olho-de-peixe, dos pontos escolhidos da micro-região. As análises estatísticas dos resultados demonstraram que o bairro Parque Residencial Aquarius apresenta temperaturas ligeiramente mais elevadas que o Jardim das Indústrias, tanto no período diurno quanto no noturno. Foi possível comprovar também que as correlações entre o FVC e a intensidade de ilhas de calor noturnas foram negativas e significantes, portanto, os pontos com menores valores de FVC apresentaram maior intensidade de ilha de calor. A pesquisa confirma que o FVC é um parâmetro importante na identificação de ilhas de calor.

Palavras-chave: clima urbano, fator de visão do céu, desenho urbano.

ABSTRACT

In cities with warm climates, the concern to provide thermally comfortable environments becomes imperative. The sprawl of the built environment in an urban layout unfavorable to sunlight, ventilation and heat transfer through the surrounding material causes changes in weather patterns of towns. Thus, this research shows the correlation between climatic parameters (variables of temperature and relative humidity) and the parameter called urban sky view factor. The developed study analyzes a micro-region of São José dos Campos (SP) which comprehends the neighborhoods Parque Residencial Aquarius and Jardim das Indústrias. Parque Residencial Aquarius shows an accelerated vertical occupation with new residential and commercial buildings, as opposed to the Jardim das Indústrias, predominating residential buildings with two floors up. The choice of the area is based on the assumption that as the vertical extent of the urban area intensifies, the geometry of the environment is changed, causing changes in the sky view factor, and consequently, the variables of temperature and relative humidity air. The methodology applied was based on fixed measurements of climate variables (conducted during summer and winter) and analysis of images taken with camera coupled to lens-eye fish, the chosen points of the micro-region. Statistical analysis of results showed that Parque Residencial Aquarius with temperatures slightly higher than Jardim das Indústrias in daytime and at night. It could be demonstrated also that the correlations between FVC and intensity of heat islands night were negative and significant, so the points with lower values of FVC showed higher intensity of heat island. The research confirms that the FVC is an important parameter for identification of heat islands.

Key words: urban climate, sky view factor, urban design.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. CLIMA E DESENHO URBANO	12
2.1. Fator de Visão e Fator de Visão do Céu	14
2.2. Metodologias de determinação do Fator de Visão do Céu	18
2.2.1. Método Analítico	18
2.2.2. Método Fotográfico	21
2.2.3. Método Computacional	25
3. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS E A MICRO-REGIÃO EM ESTUDO	30
4. METODOLOGIA	39
4.1. Escolha dos pontos de análise	41
4.2. Análise dos parâmetros urbanísticos	46
4.3. Medições dos parâmetros climáticos	52
4.4. Estimativa do Fator de Visão do Céu	55
4.5. Geração de Isolinhas	61
4.6. Análise estatística dos resultados	63
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
5.1. Comportamento térmico da região em análise	65
5.1.1. Análises estratificadas por estação	67
5.1.2. Análises estratificadas por período	74
5.1.3. Análises estratificadas por bairro	75
5.2. Análise de correlação entre os dados térmicos e o FVC	76
5.2.1. Fator de visão do céu – por grupo e posicionamento do equipamento	77
5.2.2. Fator de visão do céu – por estação e período	80
5.2.3. Fator de visão do céu - ilhas de calor noturnas	83
6. CONCLUSÕES	88
7. REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

O planejamento urbano das cidades é pontuado por diferentes fatores projetuais que direcionam as decisões tomadas pelos arquitetos e urbanistas. As diretrizes adotadas para a espacialização urbana são influenciadas tanto por características físicas do sítio (topografia, orientação solar ou direção dos ventos), quanto pelas imposições da vida social e econômica, como as exigências do mercado imobiliário.

O capitalismo e a industrialização crescentes, a partir do final do século XIX, provocaram profundas alterações nos espaços urbanos das cidades brasileiras. Desde então, a configuração urbana foi pautada na racionalidade e funcionalidade exigidas pelo sistema capitalista, com o enfoque nas questões de praticidade, rapidez de construção e economia.

Cidades de médio e grande porte, desde então, apresentaram um intenso crescimento demográfico, responsável pelas grandes modificações da malha urbana, crescente verticalização, redução de áreas permeáveis e verdes, assim como pelo uso intensivo do solo nas áreas centrais.

O aumento do consumo de energia, as inversões térmicas, as ilhas de calor são consequência de modelos urbanos com baixa qualidade ambiental. Segundo Gomes e Lamberts (2009) a urbanização, frequentemente, provoca alterações na atmosfera urbana aumentando o desconforto térmico através da maior geração de calor, poluição do ar, alterações na ventilação, umidade, precipitações e equilíbrio térmico.

A falta de conforto térmico ao ar livre também tem consequências negativas a nível social e econômico. Em climas muito desagradáveis, as pessoas tendem a realizar apenas suas tarefas essenciais, como se deslocar para o trabalho ou fazer compras.

Tarefas opcionais e atividades sociais como passeios e outras atividades de lazer tornam-se mais raras (JOHANSSON, 2006).

As transformações de energia que ocorrem na camada limite urbana foram demonstradas por Oke (1981) através de modelagens físicas e numéricas, que contribuíram para o entendimento dos aspectos climáticos das áreas urbanas.

O clima urbano é condicionado por diferentes parâmetros ambientais e urbanísticos. A vegetação proporciona áreas sombreadas, resfria o ar, absorve e filtra poluentes e aumenta a umidade. A complexidade das correntes de vento das áreas urbanas é intensa, e pequenas modificações no *layout* do espaço ou da vizinhança podem alterar drasticamente a disposição da ventilação da área. O desenho das edificações e sua orientação nas ruas em relação aos ventos predominantes, especialmente as diferenças de alturas entre as construções, afetam a velocidade do vento e a turbulência gerada no nível das ruas. Além disso, a presença de obstáculos aumenta a rugosidade da área urbana em relação às áreas rurais.

A impermeabilização excessiva do solo e o armazenamento de calor pelas edificações e materiais de pavimentação também são fatores influenciadores do aquecimento de áreas urbanas abertas.

Os cânions urbanos, com sua geometria definida pelas relações entre a altura dos edifícios e a distância entre eles (H/W) apresentam um microclima específico e com efeitos de aquecimento e resfriamento diferenciados para o período diurno e noturno. A descrição de tal geometria pode ser obtida pelo fator de visão do céu (FVC): parâmetro urbanístico adimensional que expressa a relação geométrica entre a superfície terrestre e o céu, assim como a projeção da obstrução gerada pelos elementos da superfície. De acordo com Oke (1981) quanto maior a obstrução de um ponto da área urbana, menores são as trocas térmicas por radiação, dificultando a irradiação térmica e intensificando as ilhas de calor, principalmente, no período noturno.

A formação das ilhas de calor é resultado de vários aspectos da urbanização, como a poluição do ar, que gera aumento da radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera, o calor antropogênico, as superfícies impermeáveis, as propriedades térmicas e a geometria das superfícies. Todas estas variáveis contribuem para a estagnação de calor entre as edificações e na diminuição da perda da radiação por ondas longas para o espaço entre as edificações através da redução da área de céu visível (OKE, 1981).

Diante destes argumentos, que comprovam a influência do desenho urbano no clima das áreas urbanas, cada vez mais a atenção dos urbanistas começa a se voltar à preocupação ambiental e à necessidade de proporcionar ambientes termicamente confortáveis em cidades de clima quente, através de um traçado urbano melhor planejado.

Em busca da compreensão do comportamento térmico de uma região em expansão na cidade de São José dos Campos – SP, este estudo, por meio de métodos empíricos, ou seja, fundamentados em medições climáticas *in loco* e tratamento estatístico dos dados, identifica a relação do comportamento do microclima com a geometria urbana local, através de análises do fator de visão do céu.

A micro-região escolhida está inserida na porção oeste da cidade de São José dos Campos, compreendendo os bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias. Segundo a Secretaria de Planejamento de São José dos Campos (2010), o Parque Residencial Aquarius apresenta uma intensa ocupação vertical, com novas construções comerciais e residenciais, em contraposição ao Jardim das Indústrias, bairro residencial com predominância de edificações com até dois pavimentos.

A escolha dessa micro-região baseou-se na hipótese de que, na medida em que a verticalização da área urbana se intensifica, a geometria do ambiente é modificada, trazendo alterações no fator de visão do céu e, conseqüentemente, nas variáveis temperatura e umidade relativa do ar.

Os capítulos apresentados foram estruturados de forma que o leitor, com a revisão bibliográfica, obtenha noções e conceitos em relação a clima e desenho urbano, assim como alguns estudos mais recentes de aplicação do fator de visão do céu em análises de microclima das cidades. Na seqüência apresentam-se características gerais de São José dos Campos e da área em estudo.

O capítulo dedicado à metodologia detalha a fase experimental da pesquisa. Definem-se os pontos de coleta de dados, análises de parâmetros urbanísticos e climáticos, assim como o método aplicado para estimativa do fator de visão do céu.

Em resultados e conclusões apresentam-se as análises estatísticas realizadas, o comportamento térmico dos bairros em estudo, assim como a correlação existente entre a intensidade de ilhas de calor noturnas e o fator de visão do céu estimado.

2 CLIMA E DESENHO URBANO

O desenho impróprio da cidade é uma conseqüência da ausência de regulamentação, da presença de normas incorretas ou omissas e da tomada de decisões que não levam em conta a interação entre o clima e a cidade.

Segundo Givoni (1998), a orientação das ruas surte efeitos no clima urbano como condições adversas de vento na área urbana como um todo, diferentes posicionamentos de sol e sombra nas ruas e calçadas, exposição solar e potencial de ventilação dos edifícios ao longo da rua. Dependendo da orientação adotada, têm-se diferentes exposições do edifício e da rua ao sol e às condições de luz natural.

Johansson (2006) expõe que o clima desconfortável abala diretamente as relações econômicas das cidades, devido a maiores gastos energéticos (sistemas de condicionamento de ar) e “desuso” dos espaços urbanos abertos.

A geometria urbana é uma das principais variáveis envolvidas nas alterações climáticas e térmicas de uma região (OKE, 1987). Portanto, deve ser desenvolvida com base em princípios que levem em consideração características específicas locais como topografia, padrões de vento, temperatura, umidade, insolação e obstrução do céu.

Áreas urbanas são exemplo de maior demonstração de variações antropogênicas onde principalmente a geometria e as características das superfícies têm sido e, constantemente, são alteradas. Como consequência, o desenvolvimento urbano modifica os fluxos de energia e os índices de umidade que muitas vezes resultam em elevação de temperaturas urbanas comparadas com as temperaturas de áreas periféricas – as ilhas de calor. (ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H, 2005.)

Segundo Givoni (1998), nas ruas mais estreitas, a razão H/W entre a altura dos edifícios e a largura da rua é menor (assim como o fator de visão do céu), aumentando a intensidade das ilhas de calor urbanas. Como o conceito convencional de ilhas de calor está ligado às temperaturas noturnas, esta relação entre a largura da vias e a temperatura pode ser diferente para o período diurno.

A geometria dos cânions urbanos varia com base na altura, comprimento e espaçamento dos edifícios que os definem. As relações geométricas entre eles podem influenciar a absorção de radiação solar e a emissão de radiação de onda longa dentro da área urbana e podem ter um impacto significativo no balanço energético e da temperatura de uma zona urbana (ZUTTER, 2009).

Diferentes métodos podem ser aplicados para expressar a geometria urbana ou estimar valores de fator de visão do céu. Este pode ser calculado através das relações entre a largura das ruas e altura das edificações ali inseridas, de análises gráficas de fotografias olho-de-peixe, estudos tridimensionais com bases de dados 3D das cidades ou através de dados de *GPS (Global Positioning System)* e satélites (SVENSSON, 2004).

2.1 Fator de Visão e fator de visão do céu

O fator de visão é uma relação geométrica que expressa a fração de radiação refletida de uma superfície que é interceptada por alguma outra (Figura 2.1). É dimensionado por um número entre 0 e 1, pois a somatória dos fatores de visão para todas as n faces vistas de uma superfícies será igual a 1 (OKE, 1987).

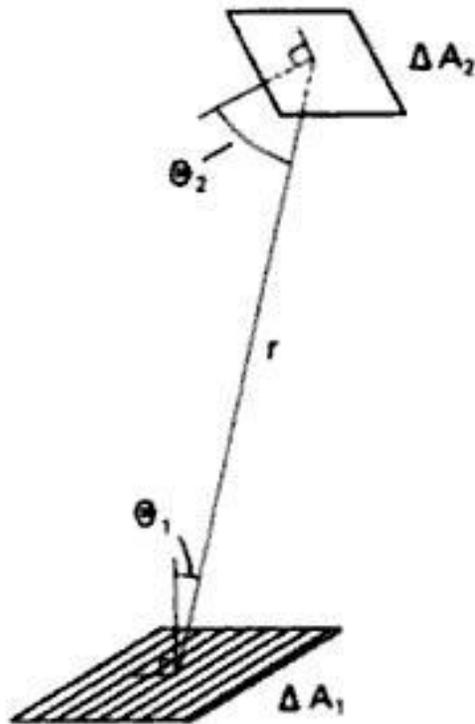


Figura 2.1 – Fator de visão para duas superfícies. Fonte: OKE, 1987

Alguns fatores de visão referentes a geometrias urbanas simplificadas são apresentados na Figura 2.2, segundo estudos desenvolvidos por Oke (1987). O eixo da esquerda apresenta valores de fator de visão do céu, e os da direita, fatores de visão terreno.

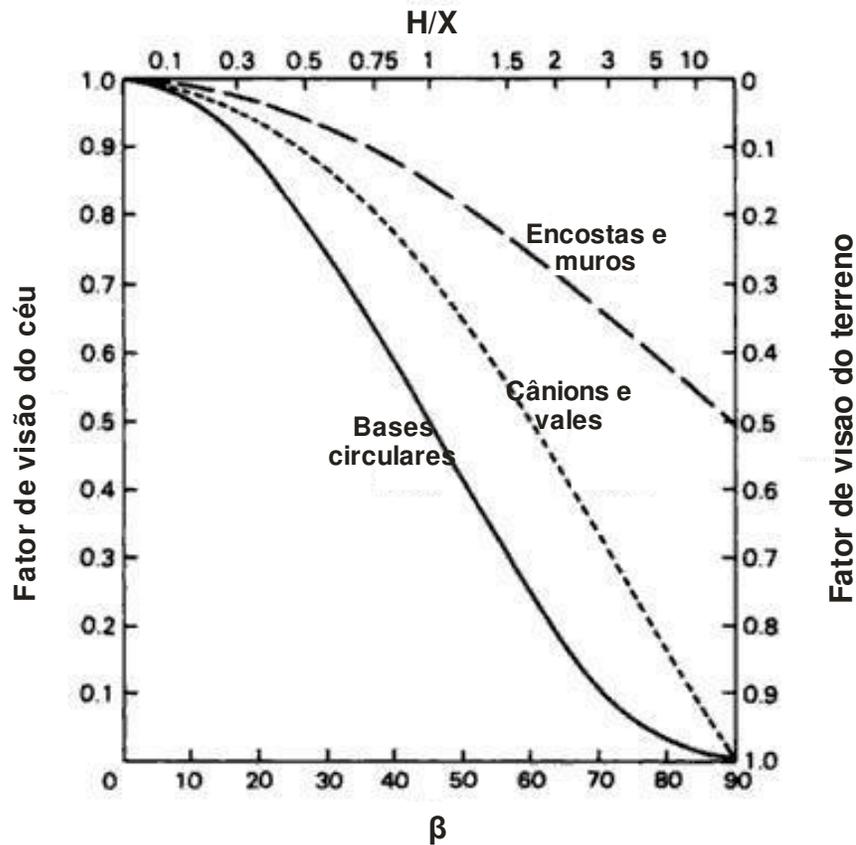


Figura 2.2 – Relação entre o fator de visão do céu e o fator de visão terreno em situações urbanas simples: encostas e muros, cânions e vales, bases circulares. Fonte: OKE, 1987

As relações de fator de visão do céu descritas a seguir foram elaboradas para aplicações em arranjos urbanos simplificados e bidimensionais como áreas circulares, paredes, taludes, cânions e vales. Oke (1987) apresentou as seguintes equações, correspondentes a cada geometria urbana.

- Figura geométrica de base circular: $\Psi_{sky} = \cos 2\beta$
- Encostas e muros: $\Psi_{sky} = (1 + \cos \beta) / 2$
- Cânions e vales: $\Psi_{sky} = \cos \beta$

Onde:

Ψ_{sky} = fator de visão do céu

$\beta = \tan^{-1}(H/W)$

H/W = relação altura/largura existente entre edifícios e o cânion urbano

A representação das variáveis H , X e β é mostrada na Figura 2.3. Deve-se salientar que, nos casos de cânions urbanos e vales, os pontos em análise estão no centro de uma estrutura simétrica.

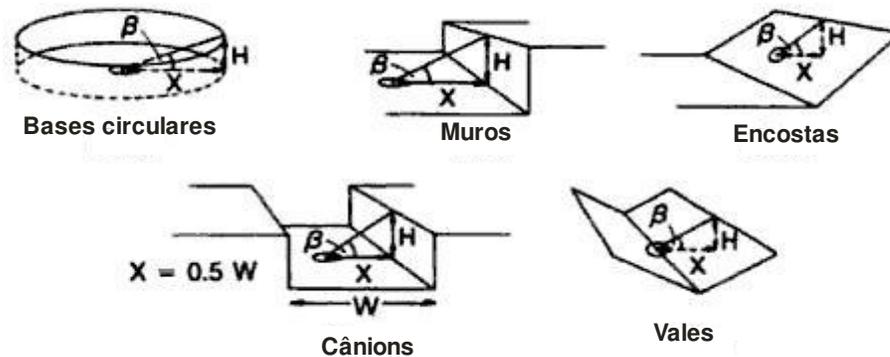


Figura 2.3 – Fatores de Visão para arranjos geométricos correntes nos desenhos das cidades. Os valores referem-se a pontos indicados pelo círculo apresentado esquematicamente na parte inferior da figura. Fonte: OKE, 1987

O fator de visão do céu é um parâmetro frequentemente usado para descrever a geometria urbana. Estudos realizados em várias latitudes apresentam resultados que validam a estreita relação deste parâmetro com variações climáticas urbanas como as ilhas de calor.

Alterações no balanço de radiação são geradas pela atenuação da radiação recebida em zonas sombreadas, aumento da radiação solar recebida e refletida internamente em cânions urbanos, captação e armazenamento de calor pelos materiais de construção e a redução da radiação de onda longa emitida pela área urbana para a atmosfera devido às obstruções locais (OKE, 1987). A quantidade de céu visível de um determinado ponto, ou seja, o céu disponível para a dispersão de energia térmica pode ser determinada pelo fator de visão do céu. O fator de visão do céu varia de 0 (zero) até 1 (um), assim como o fator de visão, sendo que o valor 1 corresponde a uma área sem qualquer obstáculo que se interponha entre o ponto escolhido e o céu (Figura 2.4).

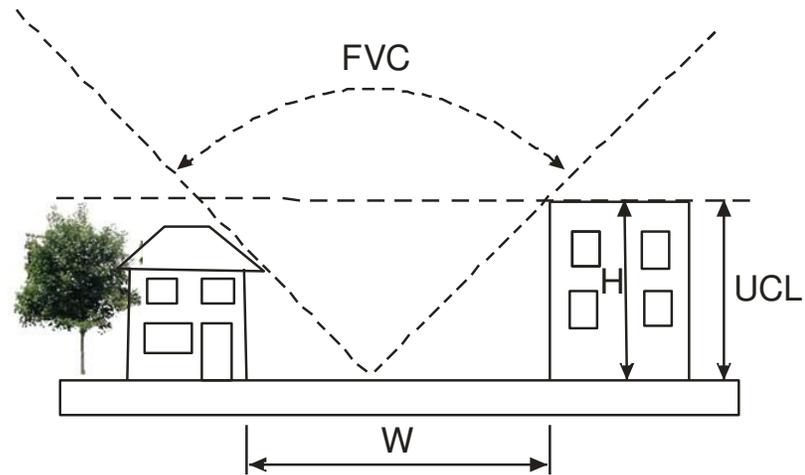


Figura 2.4 – Fator de visão do céu. Fonte: <<http://www.indiana.edu/~bses/zutter.html>>, 2010.

Onde:

FVC = fator de visão do céu

UCL = camada limite urbana (camada de ar que vai do solo até à linha limite fictícia formada pelos edifícios mais altos)

H = altura da edificação

W = largura da rua

Valores estimados para o fator de visão do céu podem ser calculados pela somatória de todos os fatores de visão das superfícies circundantes de um ponto de observação localizado em um espaço urbano, subtraindo-se 1 (UNGER, 2009).

De acordo com o guia *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach* (NIKOLOPOULOU, 2004) desenvolvido a partir do projeto *RUROS - Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces* (que teve como objetivo melhorar o domínio urbano e revitalizar os centros de cidades européias, integrando questões sociais e ambientais), o fator de visão do céu está diretamente relacionado com o efeito de ilha de calor urbano, e afeta fortemente as variações de temperatura no ambiente urbano. Geralmente, valores de FVC menores implicam em um aumento do efeito de ilha de calor urbano.

O fator de visão do céu é comumente determinado por métodos analíticos (geométricos), fotográficos ou computacionais, empregando-se teodolitos, câmeras digitais com lentes olho-de-peixe ou avaliações de banco de dados 3D da morfologia urbana.

2.2. Metodologias de determinação do fator de visão do céu

2.2.1. Método Analítico

Métodos analíticos para cálculo do fator de visão do céu utilizam-se de equações baseadas na geometria do sítio, especificamente na altura (H) e largura (W) dos cânions e são, geralmente, estimados graficamente.

O advento das fotografias olho-de-peixe facilitou a obtenção do fator de visão do céu, pois a aplicação do método analítico demandava muita concentração e cálculos matemáticos algumas vezes complexos. No entanto, os estudos realizados anteriormente foram a base essencial para o entendimento do parâmetro fator de visão do céu e para sua aplicação em pesquisas que versavam sobre o ambiente urbano.

Em 1981, Oke iniciou estudos de análise da geometria urbana por métodos analíticos trabalhando primeiramente com modelos simplificados, ou seja, edifícios isolados. O fator de visão do céu era obtido pela equação 1.

$$\Psi_{\text{sky}} = \cos [\tan^{-1} (H/D)] = \cos \beta \quad (\text{Eq. 1})$$

No entanto, para cânions com construções irregulares e não alinhadas, essa equação necessitaria de algumas alterações. Watson e Johnson (1984) concentram-se,

em suas pesquisas, na influência dos fatores de visão sobre as trocas de radiação em cânions urbanos.

Segundo os autores, as trocas de radiação de ondas longas entre o céu e uma superfície (ΔA) poderiam ser modeladas pela representação do céu como uma superfície de um hemisfério de raio (R) com centro em ΔA (Figura 2.5).

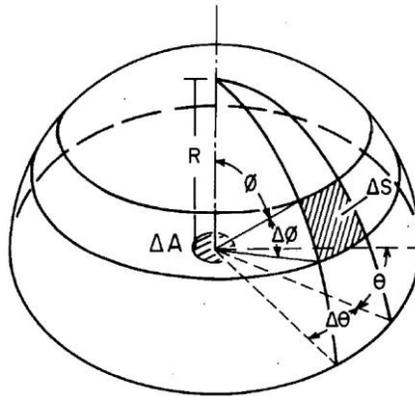


Figura 2.5 – Modelo para a troca de radiação entre o céu e uma superfície. Fonte: WATSON e JOHNSON, 1984.

A figura 2.6 mostra um arranjo urbano simples representado por uma parede com comprimento infinito. Supondo-se uma parede com altura H e localizada a uma distância D de ΔA , o fator de visão desta parede (Ψ_w) seria a fração da radiação liberada em ΔA , interceptada pela superfície da parede (W).

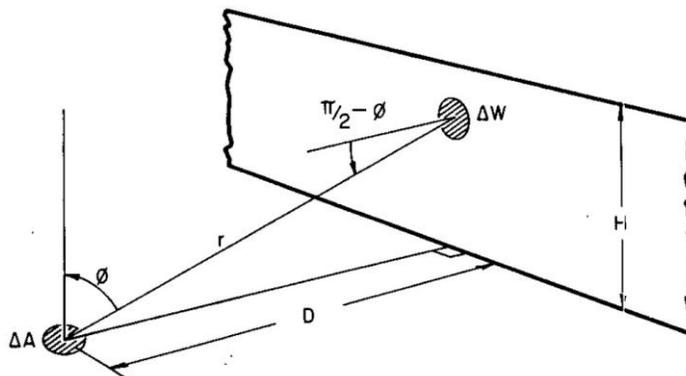


Figura 2.6 – Modelo para a troca de radiação entre uma parede com comprimento infinito e uma superfície. Fonte: WATSON e JOHNSON, 1984.

2.2.2. Método Fotográfico

As fotografias utilizadas para cálculos de fator de visão do céu são obtidas por meio de câmeras com lentes olho-de-peixe para projeção do ambiente hemisférico numa imagem plana circular. Neste processo é possível a utilização de equipamentos convencionais ou digitais.

Para a validação de novas técnicas são imprescindíveis análises comparativas com metodologias já conceituadas. Inúmeras pesquisas mostram que as aplicações de métodos fotográficos são as mais adequadas ao estudo do ambiente urbano. Com o surgimento do modelo digital, os resultados alcançados apresentam maior confiabilidade e rapidez. Além disso, são facilmente inseridos em softwares tanto para processamento das imagens quanto para simulações computacionais.

Steyn (1980) desenvolveu estudos para análise de fotografias olhos-de-peixe. Através da divisão de uma imagem em 37 anéis concêntricos, calculou a somatória de área de céu de cada anel formado. O fator de visão do céu foi resultado do total dessas somatórias multiplicadas por um peso estabelecido por ele. As avaliações das fotografias eram feitas com um modelo gráfico de coordenadas polares.

Segundo conclusões de Svensson (2004) um importante fator no processo de obtenção das fotografias olho-de-peixe para análises de ambientes urbanos é a altura em que o equipamento é montado. Alguns aplicam uma altura de 1.40m (seguindo a dimensão dos equipamentos de medição de temperatura), outros adotam o nível do solo ou até 1.20m acima do chão. Segundo as análises realizadas na pesquisa, os melhores resultados para o estudo de áreas urbanas foram alcançados com imagens tiradas no nível do solo.

Métodos rápidos para estimar o fator de visão do céu em áreas urbanas foram levantados por Grimmond et al. (2001). Para a análise fotográfica foi utilizada uma câmera convencional (Olympus OM-1) com lentes hemisféricas olho-de-peixe (Sigma 8mm *f*4), com campo de visada (FOV) de 180° (Figura 2.9).

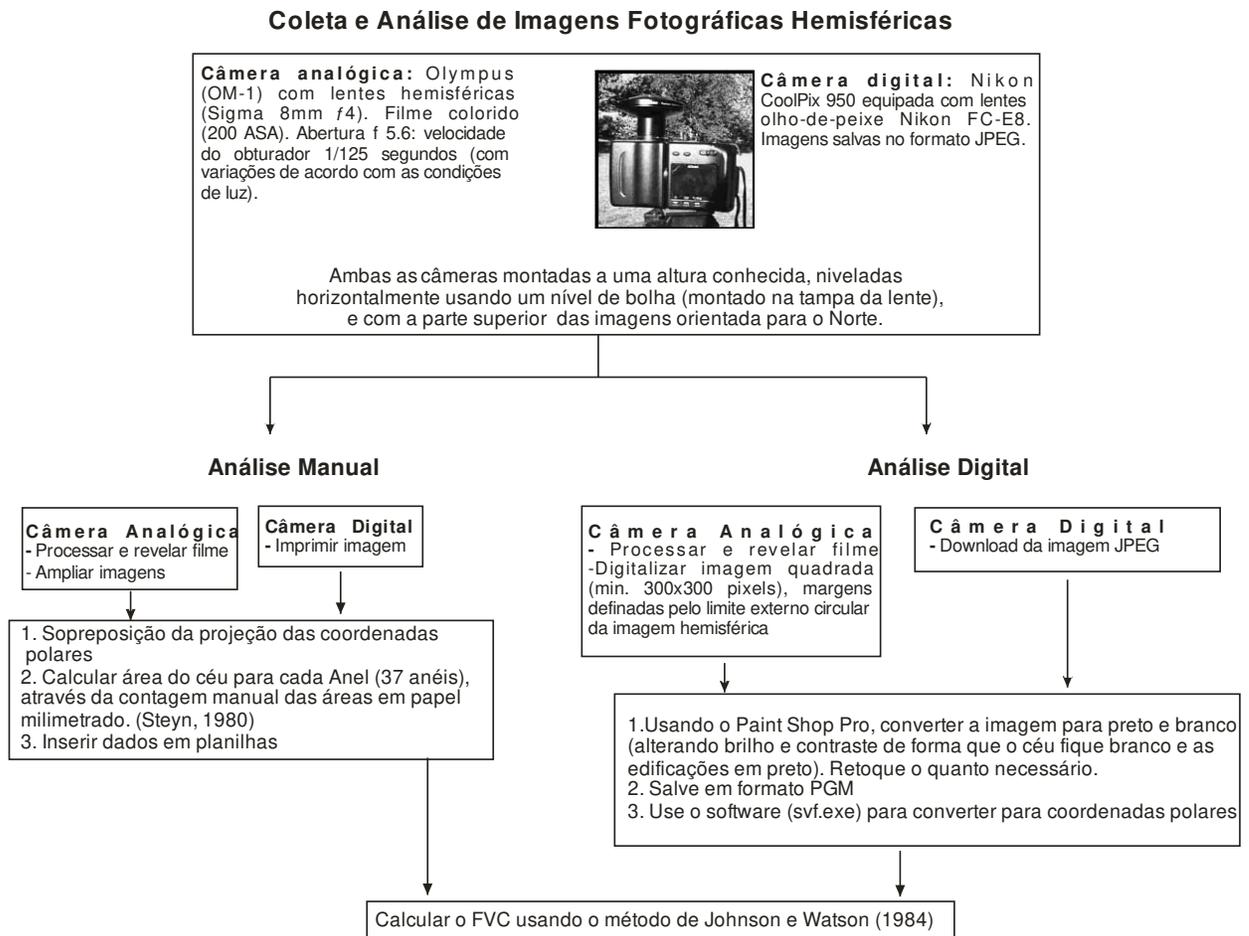


Figura 2.9 – Coleta e análise de fotografias hemisféricas. Fonte: adaptado de GRIMMOND, 2001.

As fotografias convencionais foram analisadas manualmente e digitalmente. As mesmas foram convertidas de coloridas para monocromáticas (solo, construções e vegetação em tonalidades escuras e o céu em branco) por alteração de brilho e contraste no Paint Shop Pro (Figura 2.10). As imagens processadas foram salvas e estudadas para determinação do fator de visão do céu pelo método analítico desenvolvido por Watson e Johnson (1984).

Buscando a relação entre as ilhas de calor e o fator de visão do céu em cidades do Japão, Yamashita et al. (1986) também utilizaram imagens de câmeras convencionais. No caso, foi usada a câmera AI Fish-eye Nicole Auto 8mm e $f2.8$. As fotografias foram tiradas a 1.20m do chão e a vegetação não foi considerada nos cálculos de estimativa do fator de visão do céu.

A técnica digital de análise das fotografias hemisféricas é realizada através de imagens obtidas por câmeras digitais com lentes olho-de-peixe. Algumas análises dessas imagens podem ser feitas a partir de um instrumento que avalia o plano do céu através de medidas da luz difusa não interceptada usando um sensor óptico olho-de-peixe.

Svensson (2004) identificou e discutiu o fator de visão do céu em estudos de clima urbano através da análise de fotografias olho-de-peixe digitais. As imagens foram obtidas com uma câmera Nikon 8mm, $f2.8$, FOV 180° na altura do sensor utilizado para coleta de dados de temperatura e no nível do solo. A pesquisadora concluiu, com o estudo, que os resultados apresentados de acordo com as alturas aplicadas foram diferentes e que melhores avaliações de clima urbano são alcançadas com fotografias no nível do solo.

Bourbia e Boucheriba (2009) avaliaram as temperaturas do ar e da superfície do solo, no centro da cidade de Constantine, Argélia. As análises foram realizadas com base na variação do fator de visão do céu, relação H / W e orientação das ruas urbanas. Os resultados alcançados demonstraram que os pontos menos obstruídos registravam maiores temperaturas do ar. No entanto, quanto à relação H/W , as temperaturas do ar e da superfície do solo apresentaram-se mais baixas em H/W altos.

Na pesquisa realizada em Bloomington (EUA) por Grimmond et al.(2001), imagens digitais também foram trabalhadas para possíveis comparações com os demais métodos empregados. Para tanto, como no estudo acima citado, a câmera utilizada foi a Nikon CoolPix 950 (com FOV de 183° , mas estudos precedentes chegaram a 187° a 189°) com lentes hemisféricas olho-de-peixe Nikon FC-E8. A altura

do tripé dos equipamentos era de 1.20m acima do solo e no centro dos cânions. No método digital o tempo para obtenção da imagem era menor que 5 min e seu processamento era realizado entre 1 a 10 min.

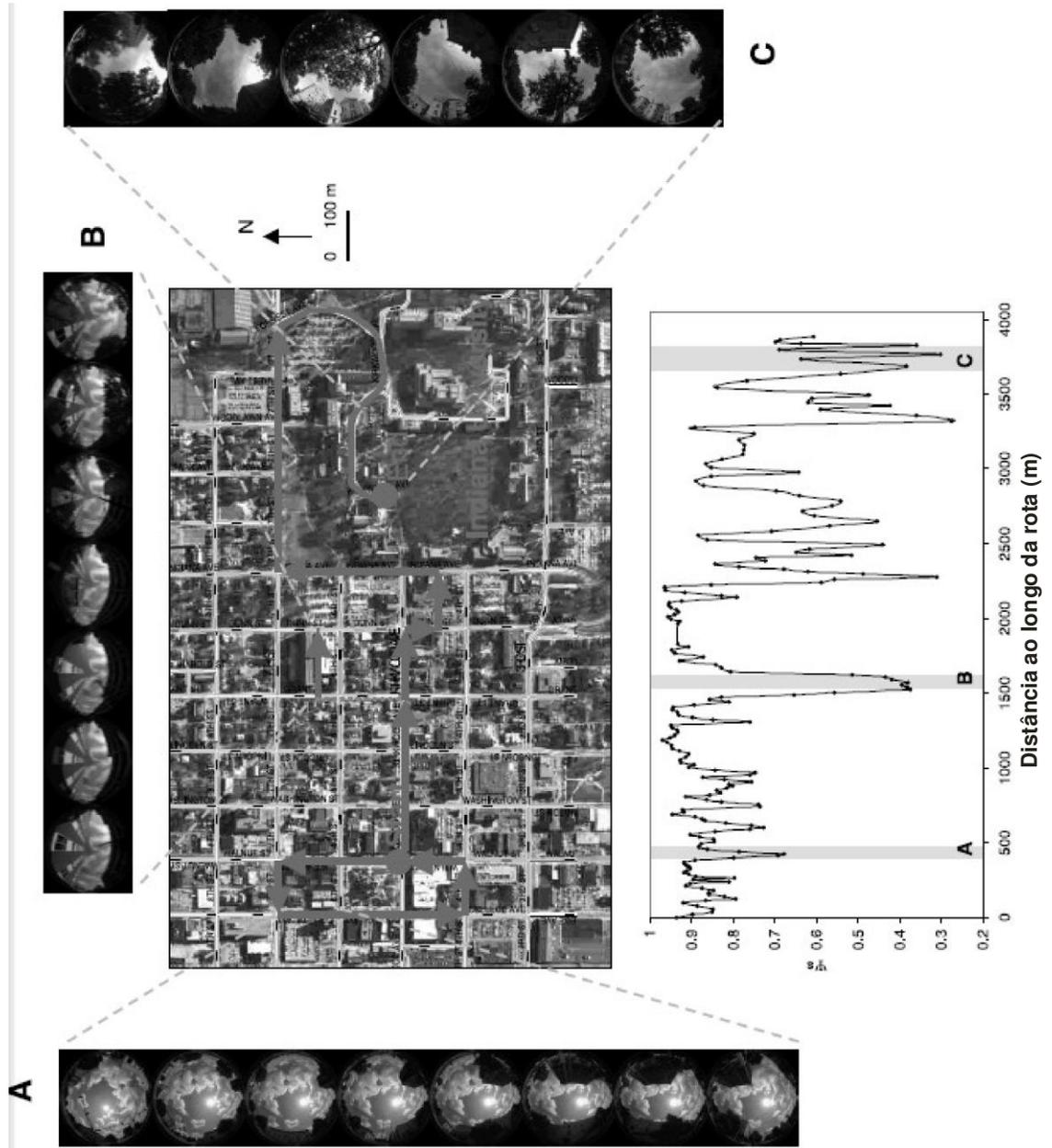


Figura 2.10 – Análises de fator de visão do céu através de fotografias digitais. Fonte: GRIMMOND, 2001.

A comparação entre métodos para as análises das fotografias foi feita por uma média absoluta de erro (MAE). Os resultados entre as análises digitais e manuais, das imagens, apresentaram um erro significativo (MAE=0.041). Estes erros atribuídos pela autora à subjetividade humana na análise do gráfico planar, fato que geralmente ocorre quando há presença de vegetação.

2.2.3. Método Computacional

O método computacional otimiza o tempo das pesquisas em desenvolvimento, além de gerar resultados com melhores índices de precisão e redução de erros. No entanto, é necessária a escolha de ferramentas e dados adequados ao estudo pretendido. Percebe-se pelos trabalhos apresentados a seguir que alguns desvios foram encontrados nos resultados computacionais quando comparados com os analíticos e fotográficos, devido a possíveis falhas nas bases de dados utilizadas ou pela presença de variáveis não esperadas pelo programa aplicado.

SOUZA (2003) estabeleceu uma integração entre um SIG¹-3D e avaliações térmicas urbanas. Utilizou como ferramenta para seu estudo o software ArcView da ESRI – Environmental Systems Research Institute e a extensão 3DSkyView para a obtenção automatizada do delineamento e determinação do fator de visão do céu.

A extensão 3DSkyView tem como princípio básico de cálculo a sobreposição espacial de uma malha estereográfica de pontos da abóbada celeste sobre a projeção estereográfica da camada intra-urbana em plano horizontal (SOUZA, 2003). Segundo as conclusões da pesquisadora, o delineamento automático dos limites entre o céu

¹SIGs são sistemas de informação geográfica construídos para armazenar, analisar e manipular dados geográficos que serão coletados de diversas fontes como imagens de satélite, fotografias aéreas, GPS (Global Position System) e armazenados em bancos de dados (CÂMARA, 1996).

visível e as obstruções garante resultados de maior precisão e valores de fator de visão do céu mais confiáveis.

Em outro estudo realizado por SOUZA (2007), a metodologia aplicada baseou-se em um SIG como ferramenta para armazenamento e tratamento de mapas de análises ambientais. Foram observadas as relações da geometria dos cânions urbanos e o comportamento térmico local. Como complemento a este trabalho foi realizada a determinação das horas de incidência solar e o cálculo da radiação horizontal do ponto em estudo de acordo com o fator de visão do céu (Figuras 2.11 e 2.12). Os produtos gerados foram de extrema facilidade para leitura de dados térmicos do ambiente.

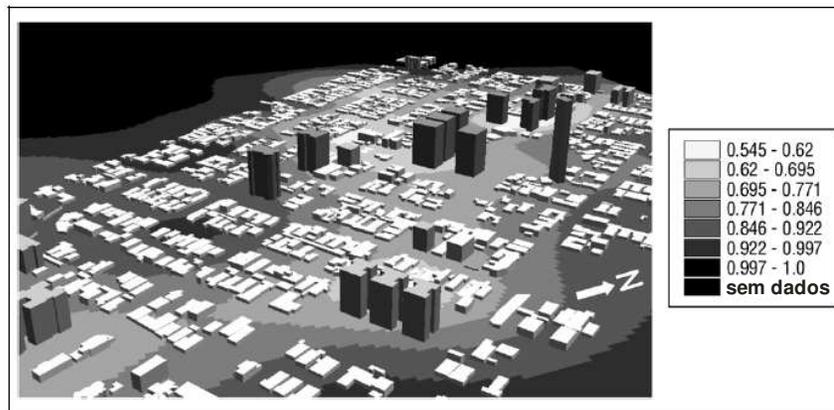


Figura 2.11 – Banco de dados 3D com análises de FVC da área em estudo. Fonte: SOUZA, 2007.

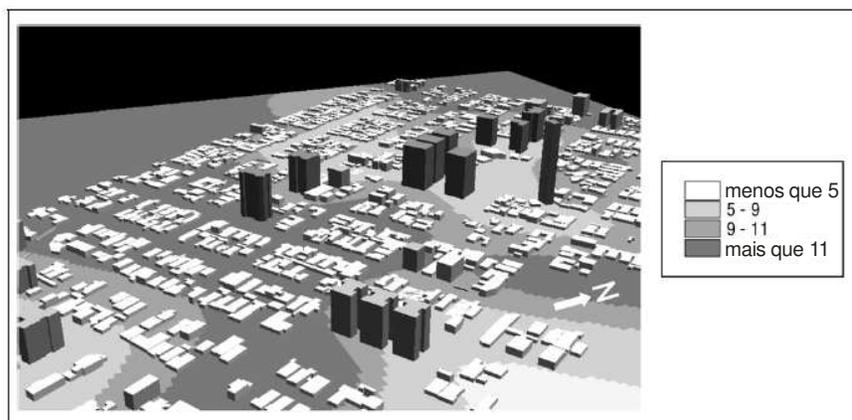


Figura 2.12 – Mapa de acesso solar, expresso em médias diárias de horas de incidência solar durante o solstício de verão. Fonte: SOUZA, 2007.

O tridimensionamento das áreas urbanas está sendo representado em diversos estudos através de bases de dados 3D. Este artifício busca a substituição das imagens geradas pelas fotografias olho-de-peixe. Unger et. al, 2007, apresentaram um SIG para o cálculo do fator de visão do céu, com o auxílio de um banco de dados 3D das edificações urbanas de uma cidade da Hungria. O estudo tinha como objetivo a aplicação, comparação e análise das diferenças de dois métodos distintos (SIG e fotografias) de estimativa do fator de visão do céu. A automação do processo de cálculo do fator de visão do céu foi feita no *ArcView 3.2.* com a utilização de uma imagem ortorretificada. Já as análises fotográficas foram realizadas no *BMSky-View* – aplicativo implementado usando linguagem C++ e baseado em uma sutil modificação dos métodos desenvolvidos por Steyn (1980). Comparando os métodos aplicados percebeu-se uma pequena diferença devido à vegetação, que no banco de dados 3D não era levada em consideração. No entanto, concluiu-se que estudos da relação da geometria urbana pelo fator de visão do céu e variáveis de temperatura podem ser feitos através do SIG. Estudos mais recentes de Unger (2009) utilizaram imagens Raster (análise por pixel) e Vetoriais. Além do *ArcView* foram utilizados o *VirtualGIS* para a preparação das ortofotos e representação visual dos modelos; e o *ERDAS IMAGINE* para as medições 3D das imagens.

Suh (2004) apresentou um estudo em Tóquio, buscando um comparativo de métodos de fator de visão do céu semelhante ao realizado por Unger (2009). O objetivo almejado era sugerir uma delimitação automática da visibilidade do céu e máscara de obstrução através de um SIG 3D. Utilizou-se o *DiaMap* (desenvolvido pela Mitsubishi Corporation) para a combinação das imagens digitais do satélite *IKONOS*. Para a verificação desta análise foi realizado também um trabalho com fotografias olho-de-peixe.

Rzepa (2009), através de fotografias olho-de-peixe da cidade de Lodz (Polônia) desenvolveu um mapa virtual com informações de fator de visão do céu e relação H/W das ruas para facilitar a análise e modelagem do clima urbano na região. Os valores do fator de visão do céu foram incluídos em um mapa virtual desenvolvido no software *Macromedia Flash MX 6.0.* Este mapa consiste em campos representativos dos pontos

de medições, onde observam-se as miniaturas das imagens olho-de-peixe, os valores do fator de visão do céu, a distribuição do fator de visão do céu no decorrer da rua e os valores da relação H/W dos cânions em estudo.

A tabela 2.1 apresenta de forma concisa as diferentes técnicas de aplicação do fator de visão do céu, bem como a demonstração de processos metodológicos e contextuais.

Tabela 2.1 – Diferentes métodos para estimativa do fator de visão do céu.

Métodos	Aplicações	Ferramentas	Vantagens	Desvantagens
ANALÍTICO OKE, 1981 WATSON e JOHNSON, 1984	<ul style="list-style-type: none"> .Cálculos manuais de fator de visão .Representações gráficas do FVC 	<ul style="list-style-type: none"> .Modelos matemáticos .Modelos gráficos 		<ul style="list-style-type: none"> .Complexidade .Maior demanda de tempo .Profissionais especializados .Suscetível a erros humanos
FOTOGRAFICO	Manual	<ul style="list-style-type: none"> .Estimativa de FVC .Análise de geometria urbana .Análise de índices de radiação .Comparações de desenho urbano e condições térmicas .Levantamento de anomalias ambientais 	<ul style="list-style-type: none"> .Câmeras convencionais .Lentes olho-de-peixe .Sensor óptico olho-de-peixe .Análises manuais .Digitalizadores de imagens .Softwares de processamento 	<ul style="list-style-type: none"> .Menor FOV .Suscetível a erros humanos .Demorado .processo de revelação da imagem .Análises manuais
Digital GRIMMOND et al., 2001 YAMASHITA et al., 1986 SVENSSON, 2004 BOURBIA, BOUCHERIBA, 2009	<ul style="list-style-type: none"> .Estimativa de FVC .Análise de geometria urbana .Análise de índices de radiação .Comparações de desenho urbano e condições térmicas .Levantamento de anomalias ambientais 	<ul style="list-style-type: none"> .Câmeras digitais .Lentes olho-de-peixe .Softwares de processamento 	<ul style="list-style-type: none"> .FOV até 187° .Rapidez de obtenção e análise .Processamento adequado ao estudo pretendido .Automação de análises 	
COMPUTACIONAL GRIMMOND et al., 2001 SOUZA, 2003/2007 SUH, 2004 UNGER et. al, 2007/2009 RZEPA, 2009	<ul style="list-style-type: none"> .Modelos 3D de cenas .Mapas temáticos .Simulações de situações .Rearranjos urbanos .Integração de diferentes parâmetros .Armazenamento de dados 	<ul style="list-style-type: none"> .Imagens aéreas .GPS .SIG .Softwares de processamento de imagens e dados 	<ul style="list-style-type: none"> .Diferentes simulações .Precisão .Rapidez .Dados em tempo real .Automação de dados .Fácil visualização dos fenômenos 	<ul style="list-style-type: none"> .Falhas em banco de dados .Limitação a condições climáticas favoráveis .Equipamentos sofisticados

3 SÃO JOSÉ DOS CAMPOS E A MICRO-REGIÃO EM ESTUDO

A cidade de São José dos Campos (latitude 23° 6' S, longitude 45° 31' W e altitude de 594m) está localizada no Vale do Paraíba, Estado de São Paulo (Figura 3.1). Com 1.099,77 km² e 629.921 habitantes segundo dados do IBGE de 2010, a cidade apresenta grande destaque no Estado de São Paulo. A instalação do Centro Técnico Aeroespacial – CTA (1950), do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA (1950), da Rodovia Presidente Dutra (1951) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (1961) consolidou São José dos Campos como um pólo científico e tecnológico formador de mão-de-obra especializada, aprimorando a estrutura educacional do Município e viabilizando a instalação de empresas nacionais de base tecnológica nos ramos aeroespacial, bélico e eletrônico, assim como nos setores automobilístico, farmacêutico e de telecomunicações.

A crescente industrialização fez com que São José dos Campos apresentasse uma explosão demográfica, acarretando acelerada urbanização e problemas de ocupação irregular da área rural.

A cidade está localizada entre as duas maiores regiões metropolitanas do país (São Paulo e Rio de Janeiro) e, além disso, a proximidade do Porto de São Sebastião e da Serra da Mantiqueira vem consolidando São José dos Campos como um centro regional de compras e serviços do Vale do Paraíba, Litoral Norte de São Paulo e Sul de Minas Gerais, atendendo uma população estimada em mais de 2 milhões de habitantes (Prefeitura Municipal de São José dos Campos, 2008).



Figura 3.1 – Localização da cidade no Estado de São Paulo. Fonte: São José em Dados, 2008.

De acordo com o sistema de classificação climática desenvolvido por Köppen, o clima de São José dos Campos se enquadra no tipo Aw. Esta categoria climática pressupõe a predominância de um clima tropical seco e úmido, ou seja, invernos secos, e as chuvas nos meses mais secos apresentando valores menores que 60 mm. Na realidade, o clima de São José dos Campos apresenta duas estações bem definidas: verão e inverno. No verão, ocorre muita atividade convectiva local e a precipitação está também associada a sistemas de tempo de grande escala (frentes frias, linhas de instabilidade, etc.) que passam pelo Vale do Paraíba. Dentre esses sistemas, destaca-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que nos meses de verão muitas vezes estaciona-se sobre a região provocando chuvas por diversos dias... As chuvas de verão em São José dos Campos são favorecidas pela orografia e também pela entrada de brisas marítimas. De um modo geral, as temperaturas no verão no Vale são moduladas pela precipitação e umidade do ar.

O inverno não chega a ser rigoroso, pois a temperatura média das mínimas em julho é de 11,7 °C. Em situações extremas, o desconforto térmico é considerável quando a temperatura mínima atinge valores abaixo de 10°C. Situações desse tipo geralmente ocorrem associadas à entrada de massas de ar polar devido à passagem de frentes frias pela região. Observa-se também uma grande incidência de nevoeiros no período da manhã a partir do mês de maio, quando a temperatura começa a diminuir. Esses nevoeiros ocorrem devido ao resfriamento noturno em situações dominadas por ventos calmos, céu claro e presença de umidade (SCOFIELD, 2000)

Para o desenvolvimento da pesquisa foram coletados dados de dois bairros da região Oeste de São José dos Campos que, segundo Costa (2007), é a que apresenta menor número de habitantes no município sendo, porém, a de maior crescimento, abrigando cerca de 6,6% da população urbana de São José (Figura 3.2). Todos os setores da Região Oeste apresentaram taxas de crescimento superiores à média da cidade ao longo da última década.

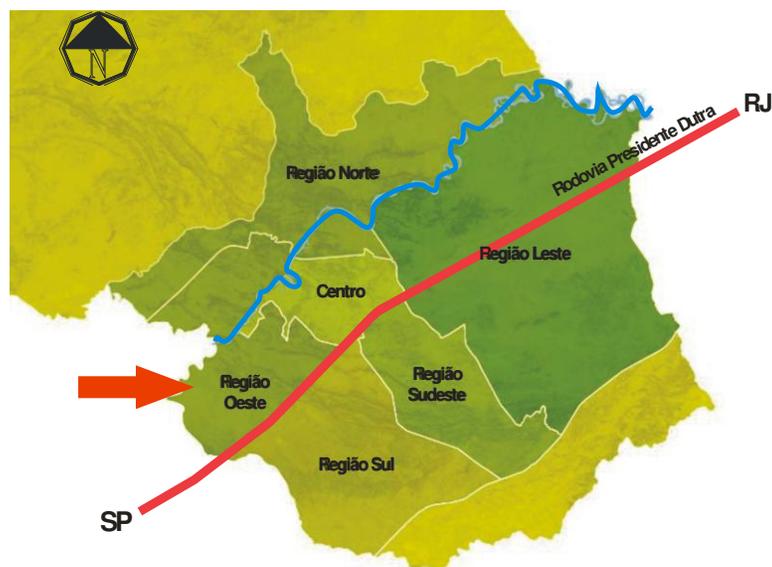


Figura 3.2 – Regiões Geográficas. No destaque a região Oeste. Fonte: adaptado de São José em Dados, 2008.

A micro-região em estudo compreende, portanto, os bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias. O primeiro apresenta uma acelerada construção de novos prédios, gerando discussões em torno de prejuízos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população. Já o Jardim das Indústrias é um bairro consolidado e com predominância de residências unifamiliares de até dois pavimentos.

Com edifícios comerciais e residenciais de alto padrão, o Parque Residencial Aquarius começa a sofrer conseqüências da rápida ocupação vertical (Figura 3.3), com focos de congestionamento nas principais vias, escassez de vagas para estacionamento e constantes adaptações das redes de abastecimento de água e esgoto. Segundo a Secretaria de Planejamento da cidade de São José dos Campos, no início de 2010 existiam 53 projetos de edifícios multifamiliares aprovados na prefeitura, entre construções já existentes e aquelas que ainda estavam para serem erguidas na micro-região em questão. O bairro abriga ainda o complexo jurídico formado pelos Fóruns Trabalhista, Criminal e Federal, que gera uma população flutuante estimada em 5.300 pessoas por dia.



Figura 3.3 – Vista panorâmica do Parque Residencial Aquarius evidenciando as diferentes altimetrias do bairro. Fonte: Prefeitura Municipal de São José dos Campos, 2009.

Já o bairro Jardim das Indústrias (Figura 3.4), em contraponto ao bairro Parque Residencial Aquarius, é predominantemente residencial e apresenta baixa verticalidade

(residências de até 2 pavimentos) o que justifica sua escolha para a comparação entre os bairros da micro-região em análise.



Figura 3.4 – Bairro Jardim das Indústrias. Ao fundo vista de alguns edifícios do Parque Residencial Aquarius. Fonte: Prefeitura Municipal de São José dos Campos, 2009.

De acordo com o plano de ocupação disponibilizado pelo Setor de Pesquisa da Secretaria de Planejamento do Município, o anteprojeto do Parque Residencial Aquarius foi apresentado à Prefeitura em 1986 e previa a necessidade de se destinar parte considerável da gleba para a implantação de um centro alternativo de comércio e serviços, que atendesse à demanda local e atuasse como contraponto de atração e redistribuição dos fluxos e densidades da região central.

Quando se iniciou o processo de aprovação do loteamento, o uso imaginado inicialmente era residencial unifamiliar em toda a sua extensão, com exceção da parte central, onde seria permitida a verticalização com edifícios de uso misto ou comercial.

O zoneamento vigente na época era definido pela lei de zoneamento 3721/90 (Lei Municipal de São José dos Campos, 1990). Na área destinada à Zona Mista 8 (ZM-8) eram permitidas atividades comerciais verticalizadas e edifícios residenciais, em uso

misto com comércio ou de forma isolada. O coeficiente de aproveitamento na ZM-8 e na ZR-5 possibilitava uma intensa verticalização. Um grande “vão” entre esses prédios seria a Zona Residencial (ZR), área destinada ao uso residencial unifamiliar, correspondente hoje ao condomínio Aquarius II.

No decorrer da expansão do loteamento, a verticalização se estendeu por todo o empreendimento e o zoneamento local passou por algumas alterações:

- 1994 – a ZR-5 (prédios residenciais) é reduzida e parte da região é dividida em três zonas residenciais (ZR-1) para abrigar os condomínios Aquarius III, IV e V;
- 1997 – Diminuição do coeficiente de aproveitamento. A ZR-5 e as antigas ZM-8 e ZM-6 passam a ser denominadas ZM-2. Já a ZR-1 é mantida, mudando apenas a nomenclatura para ZR;
- 2010 - Nova lei de zoneamento e parcelamento do solo, Lei Complementar nº 428/10 (Lei Municipal de São José dos Campos, 2010). Estabelece oito zonas distintas para os bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias (Figura 3.5).

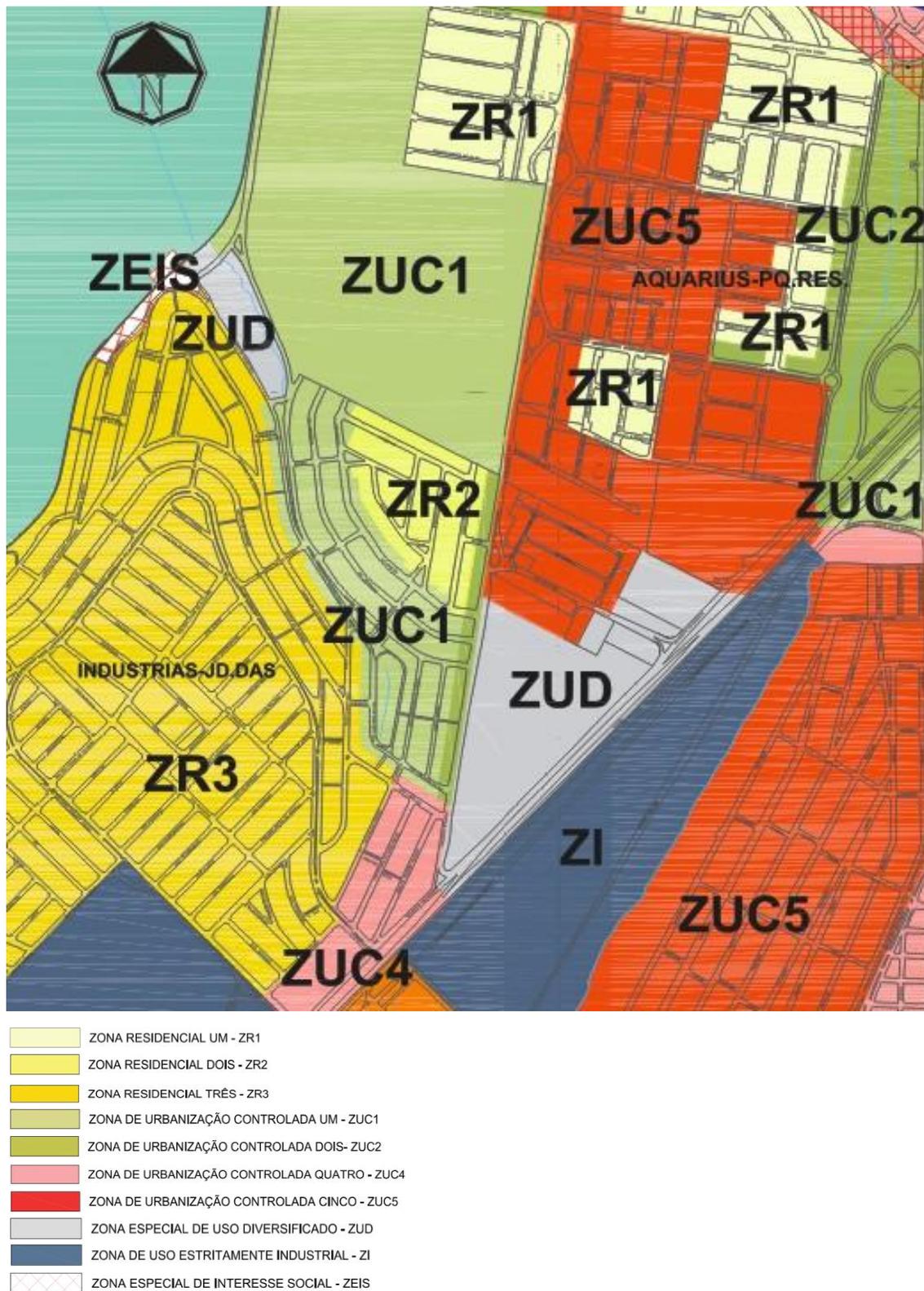


Figura 3.5 – Zoneamento Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias. Fonte: Secretaria de Planejamento Urbano de São José dos Campos, 2010.

- Zona Residencial Um – ZR-1: Constitui-se de áreas consolidadas ou glebas vazias destinadas ao uso predominantemente residencial unifamiliar, com área mínima de lote de 450,00m² (quatrocentos e cinquenta metros quadrados), admitindo o uso multifamiliar horizontal com até 50 (cinquenta) unidades habitacionais;
- Zona Residencial Dois – ZR-2: Constitui-se de áreas consolidadas ou glebas vazias destinadas ao uso predominantemente residencial unifamiliar, com área mínima de lote de 250,00m² (duzentos e cinquenta metros quadrados), admitindo o uso multifamiliar horizontal com até 50 (cinquenta) unidades habitacionais;
- Zona Residencial Três – ZR-3: Constitui-se de áreas consolidadas ou glebas vazias destinadas à ocupação predominantemente residencial unifamiliar, admitindo os usos multifamiliar horizontal com até 120 (cento e vinte) unidades habitacionais e multifamiliar vertical com até 60 (sessenta) unidades habitacionais;
- Zona de Urbanização Controlada Um – ZUC-1: constitui-se de áreas com ocupação predominantemente residencial e comércio de âmbito local, ou glebas vazias, ambas com tendência à saturação do sistema viário, sendo necessário o controle do adensamento, bem como a limitação do gabarito de altura, permitindo os usos residencial unifamiliar e multifamiliar horizontal, admitidos os usos comercial, de serviço e institucional com nível de interferência urbano-ambiental desprezível;
- Zona de Urbanização Controlada Dois – ZUC-2: constitui-se de áreas de ocupação residencial, com diversidade de usos comerciais e de serviços, com nível de interferência urbano-ambiental baixo, e uso industrial sem risco ambiental, que apresentam tendência à saturação do sistema viário, sendo necessário o controle do adensamento, bem como a limitação do gabarito de altura, admitidos os usos residencial multifamiliar, comercial e de serviços;

- Zona de Urbanização Controlada Quatro – ZUC-4: constitui-se predominantemente de áreas consolidadas com tendência à verticalização, destinadas ao uso residencial unifamiliar e multifamiliar, de comércio, serviço e institucional, com nível de interferência urbano-ambiental baixo e uso industrial sem risco ambiental, sendo admitido os usos residencial multifamiliar e comercial com até 8 (oito) pavimentos;
- Zona de Urbanização Controlada Cinco – ZUC-5: constitui-se de áreas ocupadas pelo uso residencial horizontal e vertical, consolidado ou em fase de consolidação, destinadas a absorver os usos residenciais multifamiliar e o comércio e serviço com nível de interferência urbano-ambiental baixo, com até 15 (quinze) pavimentos, e o uso industrial sem risco ambiental, admitindo o uso residencial unifamiliar;
- Zona de Uso Diversificado - ZUD: constitui-se de áreas destinadas a garantir a proteção das áreas circunvizinhas às zonas de uso predominantemente industrial contra possíveis efeitos residuais e acidentes provenientes de atividades de risco ambiental mais significativo, admitindo-se os usos de comércio, serviços, institucionais e industriais com, no máximo, grau de risco ambiental leve;
- Zona Especial de Interesse Social - ZEIS: constitui-se de áreas destinadas a projetos residenciais voltados à população de baixa renda, enquadrando-se nesta categoria áreas ocupadas por sub-habitações, favelas e loteamentos clandestinos onde haja interesse social em promover a regularização fundiária e urbanística ou aquelas adquiridas pelo poder público para Programas Habitacionais.

4 METODOLOGIA

Para a coleta de dados nos bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias (Figura 4.1 e 4.2), adotou-se uma sequência de métodos para reconhecimento, levantamento e análise da região em estudo. Em um primeiro momento foram observadas as características locais para a escolha dos pontos de acordo com as necessidades especificadas para a realização da pesquisa. A partir da definição dos pontos, realizaram-se levantamentos referentes aos parâmetros urbanísticos e climáticos, assim como a geração de isolinhas térmicas e de estimativa do fator de visão do céu. Para a compreensão dos dados coletados foi realizada uma análise estatística buscando uma melhor organização dos resultados.

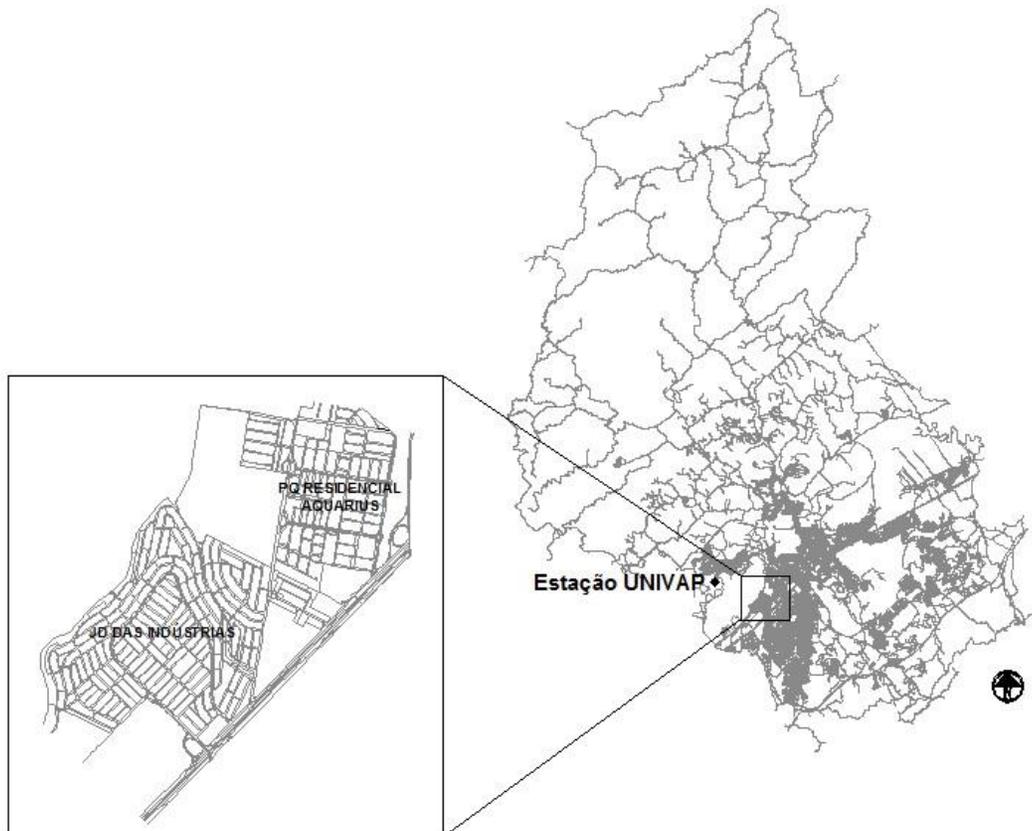


Figura 4.1 – Destaque da área em estudo no município.

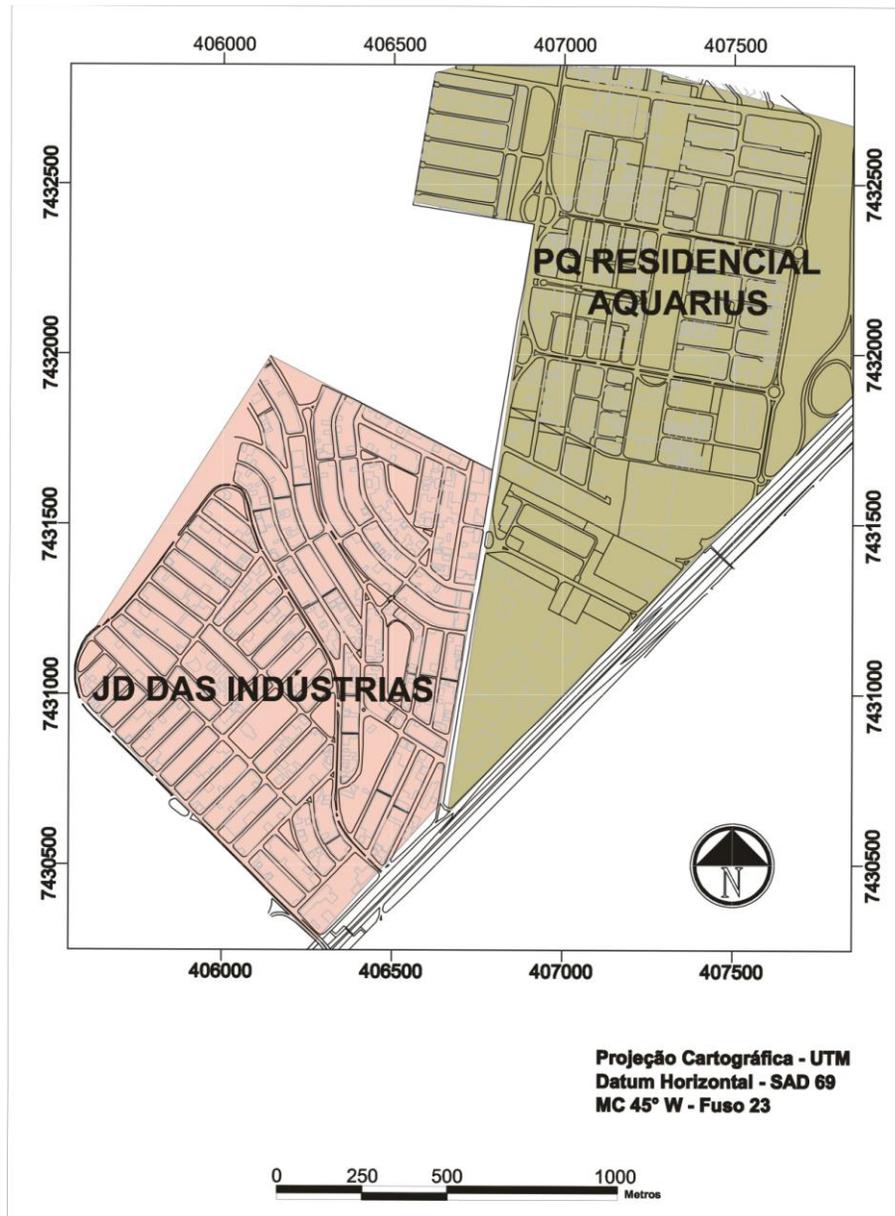


Figura 4.2 – Micro-região de estudo. Fonte: Secretaria de Planejamento, 2008.

Para compreender o comportamento térmico desta área de São José dos Campos empregou-se a espacialização dos dados levantados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e fator de visão do céu, em mapas temáticos. A partir do método fotográfico digital para estimativa do fator de visão do céu e de análises estatísticas dos dados coletados, estabeleceu-se uma correlação entre os parâmetros levantados.

4.1 Escolha dos pontos de análise

Após o reconhecimento da micro-região de estudo foram definidos os pontos para as análises (Figura 4.3). Tal escolha foi feita através do levantamento de campo, análise de mapas e imagens de satélite, buscando uma distribuição que atendesse aos diferentes usos do solo, verticalidade e desenho urbano. Na elaboração dos mapas temáticos utilizou-se o banco de dados Cidade Viva 2010, da Secretaria de Planejamento da cidade de São José dos Campos. Este banco disponibiliza, através do *software SPRING 5.1*, dados e informações como planta de ruas, topografia, hidrografia, estradas municipais e rodovias, assim como cartografia municipal em escala mais detalhada.

Para a coleta dos dados de temperatura e umidade relativa do ar utilizaram-se registradores com protetores para medições em ambientes externos. Para a escolha foram considerados critérios quanto à localização do equipamento, melhor situação de exposição dos sensores com relação às intempéries e radiação solar, bem como a segurança do local. As áreas de instalação dos registradores eram, no geral, gramadas e sem cobertura². As medições no bairro Parque Residencial Aquarius foram realizadas em 10 locais que representam diferentes condições em relação às características ambientais e à ocupação urbanística. Para as medições no Jardim das Indústrias foram eleitos 4 pontos de coleta de dados. Os quadros 4.1 e 4.2 descrevem a caracterização do entorno e a localização de cada ponto dos bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias respectivamente. Os detalhes (raio de 150m) são provenientes de imagens do satélite *Quickbird*³ de 2008. O centro do recorte equivale ao local de instalação dos registradores.

² Exceto ponto referente ao Buffet Guli Guli (localizado nas proximidades da Rodovia Presidente Dutra na porção oeste da micro-região) com piso cimentado.

³ Apresenta capacidade de visada de 544km e coleta imagens com 16,5km de largura, com ângulos de visada que podem variar de 0° a 45°. O sensor abordo do satélite *QuickBird* fornece imagens com resolução espacial de 60cm na banda pancromática e 2,44cm nas quatro bandas multiespectrais.

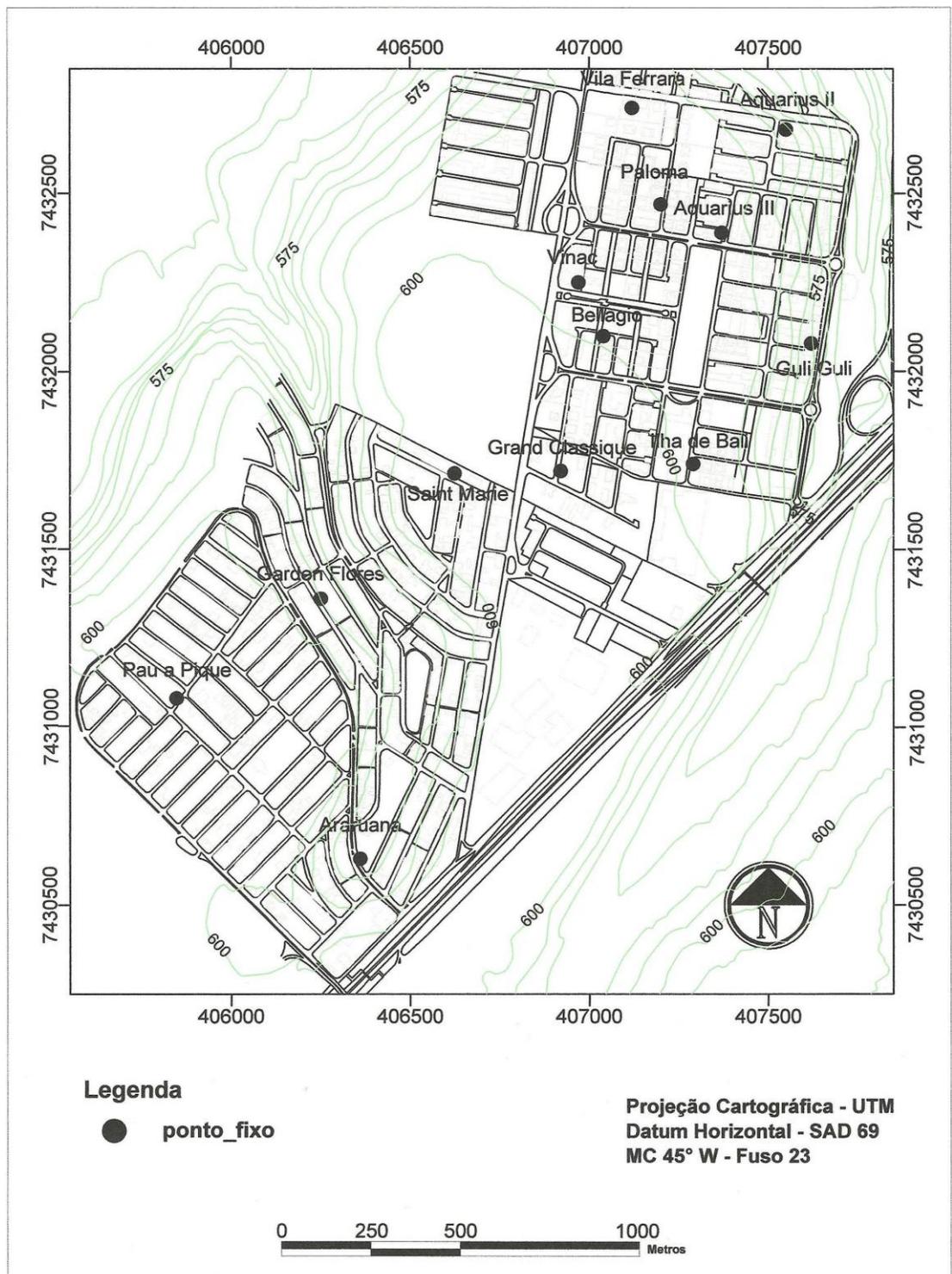
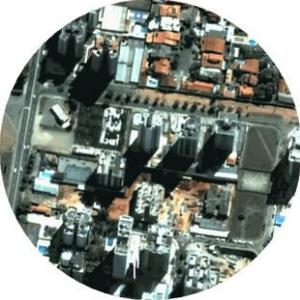
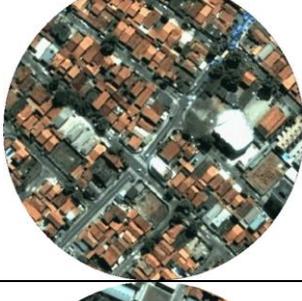


Figura 4.3 – Localização dos pontos de coleta de dados nos bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias.

Ponto	Raio de 150m	Descrição do ponto
PARQUE RESIDENCIAL AQUARIUS		
Vila Ferrara		(1) localizado no perímetro do bairro e próximo a grande concentração de altos edifícios Coordenada UTM do ponto central E= 07119.9724 N= 432759.2794
Aquarius II		(2) localizado no perímetro do bairro, em uma área residencial, com construções de até 2 pavimentos, recuos maiores e ruas largas Coordenada UTM do ponto central E = 407556.3722 N = 7432693.2136
Paloma		(3) localizado na região com concentração de altos edifícios, pequenos recuos, ruas estreitas e intensa movimentação de veículos Coordenada UTM do ponto central E = 407201.7933 N = 7432467.6786
Aquarius III		(4) localizado próximo a uma grande praça e com características semelhantes ao condomínio Aquarius II Coordenada UTM do ponto central E = 407372.2660 N = 7432394.7783
Vinac		(5) localizado no extremidade Leste do bairro, entre um grande vazio urbano e a barreira de altos edifícios existente no bairro Coordenada UTM do ponto central E = 406972.2329 N = 7432269.4811

Guli Guli		<p>(6) localizado nas proximidades da Rodovia Presidente Dutra</p> <p>Coordenada UTM do ponto central E = 407629.1055 N = 7432087.2305</p>
Bellagio		<p>(7) localizado em uma região mais central do bairro com ruas amplas e maiores recuos</p> <p>Coordenada UTM do ponto central E = 407056.3307 N = 7432100.8993</p>
Classique		<p>(8) localizado na extremidade Sul do bairro, próximo a uma avenida de intenso movimento de veículos</p> <p>Coordenada UTM do ponto central E = 406931.3204 N = 7431720.4513</p>
Ilha de Bali		<p>(9) localizado no perímetro oposto ao condomínio Aquarius II, próximo à Rodovia Presidente Dutra e à rede de hipermercados Carrefour</p> <p>Coordenada UTM do ponto central E = 407299.5327 N = 7431743.2326</p>

Quadro 4.1 – Caracterização dos pontos e entorno referentes ao Parque Residencial Aquarius.

Ponto	Raio de 150m	Descrição do ponto
JARDIM DAS INDÚSTRIAS		
Saint Marie		(1) localizado no limite Oeste do bairro, próximo ao grande vazio urbano da região. Região com ruas largas Coordenada UTM do ponto central E = 406633.5684 N = 7431715.8951
Garden Flores		(2) localizado em avenida larga e lote com pequenos recuos Coordenada UTM do ponto central E = 406263.0832 N = 7431355.9502
Pau a Pique		(3) localizado no ponto oposto ao Garden Flores, no entanto, com semelhantes características de implantação Coordenada UTM do ponto central E = 405853.9584 N = 7431103.0776
Araruama		(4) localizado em avenida larga e nas proximidades da Rodovia Presidente Dutra Coordenada UTM do ponto central E = 406379.0019 N = 7430620.1136

Quadro 4.2 – Caracterização dos pontos e entorno referentes ao bairro Jardim das Indústrias.

4.2 Análise dos parâmetros urbanísticos

Após a escolha dos pontos de coleta de dados buscou-se uma melhor compreensão da geometria local e um levantamento mais detalhado das superfícies de ocupação da micro-região em estudo. Assim, os seguintes parâmetros urbanísticos foram observados para a identificação de algumas características urbanas da região:

- (a) superfícies de ocupação;
- (b) categorias altimétricas;
- (c) relação H/W.

Para a elaboração do mapa de superfícies de ocupação foi necessária a utilização da base digital dos bairros e da imagem de satélite *Quickbird* referente ao ano de 2008 (Figura 4.4), ambas provenientes do banco de dados Cidade Viva 2010 da Secretaria de Planejamento da cidade de São José dos Campos. Através da base digital da micro-região, foi realizado um levantamento *in loco* dos materiais de superfície e, posteriormente, uma comparação com os identificados por meio da interpretação visual da imagem de satélite. Com tal identificação foi possível verificar os materiais do entorno e pressupor o comportamento dos mesmos através de suas propriedades térmicas.

O mapa de categorias altimétricas foi desenvolvido através de observações realizadas *in loco*. Assim, novos *layers* foram aplicados à base digital da micro-região, pelo *software AutoCad 2008*, representando a verticalidade encontrada nos bairros em análise.

As figuras 4.5 e 4.6 representam as diferentes ocupações do solo (edificações, área pavimentada, área gramada, água, árvores, asfalto e solo) e as categorias altimétricas observadas (sem construções, 1 a 2 pavimentos, 3 a 10 pavimentos, 11 a 20 pavimentos e acima de 20 pavimentos).

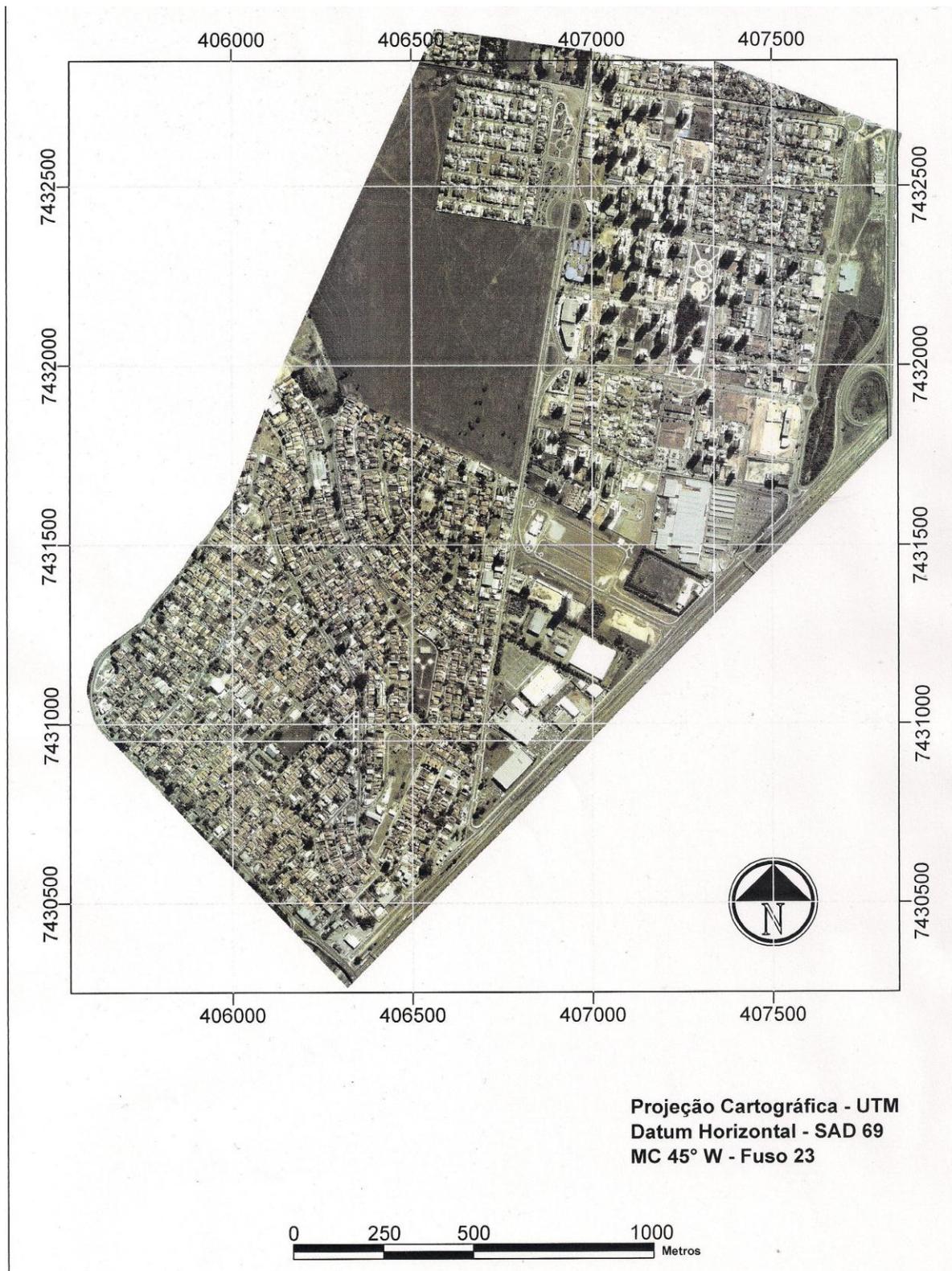


Figura 4.4 – Imagem do satélite Quickbird. Fonte: Secretaria de Planejamento, 2008.



Figura 4.5 – Superfície de ocupação.

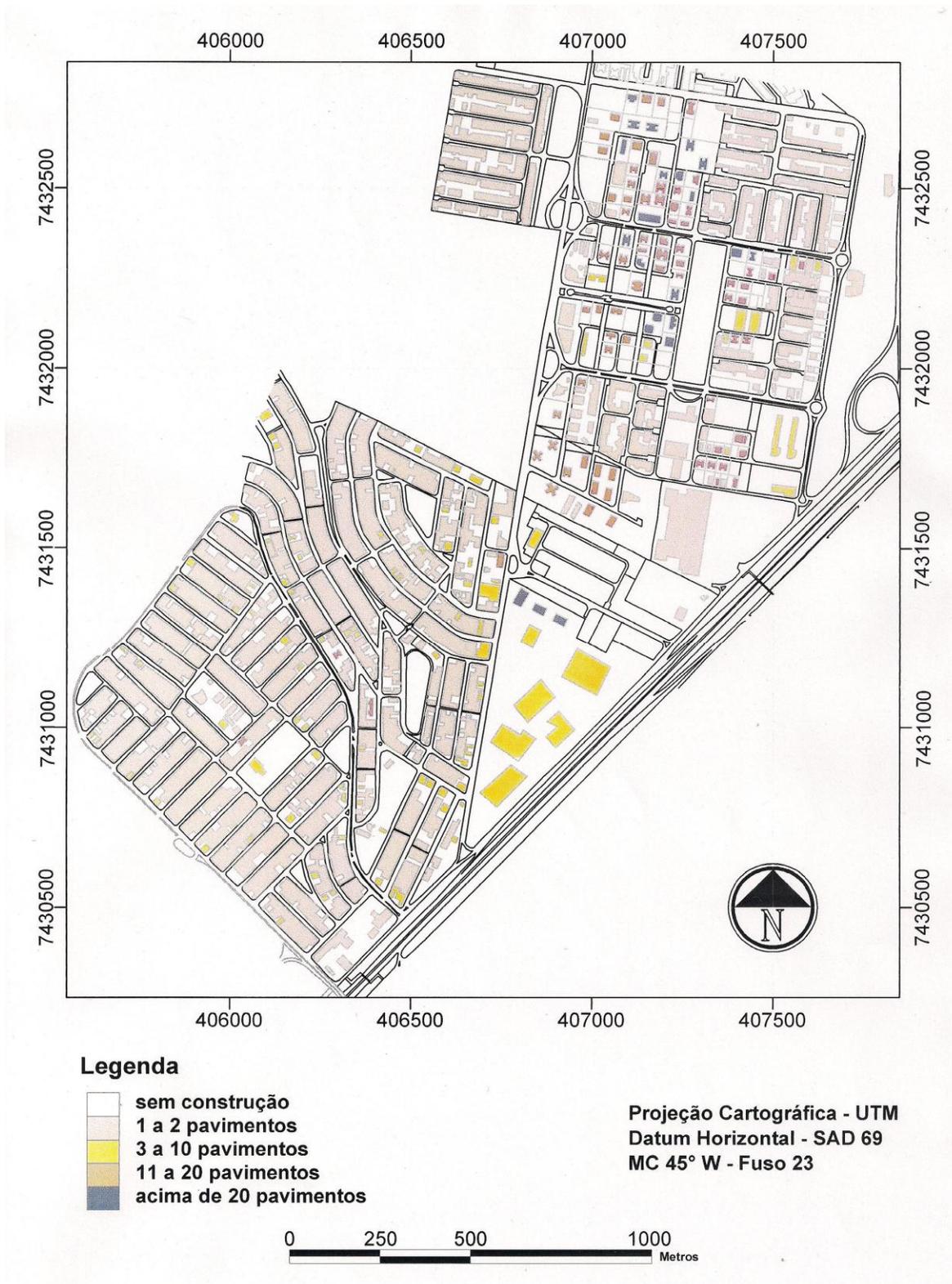


Figura 4.6 – Categorias altimétricas.

Um dos métodos para identificar a geometria urbana no entorno dos pontos em análise foi o cálculo da relação H/W. Esta geometria foi demonstrada pela relação entre a largura da rua (medida em frente ao ponto de coleta de dados) e a média de altura dos edifícios deste mesmo eixo. A figura 4.7 representa um cânion estreito (a) e um cânion mais amplo (b).

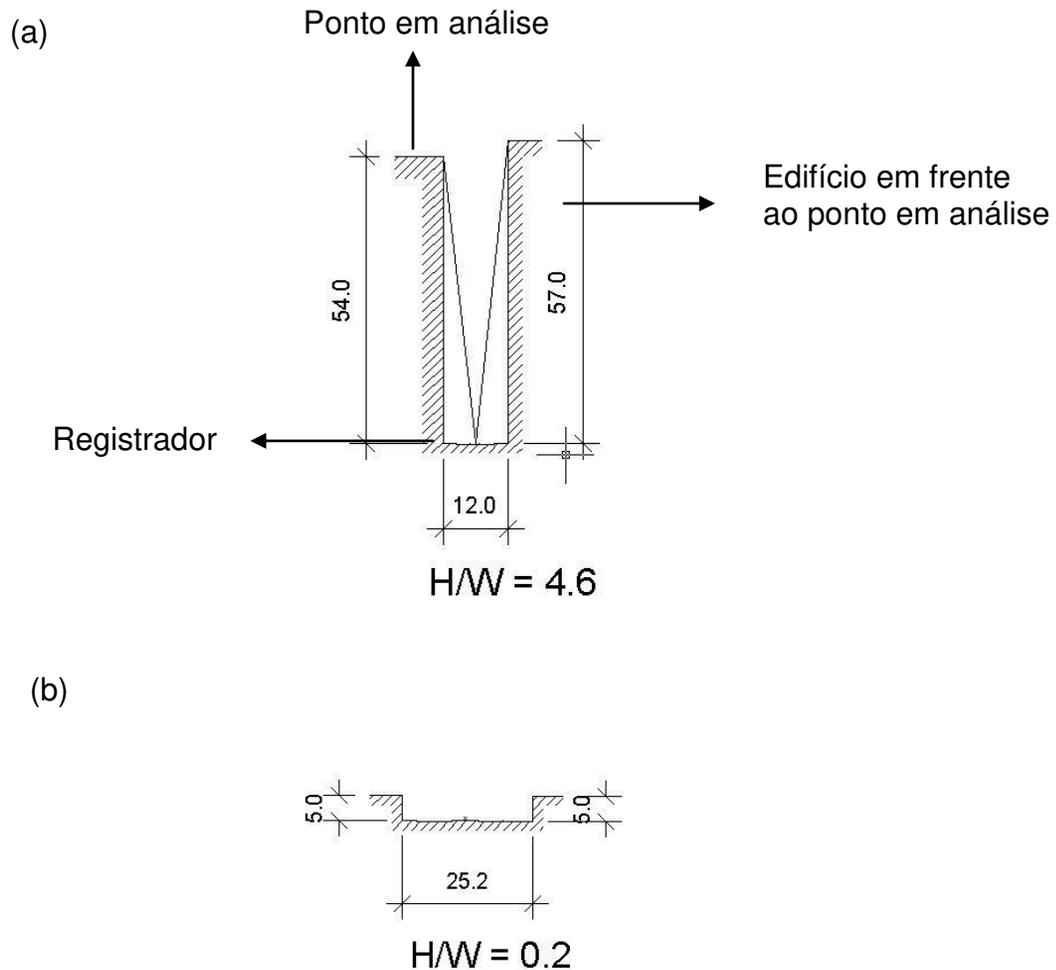
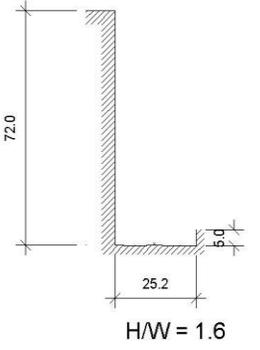
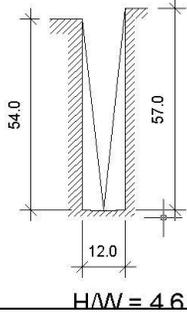
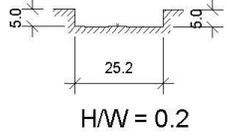
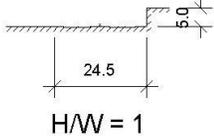
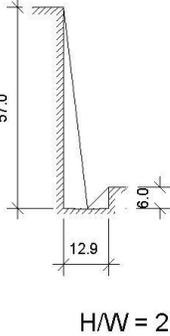
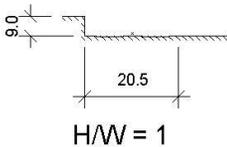
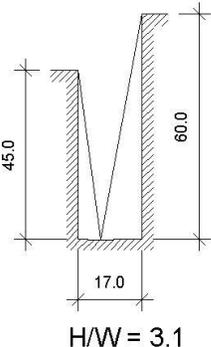
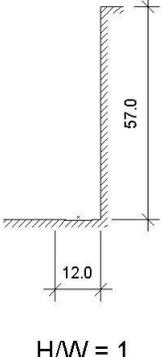
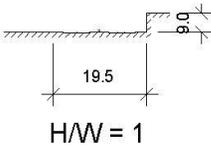
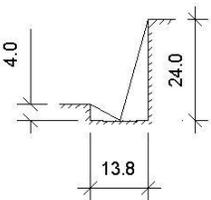
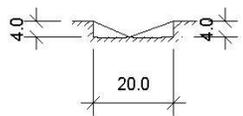
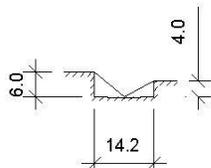
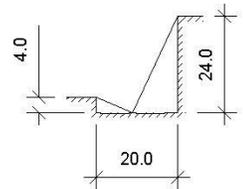


Figura 4.7 – Exemplo de relação H/W de um cânion estreito (a) e de um cânion amplo (b).

A configuração dos cânions referentes aos pontos de coleta de dados é apresentada nos quadros 4.3 e 4.4. Observa-se nos croquis da geometria local, a largura das vias e a altura dos edifícios que estavam no eixo dos registradores instalados.

Ponto	Relação H/W	Ponto	Relação H/W
PARQUE RESIDENCIAL AQUARIUS			
Vila Ferrara	 <p style="text-align: center;">$H/W = 1.6$</p>	Paloma	 <p style="text-align: center;">$H/W = 4.6$</p>
Aquarius II	 <p style="text-align: center;">$H/W = 0.2$</p>	Aquarius III	 <p style="text-align: center;">$H/W = 1$</p>
Ilha de Bali	 <p style="text-align: center;">$H/W = 2.4$</p>	Guli Guli	 <p style="text-align: center;">$H/W = 1$</p>
Bellagio	 <p style="text-align: center;">$H/W = 3.1$</p>	Classique	 <p style="text-align: center;">$H/W = 1$</p>
Vinac	 <p style="text-align: center;">$H/W = 1$</p>		

Quadro 4.3 – Relação H/W dos cânions referentes aos pontos em análise - Parque Residencial Aquarius.

Ponto	Relação H/W	Ponto	Relação H/W
JARDIM DAS INDÚSTRIAS			
Saint Marie	 <p style="text-align: center;">$H/W = 1.02$</p>	Garden Flores	 <p style="text-align: center;">$H/W = 0.20$</p>
Pau a Pique	 <p style="text-align: center;">$H/W = 0.35$</p>	Araruama	 <p style="text-align: center;">$H/W = 0.7$</p>

Quadro 4.4 – Relação H/W dos cânions referentes aos pontos em análise - Jardim das Indústrias.

4.3 Medições dos parâmetros climáticos

Os dados referentes à temperatura do ar e à umidade relativa foram coletados nos 14 pontos escolhidos (Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias) simultaneamente e de forma contínua de 3 a 15 de agosto de 2010 – período de inverno e de 19 de fevereiro a 1 de março de 2011 – período de verão. O intervalo de 15 em 15 minutos foi utilizado para registro das medições seguindo parâmetros adotados pela estação meteorológica da Universidade do Vale do Paraíba (estação usada para comparação entre os dados da área rural e a área urbana). Os dados foram coletados através de registradores, marca Testo, modelo 175 (Quadro 4.5).

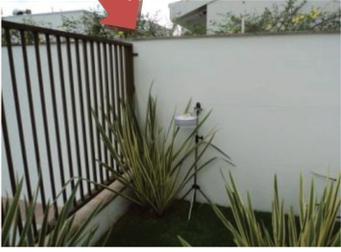
	Registrador de temperatura do ar e umidade Marca Testo, modelo 175-H1	
	Faixa de medição	Precisão
	<i>Temperatura do ar</i> - 10 a 50°C <i>Umidade</i> 0 a 100%	<i>Temperatura do ar</i> $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ <i>Umidade</i> $\pm 3\%$

Quadro 4.5 – Faixa de medição e precisão dos registradores de temperatura e umidade.

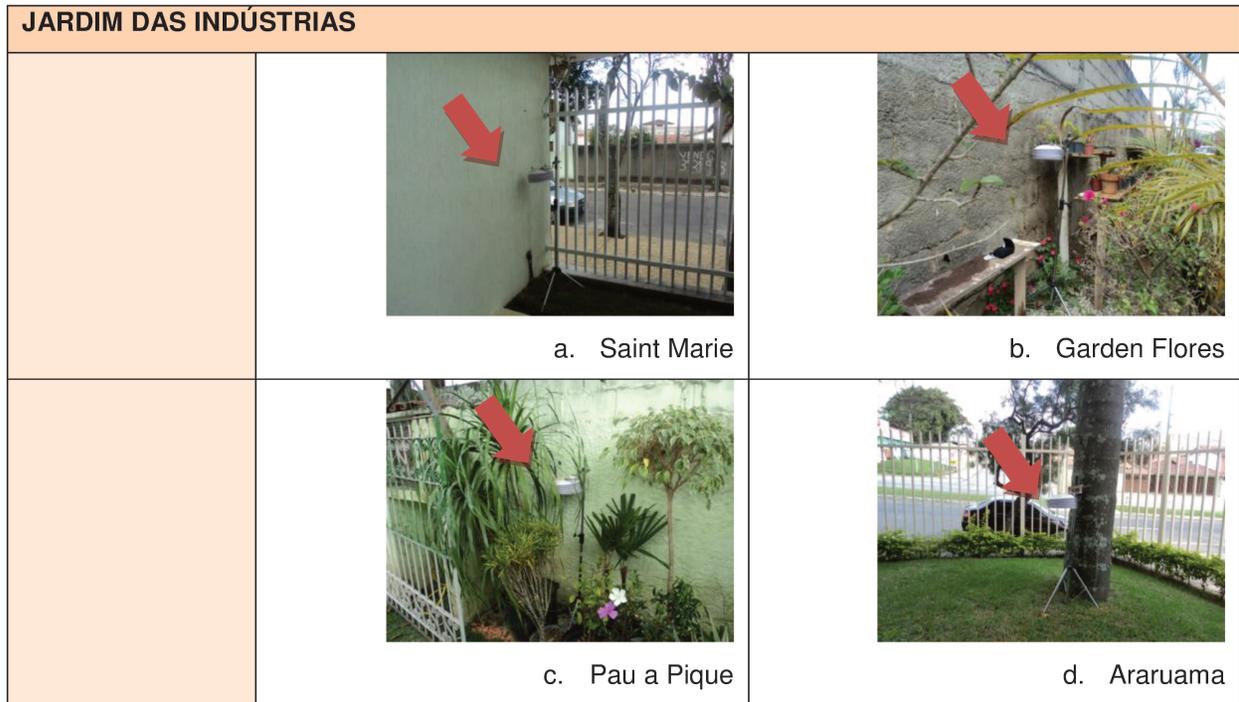
Os registradores de temperatura e umidade contavam com um protetor para realização de medições em ambientes externos (Figura 4.8). Foram instalados em áreas externas a uma altura de 1,50m do nível do solo (Quadros 4.6 e 4.7).



Figura 4.8 – Registrador de temperatura e umidade, com protetor, para medições externas.

PARQUE RESIDENCIAL AQUARIUS		
	 <p>a. Vila Ferrara</p>	 <p>b. Aquarius II</p>
	 <p>c. Residencial Paloma</p>	 <p>d. Aquarius III</p>
	 <p>e. Vinac</p>	 <p>f. Buffet Guli Guli</p>
	 <p>g. Bellagio</p>	 <p>h. Grand Classique</p>
	 <p>i. Ilha de Bali</p>	

Quadro 4.6 – Localização dos aparelhos de medição nos pontos – Parque Residencial Aquarius.



Quadro 4.7 – Localização dos aparelhos de medição nos pontos – Jardim das Indústrias.

4.4 Estimativa do fator de visão do céu

Para a análise da geometria urbana através do fator de visão do céu, adotou-se o método fotográfico com o uso da câmera fotográfica digital, marca Canon, modelo EOS 450D com lente olho-de-peixe, marca Sigma, modelo EX 4.5mm (Figura 4.9).



Figura 4.9 – Câmera digital Canon com lente olho-de-peixe.

Para a captura das imagens o tripé foi colocado nos eixos das vias e nos pontos de medições climáticas. Além disso, a câmera foi instalada em dois níveis distintos de altura (0,60m do solo e 1,50m do solo), estando nivelada e voltada para o Norte. Segundo resultados obtidos por Svensson (2004) as fotografias tiradas a uma altura próxima ao solo apresentaram melhores avaliações de clima urbano. Assim, esta pesquisa buscou também averiguar a interferência das alturas na estimativa do fator de visão do céu. As imagens foram obtidas em 16/08/2010 e 21/08/2010. A estimativa do índice de obstrução do céu foi proveniente das análises dos levantamentos fotográficos pelo *software Gap Light Analyzer 2.0 (GLA)*.

Neste programa o processamento da imagem envolve a transformação de posição dos pixels da imagem em coordenadas angulares, a divisão de intensidades destes pixels em classes de céu e não-céu, e o cálculo da distribuição de brilho. Estes dados são posteriormente combinados para produzir estimativas de transmissão de luz, bem como outras medidas mais diretamente relacionadas à estrutura do dossel, como a abertura, área foliar e frequência de incidência solar. O *software GLA 2.0* calcula a abertura e o índice de área foliar de um ponto, a distribuição de frequência e duração da incidência solar diária, e a quantidade de radiação solar (difusa, direta e total) incidente acima e abaixo do dossel sobre uma superfície horizontal ou inclinada (FRAZER, G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P., 1999).

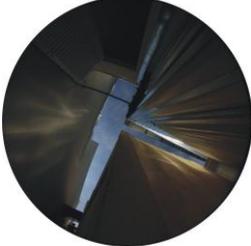
As fotografias com lente olho-de-peixe foram inseridas no *software GLA*, registradas e transformadas em monocromáticas para o cálculo do fator de visão do céu (Figura 4.10). Imagens obtidas em dias nublados apresentaram resultados mais eficientes na leitura feita pelo software, destacando com maior nitidez o limite entre a área do céu e a das edificações.

Os quadros 4.8 e 4.9 apresentam as imagens olho-de-peixe obtidas no eixo das vias e nos pontos onde foram realizadas as medições de temperatura e umidade do ar.

Ponto	Imagem obtida no eixo da rua	Imagem obtida no ponto
PARQUE RESIDENCIAL AQUARIUS		
Vila Ferrara	 <p>FVC₆₀ = 0,27 FVC₁₅₀ = 0,26</p>	 <p>FVC₆₀ = 0,26 FVC₁₅₀ = 0,40</p>
Paloma	 <p>FVC₆₀ = 0,19 FVC₁₅₀ = 0,20</p>	 <p>FVC₆₀ = 0,09 FVC₁₅₀ = 0,08</p>
Aquarius II	 <p>FVC₆₀ = 0,72 FVC₁₅₀ = 0,75</p>	 <p>FVC₆₀ = 0,41 FVC₁₅₀ = 0,39</p>
Aquarius III	 <p>FVC₆₀ = 0,56 FVC₁₅₀ = 0,58</p>	 <p>FVC₆₀ = 0,36 FVC₁₅₀ = 0,42</p>

Quadro 4.8 – Fotografias olho-de-peixe no eixo da rua e no ponto – Parque Residencial Aquarius.

Continuação Quadro 4.8

Ilha de Bali	 <p>FVC_60 = 0,59 FVC_150 = 0,61</p>	 <p>FVC_60 = 0,25 FVC_150 = 0,33</p>
Guli Guli	 <p>FVC_60 = 0,67 FVC_150 = 0,67</p>	 <p>FVC_60 = 0,08 FVC_150 = 0,10</p>
Bellagio	 <p>FVC_60 = 0,39 FVC_150 = 0,40</p>	 <p>FVC_60 = 0,17 FVC_150 = 0,29</p>
Classique	 <p>FVC_60 = 0,05 FVC_150 = 0,04</p>	 <p>FVC_60 = 0,12 FVC_150 = 0,18</p>
Vinac	 <p>FVC_60 = 0,83 FVC_150 = 0,83</p>	 <p>FVC_60 = 0,28 FVC_150 = 0,33</p>

Ponto	Imagem obtida no eixo da rua	Imagem obtida no ponto
JARDIM DAS INDÚSTRIAS		
Saint Marie	 <p>FVC₆₀ = 0,29 FVC₁₅₀ = 0,31</p>	 <p>FVC₆₀ = 0,12 FVC₁₅₀ = 0,15</p>
Garden Flores	 <p>FVC₆₀ = 0,71 FVC₁₅₀ = 0,71</p>	 <p>FVC₆₀ = 0,26 FVC₁₅₀ = 0,35</p>
Pau a Pique	 <p>FVC₆₀ = 0,61 FVC₁₅₀ = 0,65</p>	 <p>FVC₆₀ = 0,18 FVC₁₅₀ = 0,25</p>
Araruama	 <p>FVC₆₀ = 0,66 FVC₁₅₀ = 0,66</p>	 <p>FVC₆₀ = 0,27 FVC₁₅₀ = 0,30</p>

Quadro 4.9 – Fotografias olho-de-peixe no eixo da rua e no ponto – Jardim das Indústrias.

4.5 Geração de Isolinhas

A partir dos dados coletados e organizados em planilhas eletrônicas (Tabela 4.1), foram geradas isolinhas pelo *software Surfer 8.01*, para a espacialização das temperaturas do ar máximas e mínimas, amplitude térmica, intensidade de ilha de calor e fator de visão do céu.

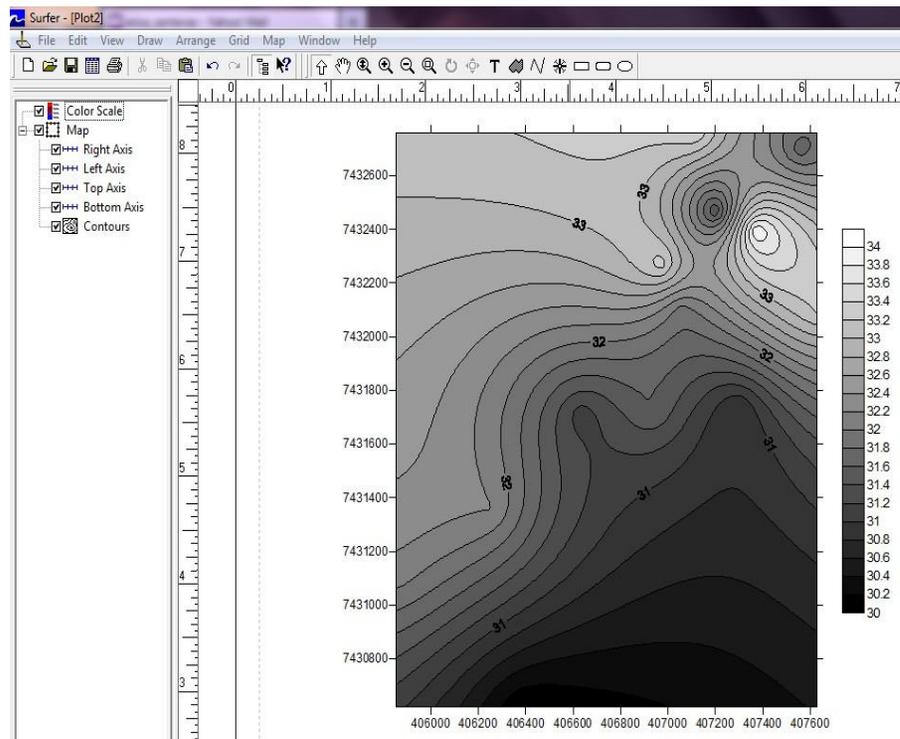
Tabela 4.1 – Organização dos dados em planilha eletrônica. Exemplo dos dados de verão.

Ponto	coord.(x)	coord.(y)	temp. mínima	temp. máxima	fvc h150	fvc h60	amplitude térmica	ilha calor
vila ferrara	407119,9724	7432759,2794	21,0	33,4	0,40	0,26	12,40	3,65
aquarius 2	407556,3722	7432693,2136	21,3	31,7	0,39	0,41	10,40	3,95
paloma	407201,7973	7432467,6786	22,0	31,4	0,08	0,09	9,40	4,40
aquarius 3	407372,2660	7432394,7783	21,4	34,0	0,42	0,36	12,60	4,15
vinac	406972,2329	7432269,4811	21,1	33,3	0,33	0,28	12,20	3,87
guli guli	407629,1055	7432087,2305	22,8	33,2	0,10	0,08	10,40	5,17
bellagio	407056,3307	7432100,8993	21,2	31,9	0,29	0,17	10,70	3,88
classique	406931,3204	7431720,4513	21,2	31,6	0,18	0,12	10,40	4,22
ilha de bali	407299,5327	7431743,2326	21,0	30,8	0,33	0,25	9,80	3,64
saint marie	406633,5684	7431715,8951	21,0	31,1	0,15	0,12	10,10	3,87
garden flores	406263,0832	7431355,9502	21,0	32,2	0,35	0,26	11,20	3,85
pau a pique	405853,9584	7431103,0776	21,1	32,1	0,25	0,18	11,00	3,82
araruama	406379,0019	7430620,1136	21,2	30,0	0,30	0,27	8,80	3,88

Para uma melhor representação gráfica do comportamento térmico da região e da geometria urbana local (fator de visão do céu), no gráfico de isolinhas foi inserida a malha urbana da microrregião, com os respectivos pontos em análise (Figura 4.11), através de edição da base cartográfica no *software AutoCad 2007*. A visualização dos parâmetros levantados para a pesquisa é referente às médias horárias dos dias de coleta, separados para os períodos de inverno e verão.

Segundo Pezzuto (2007), através da visualização de distribuição de temperatura observada pelas isolinhas, é possível gerar diretrizes para novos edifícios, como a identificação de áreas de aquecimento potencial, em que não são recomendáveis construções.

(a)



(b)

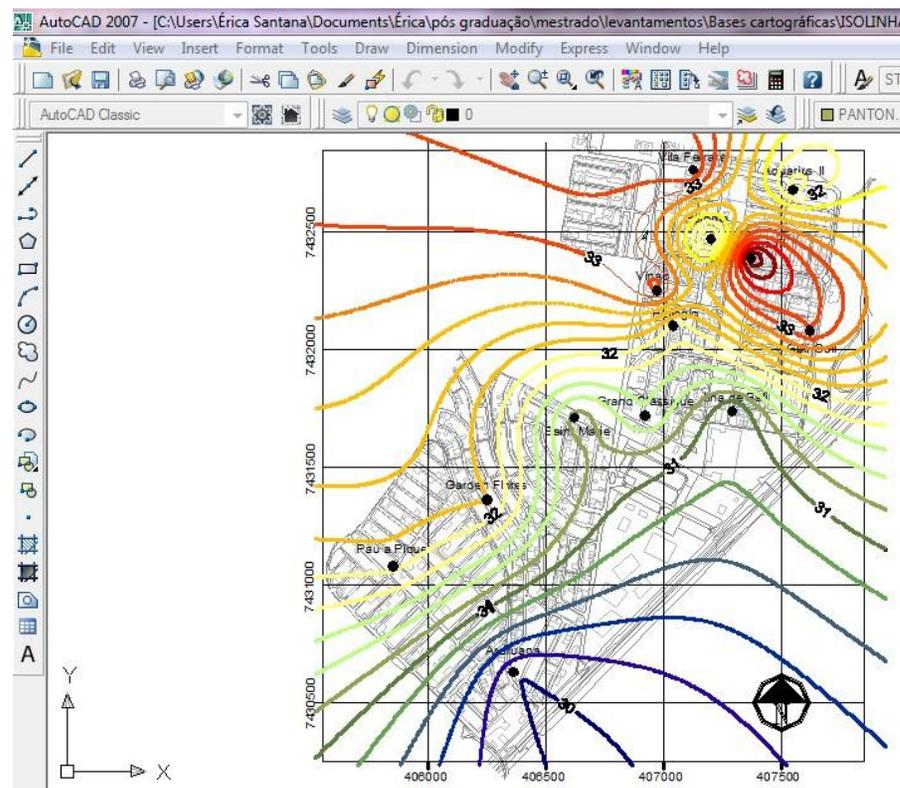


Figura 4.11 – Exemplo de isolinhas geradas pelo software *Surfer 8.01* (a) e da inserção da malha urbana no gráfico de isolinhas para melhor visualização (b).

4.6 Análise estatística dos resultados

A compreensão do desempenho térmico da área se dá pela comparação dos resultados obtidos e por análises descritivas de todas as variáveis coletadas, análises descritivas estratificadas por categorias (estação e período) e análises de correlação.

Primeiramente foram observadas as temperaturas médias gerais, assim como as temperaturas máxima, mínima e umidade relativa do ar. Após a análise descritiva geral dos dados foram realizadas análises do comportamento térmico da região estratificadas em bairros, estação (inverno e verão) e período (diurno e noturno). A segunda etapa de avaliação dos resultados baseou-se em análises de correlação entre os dados térmicos dos bairros, fator de visão do céu e formação de ilhas de calor noturnas.

Para as análises de correlação foram utilizados o coeficiente de correlação e o p-valor. O coeficiente de correlação é um valor numérico que mede a correlação entre duas variáveis. Este coeficiente varia de -1 a 1. Quanto mais próximo de -1, diz-se que há uma correlação negativa, enquanto que, para coeficiente próximo de 1 há uma forte correlação positiva. Se o coeficiente é nulo diz-se que não há evidências de correlação entre as variáveis. O processo para julgar o grau de correlação entre as variáveis também é dado pelo p-valor. Neste caso, um baixo p-valor (menor que 0,05), evidencia a hipótese de uma correlação existente real.

As correlações entre FVC e a formação de ilhas de calor foi determinada pela comparação dos valores estimados de FVC e a intensidade de ilha de calor noturna, ou seja, pelas diferenças médias de temperatura noturna do ar (19:00 – 6:00) dos pontos em estudo e os dados disponibilizados pela estação meteorológica adotada.

Para a estimativa do fator de visão do céu foram coletadas imagens nos pontos de medição de temperatura e umidade, no eixo das ruas referentes aos pontos em análise, e com o equipamento em duas alturas – 0,60m e 1,50m.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições dos parâmetros climáticos, ou seja, os dados referentes à temperatura e à umidade relativa do ar foram realizadas no inverno de 2010 e verão de 2011. Os dados urbanos coletados foram comparados aos de mesmo período da estação meteorológica da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), localizada no campus da universidade, fora do centro urbano do município.

A compreensão do desempenho térmico da área se dá pela comparação dos resultados obtidos e por análises descritivas de todas as variáveis coletadas, análises descritivas estratificadas por categorias (estação e período) e análises de correlação.

5.1 Comportamento térmico da região em análise

Os dados climáticos obtidos em diferentes pontos de medição urbanos possibilitaram a identificação de pequenas variações térmicas entre os locais de coleta. Analisando os dados gerais coletados, sem nenhuma estratificação, verifica-se que as temperaturas máximas diárias ocorreram entre as 13:00 e 15:00 e que o período com menores temperaturas encontra-se por volta das 7:00 da manhã. Isto ocorre tanto para as médias gerais, quanto para o período de inverno ou verão (Figura 5.1).

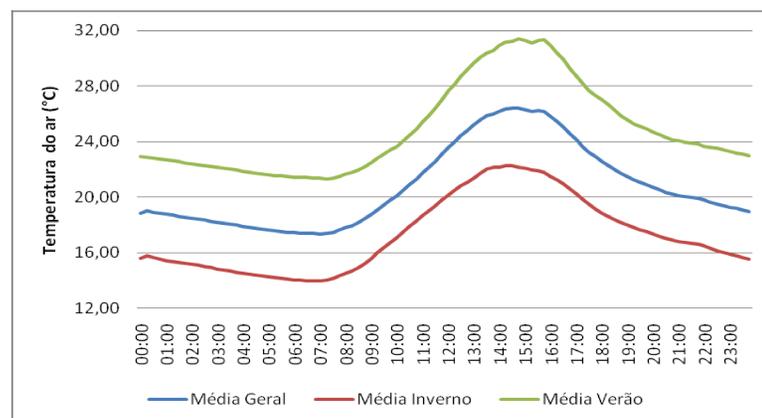


Figura 5.1 – Média da temperatura por hora. A linha em verde representa todos os dados de inverno, a vermelha os dados de verão e a azul os dados gerais.

A Figura 5.2 compara o comportamento da temperatura estratificada por estação do ano e período do dia. Como esperado, as mínimas são referentes ao inverno e ao período noturno.

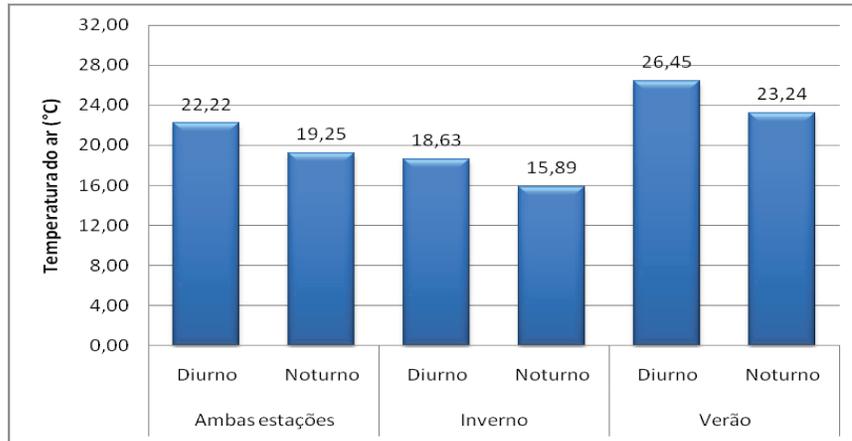


Figura 5.2 – Médias da temperatura estratificadas entre estação (inverno e verão) e período (diurno e noturno)

Considerando as médias de temperatura estratificadas entre os 13 pontos de medição percebe-se que “Guli Guli”, “Vinac” e “Aquarius III” tiveram as maiores médias térmicas, enquanto que, “Saint Marie”, “Araruama” e “Ilha de Bali” apresentaram as menores temperaturas (Figura 5.3).

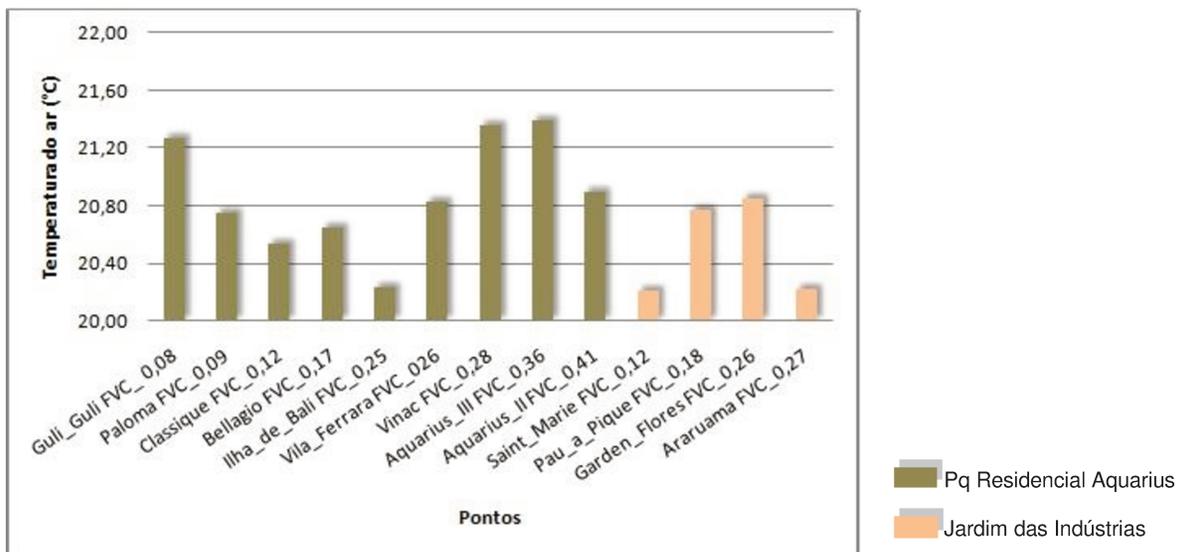


Figura 5.3 – Médias gerais da temperatura estratificadas entre os 13 pontos de medição. Os pontos foram colocados em ordem crescente de temperatura.

5.1.1 Análises estratificadas por estação

Na figura 5.4 têm-se as médias de temperatura para os 13 pontos de medição separados entre inverno e verão. Observa-se uma pequena mudança na ordem dos pontos de uma estação para a outra e as alterações mais significativas acontecem no ponto “Vinac” (com temperaturas altas no inverno e mais baixas no verão) e no ponto “Paloma” (com temperaturas baixas no inverno e mais quentes no verão).

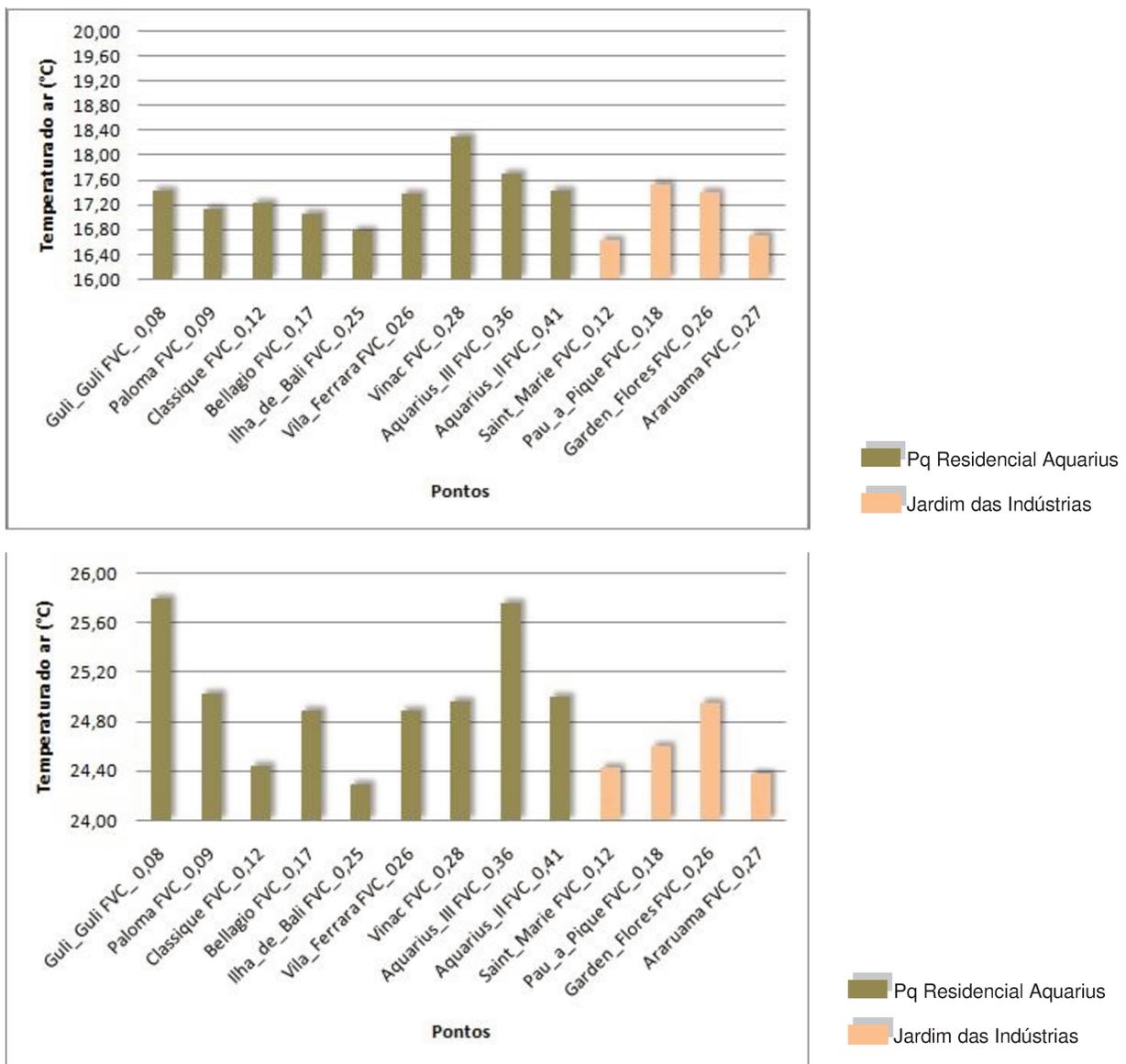


Figura 5.4 - Médias da temperatura estratificadas entre os 13 pontos de medição para a estação de inverno e de verão separadamente. Os pontos foram colocados em ordem crescente de temperatura.

Os valores de temperatura máxima, mínima, umidade relativa do ar e amplitude térmica, dos bairros em estudo e da estação meteorológica, bem como os valores obtidos para o FVC, são apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2.

No inverno (Tabela 5.1), comparando-se as temperaturas máximas e mínimas, observa-se que apenas as médias de temperatura mínima dos pontos foram superiores à da estação meteorológica. Para o período de verão (Tabela 5.2) as temperaturas coletadas nos pontos foram mais elevadas que as da estação meteorológica tanto para as mínimas quanto para as máximas.

	Ponto	FVC	Temperatura do ar máxima (°C)	Temperatura do ar mínima (°C)	Amplitude térmica (°C)	Umidade relativa média (%)
PARQUE RESIDENCIAL AQUARIUS	Vila Ferrara	0,40	23,4	13,6	9,8	72,8
	Aquarius II	0,39	22,6	13,8	8,9	78,2
	Paloma	0,08	19,8	14,8	5,1	72,4
	Aquarius III	0,42	23,6	13,8	9,7	79,0
	Vinac	0,33	25,9	14,1	11,8	88,8
	Guli Guli	0,10	22,4	14,2	8,2	74,8
	Bellagio	0,29	21,6	13,8	7,8	81,6
	Classique	0,18	23,1	14,1	9,0	76,6
JARDIM DAS INDÚSTRIAS	Ilha de Bali	0,33	21,1	13,8	7,3	80,2
	Saint Marie	0,15	21,4	13,8	7,6	87,9
	Garden Flores	0,35	23,6	13,8	9,9	76,3
	Pau a Pique	0,25	24,0	14,2	9,9	76,7
	Araruama	0,30	21,2	13,8	7,5	78,7
	Média dos pontos urbanos		22,6	14,0	8,6	78,8
	Estação UNIVAP		21,3	12,3	9,1	74,9

Tabela 5.1 – Temperatura mínima, máxima, amplitude térmica e umidade relativa do ar para as médias do período de inverno.

No inverno, para as temperaturas máximas, a maior diferença encontrada foi entre o ponto “Vinac” (25,9 °C) e o ponto “Paloma” (19,8 °C), apresentando uma variação de aproximadamente 6 °C. Em contraposição o ponto “Paloma” apresentou, dentre os pontos em análise, os maiores valores para as temperaturas mínimas

demonstrando que sua localização em uma área com concentração de altos edifícios em vias de pequenos recuos, contribui para o armazenamento térmico durante o dia e dificulta a saída de calor no período noturno. A temperatura máxima encontrada em “Vinac” pode ser explicada pela configuração da área de inserção do ponto, nas proximidades de um grande vazio urbano e de um condomínio residencial horizontal, fato que contribui para um maior acesso solar.

A maior amplitude térmica observada foi para o ponto “Vinac” (11,8°C) e a menor refere-se ao ponto “Paloma” (5,1°C). Os demais pontos tiveram amplitudes térmicas entre 7,5°C e 10 °C. Com relação à umidade relativa do ar, novamente o máximo valor encontrado foi para o ponto “Vinac” (88,8%) e o mínimo para o ponto “Paloma” (72,4%).

	Ponto	FVC	Temperatura do ar máxima (°C)	Temperatura do ar mínima (°C)	Amplitude térmica (°C)	Umidade relativa média (%)
PARQUE RESIDENCIAL AQUARIUS	Vila Ferrara	0,40	33,4	21,0	12,4	81,4
	Aquarius II	0,39	31,7	21,3	10,4	81,9
	Paloma	0,08	31,4	22,0	9,4	91,5
	Aquarius III	0,42	34,0	21,4	12,6	80,8
	Vinac	0,33	33,3	21,1	12,3	82,9
	Guli Guli	0,10	33,2	22,8	10,4	79,2
	Bellagio	0,29	31,9	21,2	10,7	77,6
	Classique	0,18	31,6	21,2	10,4	86,4
	Ilha de Bali	0,33	30,8	21,0	9,8	--
JARDIM DAS INDÚSTRIAS	Saint Marie	0,15	31,1	21,0	10,1	82,6
	Garden Flores	0,35	32,2	21,0	11,2	81,4
	Pau a Pique	0,25	32,1	21,1	11,0	76,5
	Araruama	0,30	30,0	21,2	8,9	77,7
	Média dos pontos urbanos		32,1	21,3	10,7	81,7
	Estação UNIVAP		29,2	18,2	11,0	78,7

Tabela 5.2 – Temperatura mínima, máxima, amplitude térmica e umidade relativa do ar para as médias do período de verão.

A máxima temperatura observada para o período de verão foi referente ao ponto “Aquarius III” (34°C) e a menor, de 30°C, no “Araruama”. Para as mínimas, pouca variação foi encontrada entre os pontos (21,0°C - 22,8°C).

A diferença entre a média dos pontos urbanos e a estação meteorológica também foi maior para o período de verão, apresentando variação de 2,9°C para a máxima e de 3,1°C para a mínima.

Mais uma vez, a maior amplitude térmica ocorreu no ponto “Aquarius III” e a menor no ponto “Araruama”. No entanto, considerando apenas o bairro Parque Residencial Aquarius, a menor amplitude encontrada é no “Paloma” (9,8°C). Observa-se também que o ponto “Paloma” apresentou maior umidade relativa do ar com 91,5%, valor consideravelmente superior aos demais pontos, que variaram de 76,5% a 86,4%. Não foi possível obter os dados de umidade referentes ao ponto “Ilha de Bali” devido ao não funcionamento do equipamento após sua instalação.

As figuras 5.5 e 5.6 mostram o comportamento térmico e a umidade relativa do ar entre os pontos em análise e a estação meteorológica da UNIVAP para o período de inverno e verão respectivamente. A análise da temperatura média horária evidencia que a mesma está relacionada ao processo de urbanização, pois as áreas não urbanas sofrem um resfriamento noturno mais rápido. No entanto, a umidade relativa do ar da estação meteorológica não apresentou, em relação aos pontos em estudo, valores elevados para o período noturno.

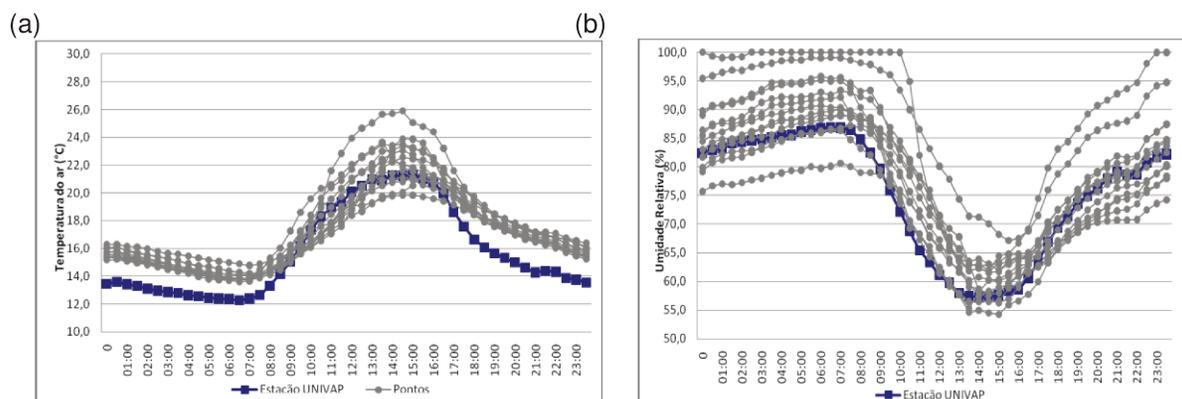


Figura 5.5 – Temperatura média horária (a) e umidade média horária (b) dos pontos, em cinza e da estação meteorológica da UNIVAP, em azul. Período de inverno.

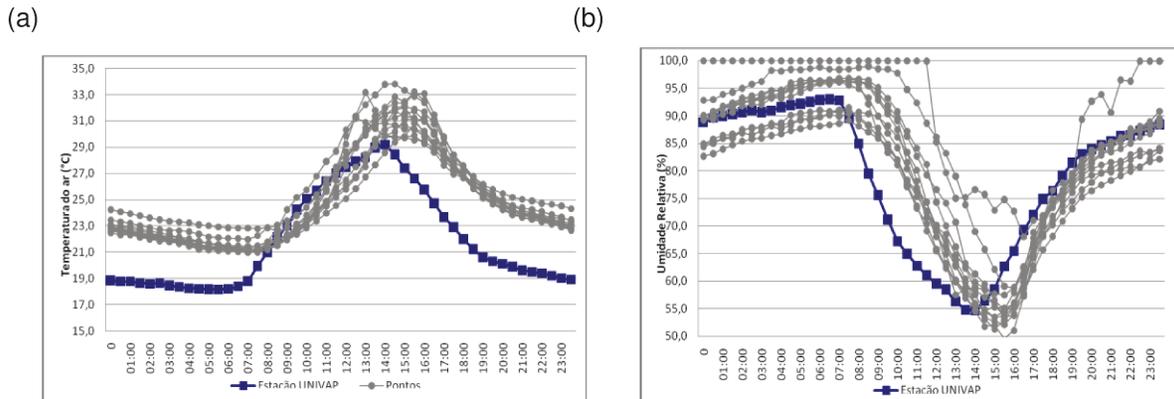


Figura 5.6 – Temperatura média horária (a) e umidade média horária (b) dos pontos, em cinza e da estação meteorológica da UNIVAP, em azul. Período de verão.

Para o período de verão as diferenças térmicas entre os pontos em análise e a estação meteorológica da UNIVAP foram maiores, comparadas ao período de inverno. Tem-se durante a noite uma variação de aproximadamente 3°C. Além disso, a estação meteorológica apresentou queda de temperatura a partir das 15hs.

A espacialização das temperaturas máximas, mínimas e a amplitude térmica de inverno e verão, respectivamente, é apresentada pelas isolinhas geradas para melhor visualização do comportamento térmico dos bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias (Figuras 5.7 e 5.8).

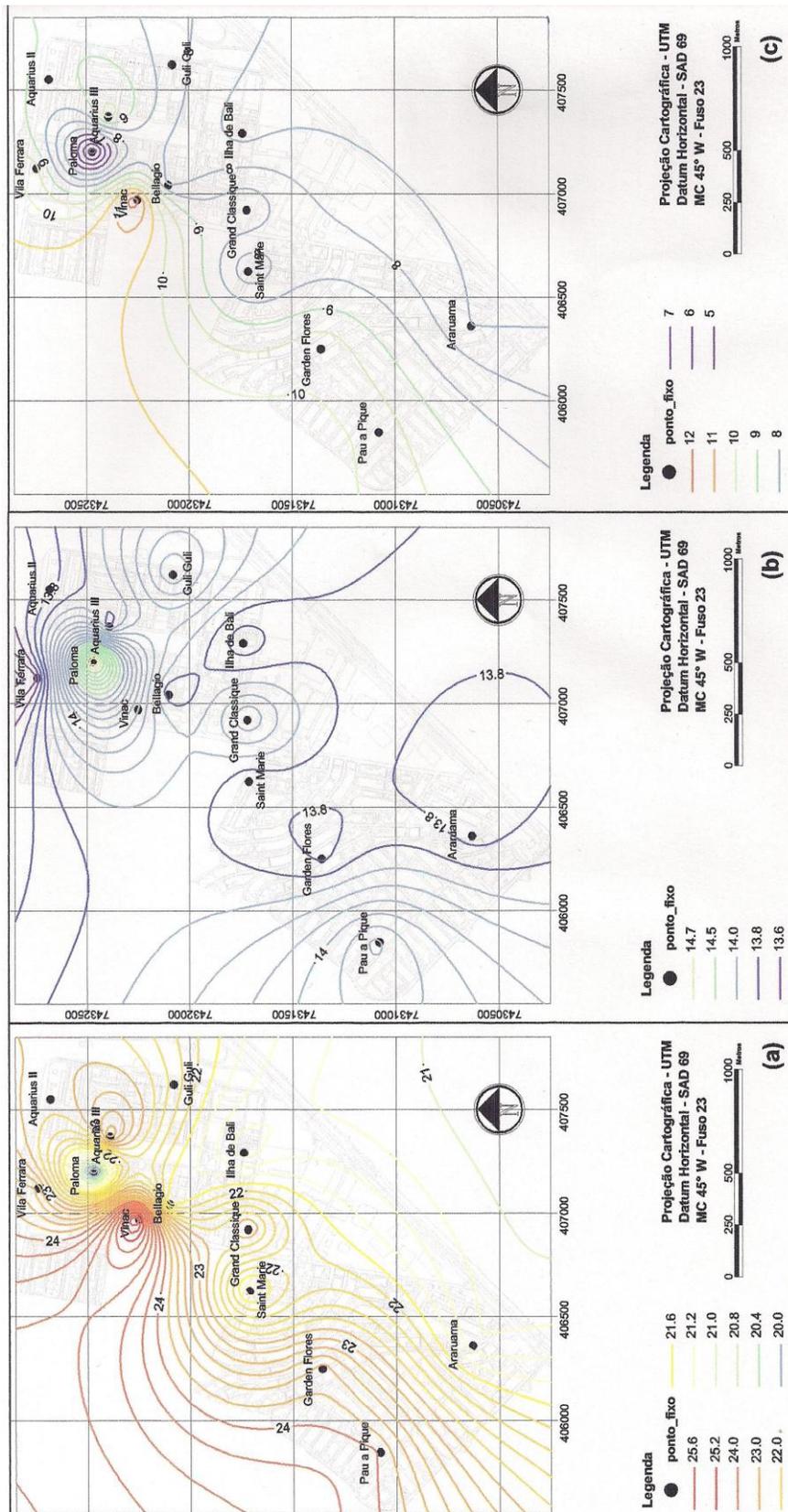


Figura 5.7 – Isolinhas: temperatura do ar máxima (a), mínima (b) e amplitude térmica (c). Inverno.

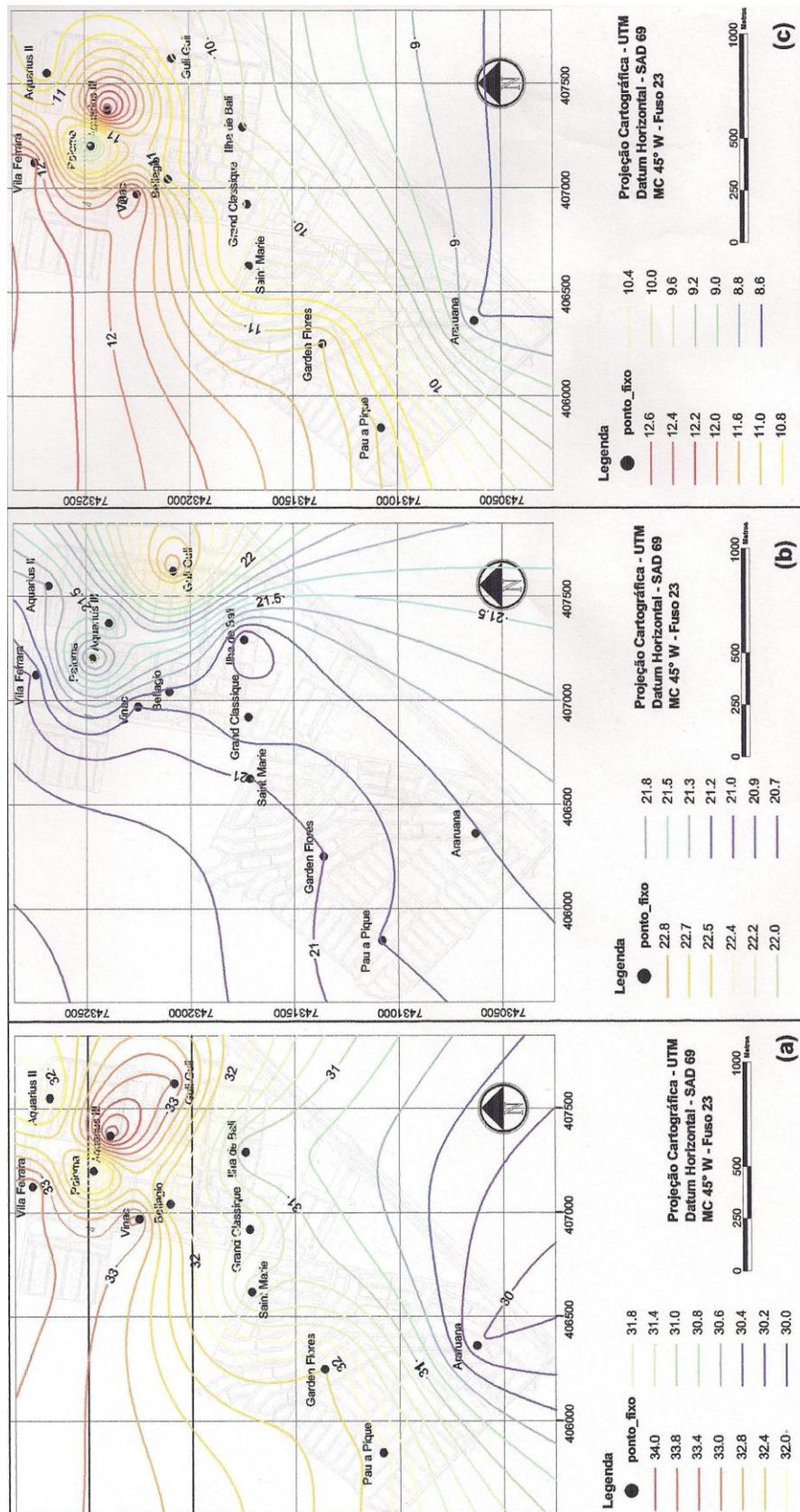


Figura 5.8 – Isolinhas: temperatura do ar máxima (a), mínima (b) e amplitude térmica (c). Verão.

5.1.2 Análises estratificadas por período

Uma série crescente com os valores das médias por ponto de medição estratificados entre período noturno e diurno é representada na figura 5.9. Os dados mostram que dentre os 13 pontos de medições, o “Saint Marie” e o “Araruama” apresentaram menores temperaturas para o período diurno, no entanto, durante a noite a temperatura nestes dois pontos sofre uma pequena elevação. Já o ponto “Vila Ferrara” (com 22,7°C durante o período diurno) teve uma queda de aproximadamente 4°C para o período noturno.

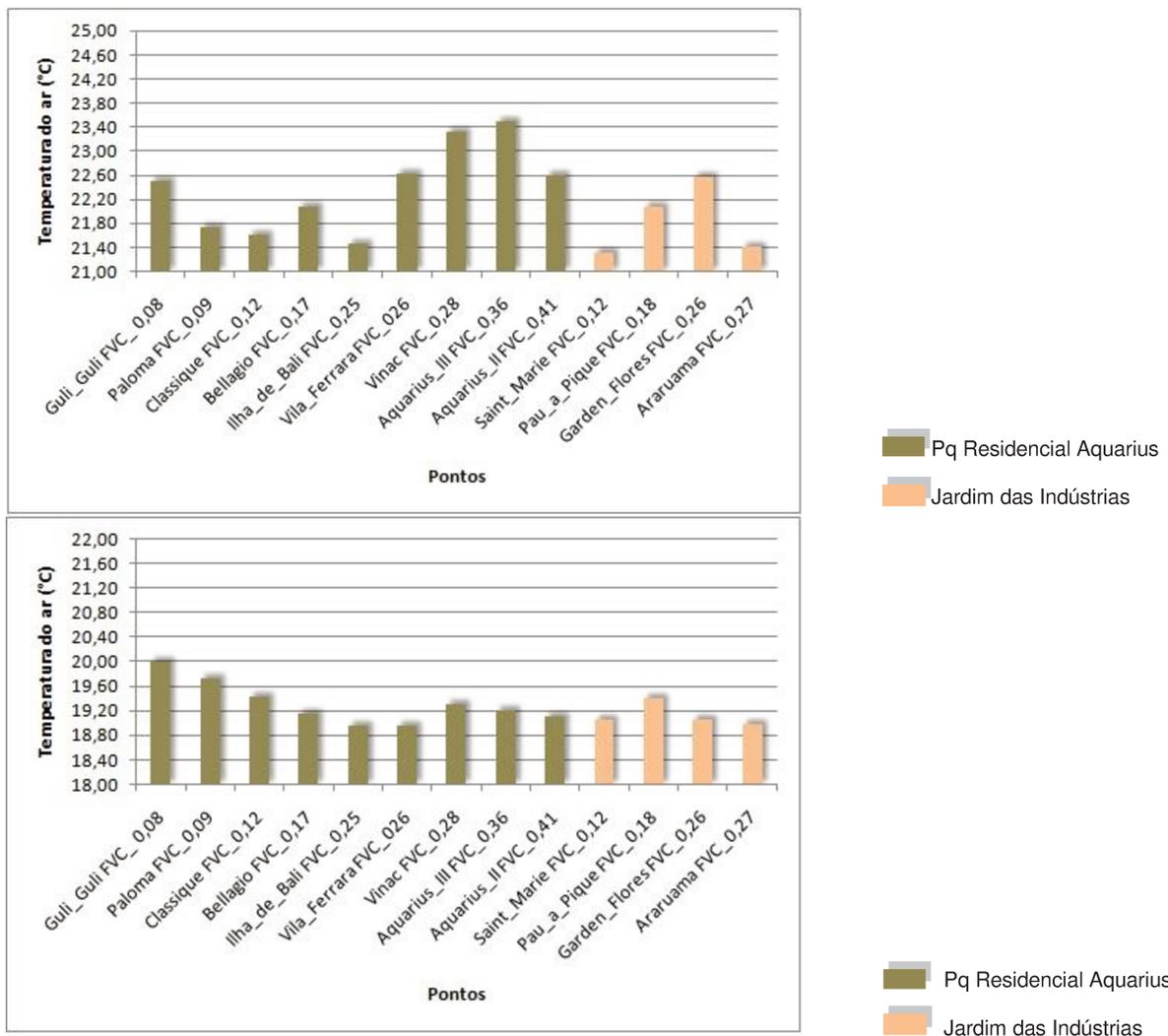


Figura 5.9 - Médias da temperatura estratificadas entre os pontos de medição e separadas por período diurno e noturno respectivamente. Os pontos foram colocados em ordem crescente de temperatura.

Os pontos “Paloma” e “Guli Guli”, que apresentaram os menores valores de FVC, mostraram as maiores temperaturas para o período noturno. Observa-se assim, uma relação entre a presença de ilhas de calor noturnas e a geometria urbana de um ponto.

5.1.3 Análises estratificadas por bairro

Para o desenvolvimento da pesquisa foram analisados dois bairros com diferentes configurações urbanas. O primeiro, Parque Residencial Aquarius, apresenta uma acelerada construção de novos prédios, gerando discussões em torno de prejuízos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população. Já o Jardim das Indústrias é um bairro consolidado e com predominância de residências unifamiliares de até dois pavimentos.

As tabelas 5.3, 5.4 e 5.5 apresentam as diferenças de temperatura média estratificada por bairro, estação (inverno e verão) e período (diurno e noturno). Percebe-se pela tabela 5.3 que a diferença de temperatura entre os bairros é mínima, no entanto, a temperatura do Parque Residencial Aquarius (20,88°C) é superior a do Jardim das Indústrias (20,51°C).

O p-valor 0,000 mostra que pode-se rejeitar a hipótese de médias iguais. Conclui-se, portanto, que a temperatura do Parque Residencial Aquarius é cerca de 0,36°C mais elevada que a do Jardim das Indústrias com um alto nível de confiança.

Tabela 5.3 – Médias da temperatura estratificadas entre os bairros, p-valor e a diferença das médias.

Bairro	Média	P-valor	Diferença
Pq Residencial Aquarius	20,88	0,000	0,36
Jardim das Indústrias	20,51		

Verifica-se alta significância nas diferenças entre inverno e verão em cada bairro, e que o Parque Residencial Aquarius é 0,32°C mais quente no inverno e 0,42°C no verão, em relação ao Jardim das Indústrias (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 - Médias da temperatura estratificadas entre os dois bairros e pela estação, com p-valor e a diferença das médias.

Bairro	Estação	Média	P-valor	Diferença
Pq Residencial Aquarius Jardim das Indústrias	Inverno	17,39	0,000	0,32
	Inverno	17,07		
Pq Residencial Aquarius Jardim das Indústrias	Verão	25,01	0,000	0,42
	Verão	24,59		

A tabela 5.5 mostra a temperatura média estratificada por período diurno e noturno. Verifica-se que há significância em todas as comparações (p-valor baixo). Conclui-se assim, que o Parque Residencial Aquarius, é também, mais quente do que Jardim das Indústrias tanto no período diurno (0,53°C) como no noturno (0,19°C).

Tabela 5.5 - Médias da temperatura estratificadas entre os dois bairros e pelo período, com p-valor e a diferença das médias.

Bairro	Período	Média	P-valor	Diferença
Pq Residencial Aquarius Jardim das Indústrias	Diurno	22,38	0,000	0,53
	Diurno	21,85		
Pq Residencial Aquarius Jardim das Indústrias	Noturno	19,31	0,015	0,19
	Noturno	19,12		

5.2 Análise de correlação entre os dados térmicos e o FVC

Foi adotada para a análise de correlação entre a temperatura, formação de ilhas de calor e o FVC a seguinte estratificação: altura e posicionamento do equipamento para obtenção das fotografias olho-de-peixe, agrupamento de valores estimados de FVC, comparação entre estações (inverno e verão) e período (diurno e noturno), assim como a diferença entre as médias de temperatura coletadas e as da estação meteorológica.

5.2.1 Fator de visão do céu – por grupo e posicionamento do equipamento

Uma das abordagens utilizada para detectar a correlação do fator de visão do céu com a temperatura foi o agrupamento dos dados estimados em 3 grupos representativos da quantidade de área visível do céu e 4 grupos classificados pela altura e posicionamento do equipamento para obtenção das fotografias (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 – Fator de visão do céu - agrupamento e classificação.

Equipamento	Nomenclatura	Classificação
Altura	FVC_60	0,60m do nível do solo
	FVC_150	1,50m do nível do solo
Posicionamento	FVC_P	no ponto de análise
	FVC_R	no eixo da rua
Visibilidade	FVC_baixo	0,00 – 0,33
	FVC_médio	0,33 – 0,66
	FVC_alto	0,66 – 1,00

A espacialização do fator de visão do céu estimado para os pontos em estudo é mostrada na figura 5.10. São apresentados o FVC_60 e o FVC_150 respectivamente.

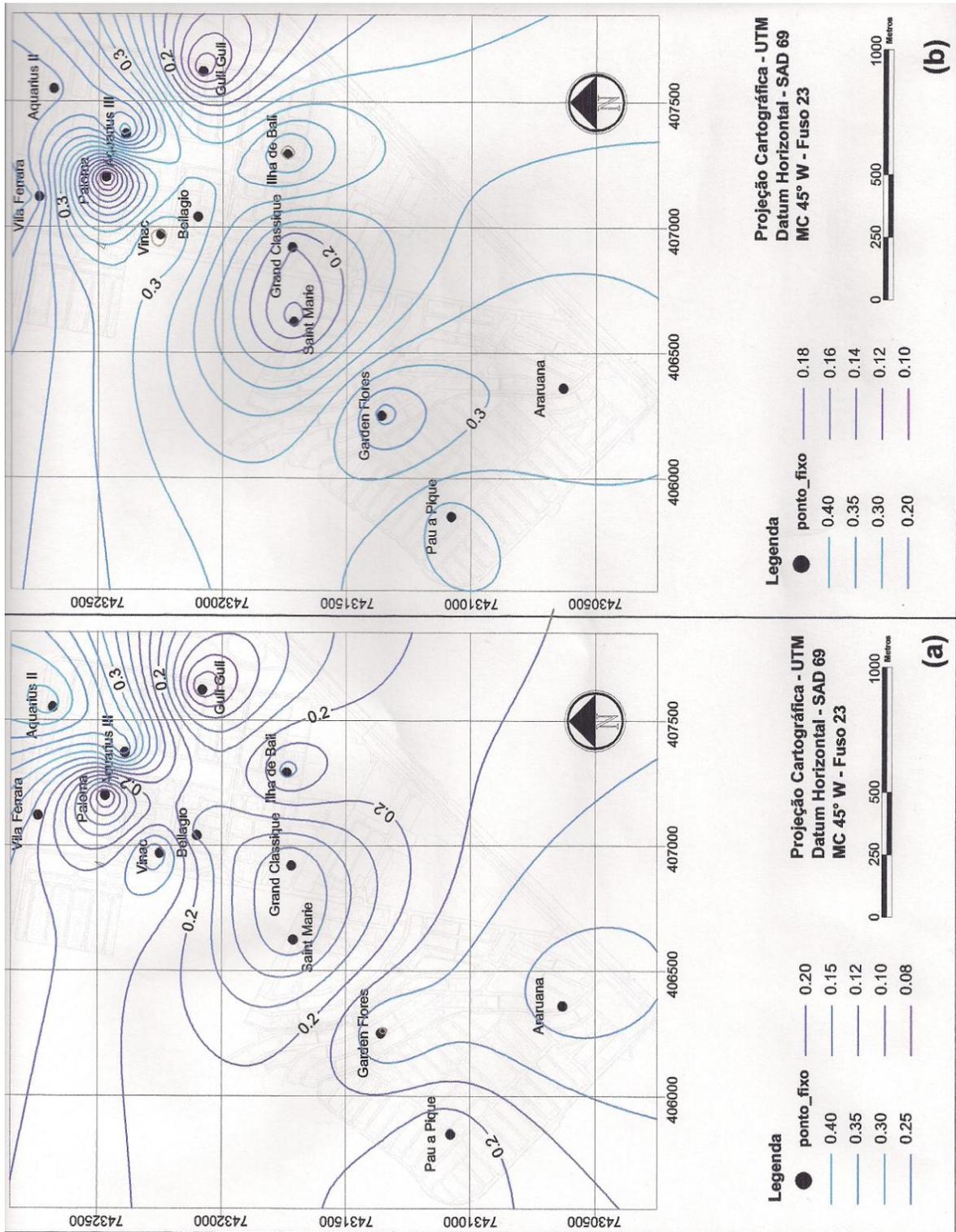


Figura 5.10 – Isolinhas: fator de visão do céu. FVC₆₀ (a) e FVC₁₅₀ (b).

A figura 5.11 mostra que em ambos os níveis de altura do equipamento a média de temperatura, para o FVC_P médio, é mais elevada do que para o FVC_P baixo, ou seja, quanto maior o fator de visão do céu, maior é a temperatura. Salienta-se que os intervalos de confiança adotados não se cruzam, validando a diferença de temperatura entre os grupos. Considerando o FVC_P obtiveram-se apenas duas classes de fator de visão do céu: baixo e médio.

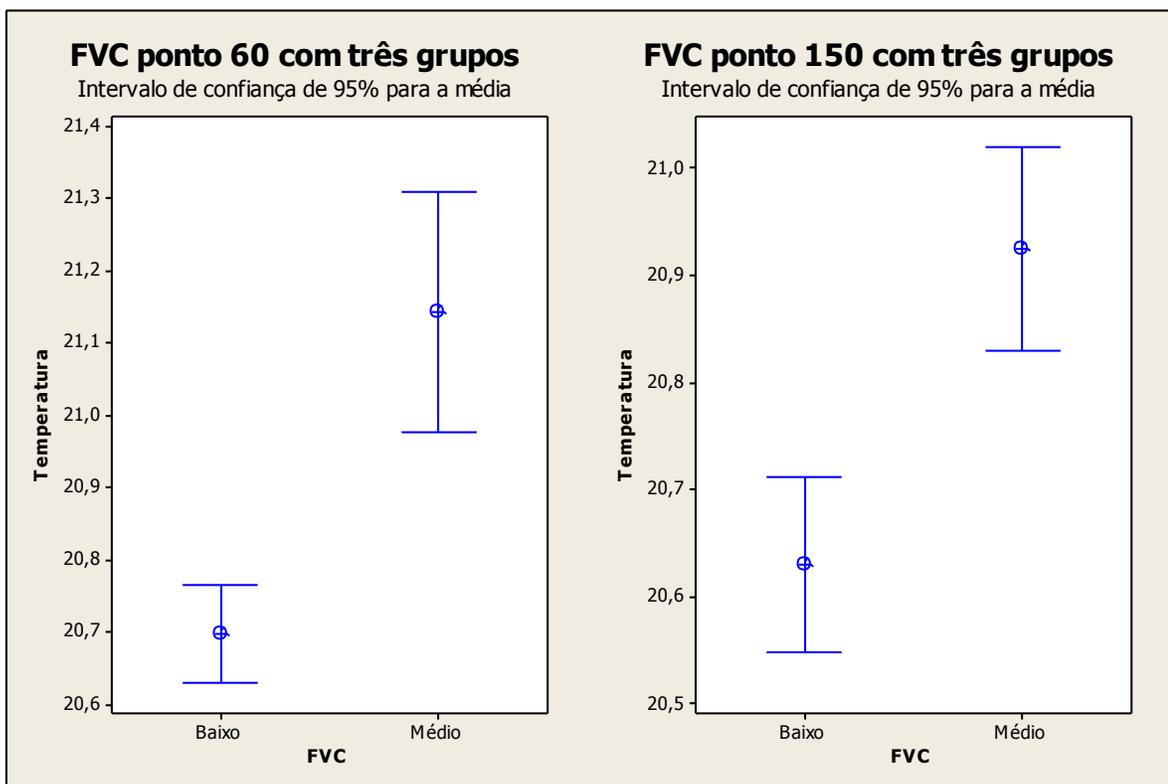


Figura 5.11 - Médias da temperatura estratificadas entre FVC_P baixo e médio. Cada figura azul tem no centro a média e as barras de limites de confiança.

Na figura 5.12 observam-se os intervalos de FVC_R, obtidos no eixo das ruas. Nesta análise os 3 grupos de classificação do fator de visão do céu são percebidos. Mais uma vez, quanto maior o FVC, maior a temperatura média avaliada.

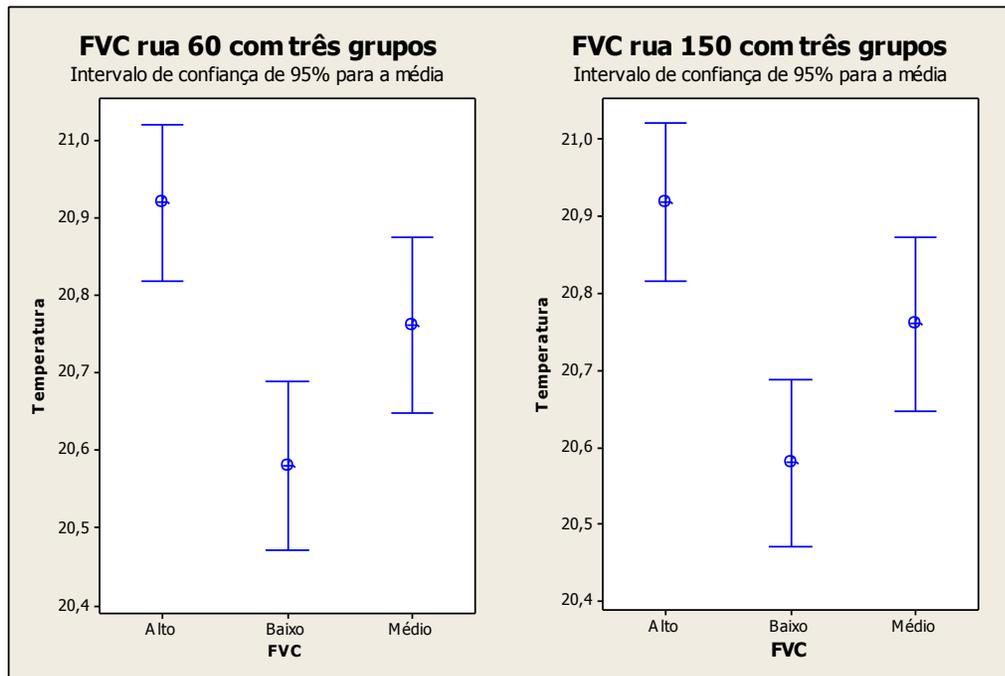


Figura 5.12 - Médias da temperatura estratificadas entre FVC_R baixo, médio e alto. Cada figura azul tem no centro a média e as barras de limites de confiança.

5.2.2 Fator de visão do céu – por estação e período

Estratificando os casos em inverno e verão, observa-se uma significância na correlação para todos os valores de FVC no inverno (sendo todos positivos). Para as análises de verão, não há significância de correlação com o FVC estimado nos pontos de estudo (FVC_P), pois o p-valor encontra-se acima de 0,05. Considerando, no entanto, o FVC obtido para o eixo das ruas (FVC_R) percebe-se correlação positiva tanto para o inverno quanto para o verão (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Coeficiente de correlação de FVC com a temperatura por estação.

Grupo de FVC	Temperatura - Inverno		Temperatura - Verão	
	Coeficiente	P-valor	Coeficiente	P-valor
FVC_P_60	0,035	0,000	0,011	0,187
FVC_P_150	0,034	0,000	0,004	0,604
FVC_R_60	0,045	0,000	0,030	0,000
FVC_R_150	0,044	0,000	0,029	0,001

Na tabela 5.8 fortes evidências de correlação positiva (quanto maior o FVC, maior a temperatura) para o período diurno são observadas.

No entanto, para o período noturno e FVC_P (nos pontos), encontra-se significância para coeficientes negativos. Isto significa que durante a noite, quanto maior o FVC, menor será a temperatura naquele ponto.

Tabela 5.8 - Coeficiente de correlação de FVC com a temperatura por período.

Grupo de FVC	Temperatura - Diurno		Temperatura - Noturno	
	Coeficiente	P-valor	Coeficiente	P-valor
FVC_P_60	0,061	0,000	-0,041	0,000
FVC_P_150	0,062	0,000	-0,048	0,000
FVC_R_60	0,054	0,000	-0,006	0,436
FVC_R_150	0,054	0,000	-0,007	0,424

Os resultados comprovam que, por período, as medições no ponto mostraram-se mais eficientes, pois não foram encontradas correlações para FVC_R (no eixo das ruas) no período noturno.

Analisando a estratificação apresentada na figura 5.13, observa-se que a temperatura média para o período noturno do inverno é mais elevada para FVC_60_baixo. Para o verão, os intervalos de confiança adotados se cruzam, invalidando a diferença entre temperaturas.

No período diurno, tanto para o inverno quanto para o verão, comprova-se que as temperaturas médias são mais elevadas nos pontos com maior FVC (grupo FVC_médio).

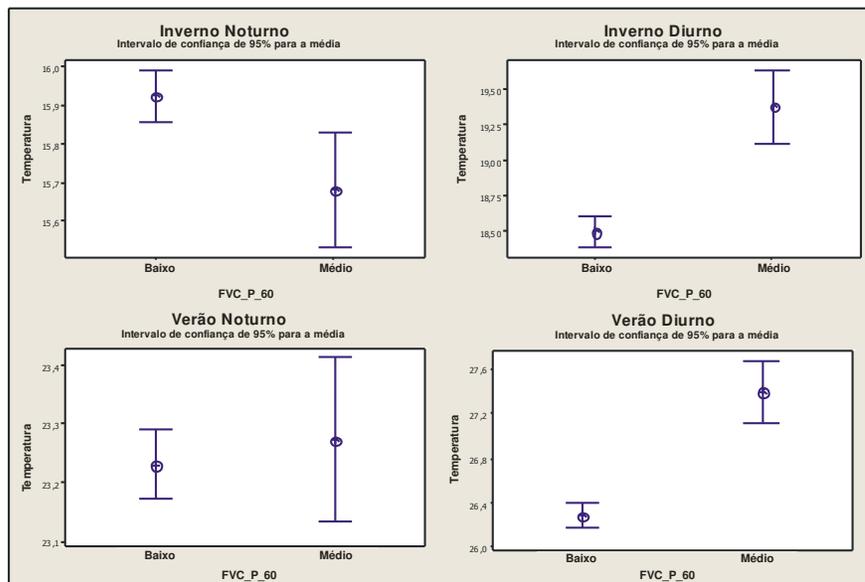


Figura 5.13 - Médias da temperatura estratificadas entre FVC_P_60 por estação e período.

Uma melhor correlação entre temperatura e FVC foi percebida para FVC_150. Nota-se que para o período noturno as médias de temperatura foram superiores para o grupo de FVC baixo, tanto no inverno quanto no verão.

Para o período diurno observa-se uma inversão no comportamento térmico, ou seja, maiores valores de FVC apresentaram maiores temperaturas em ambas as estações (Figura 5.14).

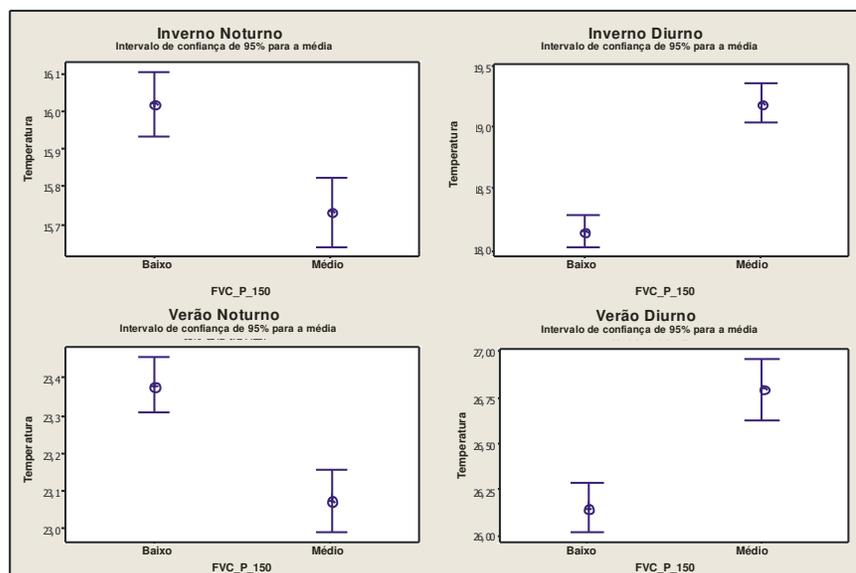


Figura 5.14 - Médias da temperatura estratificadas entre FVC_P_150 por estação e período.

O período diurno apresenta-se mais quente devido à radiação solar recebida nos pontos com maior abertura para o céu. No entanto, para o período noturno, as regiões com menor FVC armazenam o calor da radiação recebida durante o dia e mantêm a temperatura elevada também durante a noite.

5.2.3 Fator de visão do céu - ilhas de calor noturnas

Buscando melhores resultados de correlação entre os parâmetros em análise, os dados coletados também foram comparados com valores de intensidade de ilhas de calor.

Segundo Souza (2010) para determinar a formação de ilhas de calor noturna, a análise dos dados deve ser concentrada nos valores registrados entre as 19:00 e às 6:00. A intensidade de ilha de calor foi obtida pelas diferenças médias de temperatura do ar dos pontos em estudo e os dados disponibilizados pela estação meteorológica adotada.

As figuras 5.15 e 5.16 mostram a intensidade de ilha de calor noturna para os 13 pontos de coleta da pesquisa no inverno e verão respectivamente. Observa-se nos dois casos que os pontos “Paloma” e “Guli Guli” (baixo FVC) apresentaram maior intensidade de ilha de calor noturna.

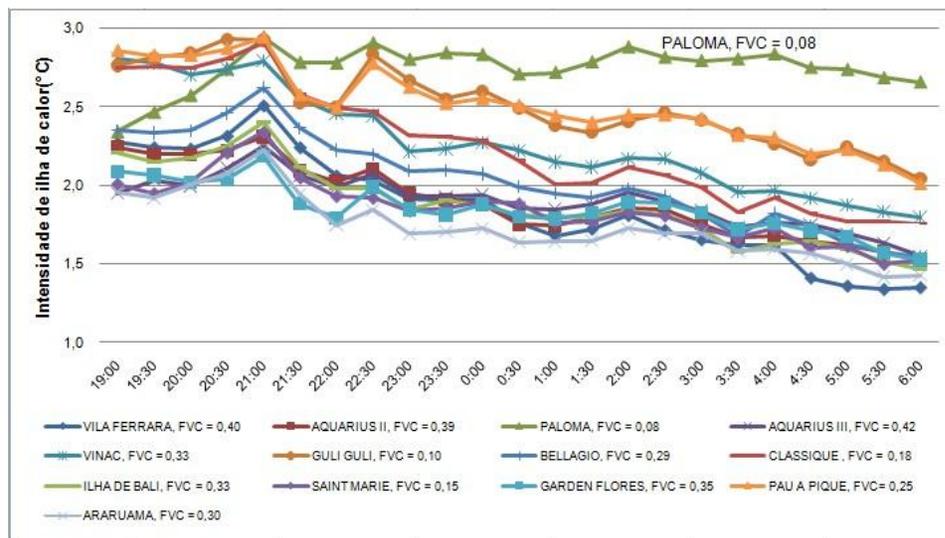


Figura 5.15 – Diferenças médias horárias de temperatura entre os pontos e a estação meteorológica para o inverno.

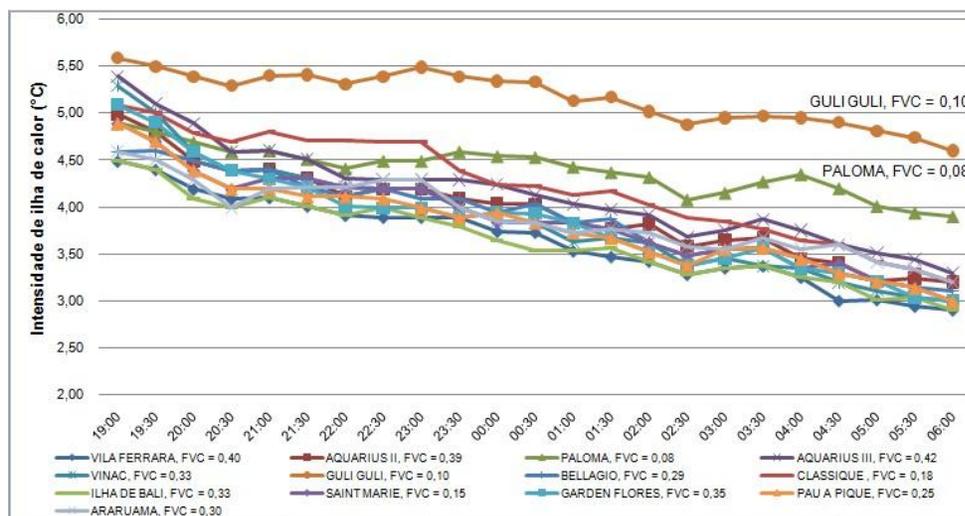


Figura 5.16 - Diferenças médias horárias de temperatura entre os pontos e a estação meteorológica para o verão.

Comparando os coeficientes de correlação da tabela 5.9, observam-se novamente, correlações negativas e significantes.

Tabela 5.9 - Coeficiente de correlação de FVC com a intensidade de ilha de calor noturna.

Grupo de FVC	Intensidade de ilha de calor	
	Coefficiente	P-valor
FVC_P_60	-0,120	0,000
FVC_P_150	-0,138	0,000

A mesma tendência pode ser observada na figura 5.17. Nota-se com a estratificação dos dados em inverno e verão, que as ilhas de calor noturnas, no caso estudado, são mais intensas nos pontos com baixo FVC, tanto para o inverno quanto para o verão.

Salienta-se que no verão, para o FVC_60, os intervalos de confiança novamente se cruzam, invalidando as diferenças entre a intensidade de ilha de calor noturna.

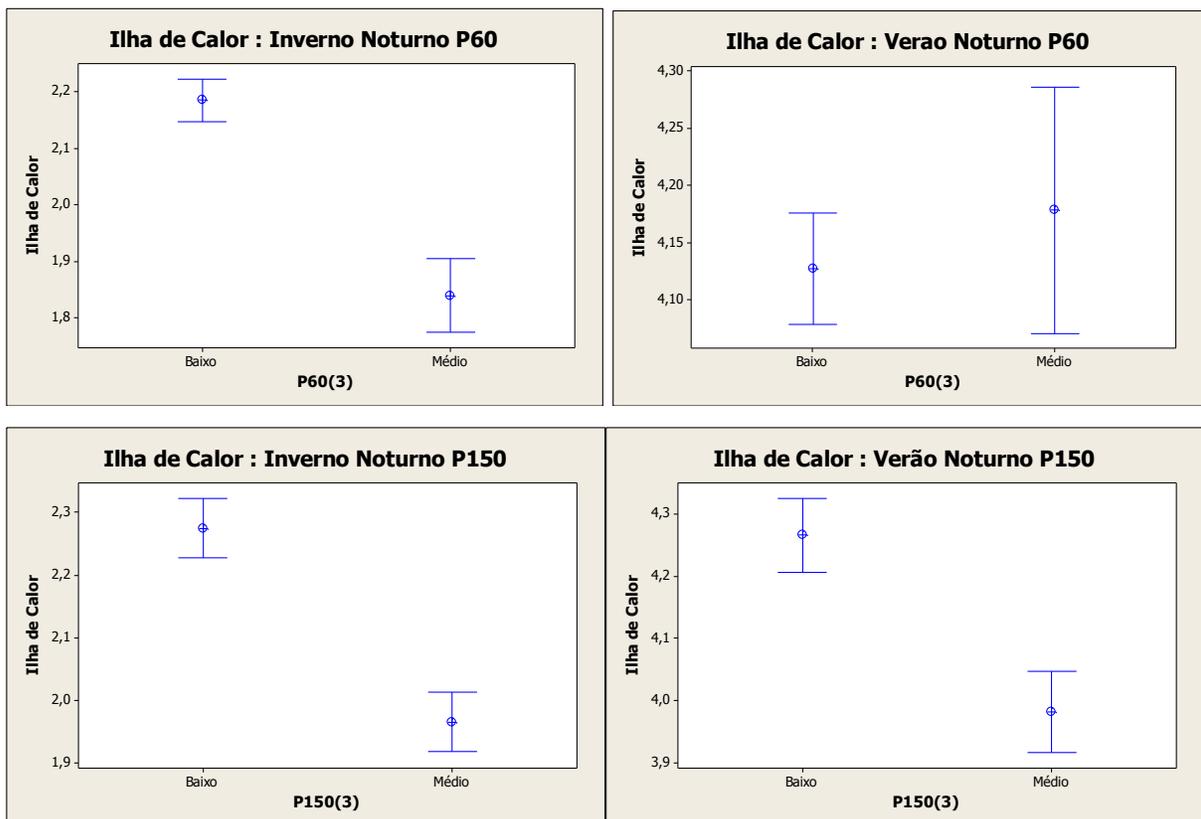


Figura 5.17 – Intensidade de ilha de calor noturna estratificadas por estação e altura do equipamento para captura das fotografias olho-de-peixe.

A distribuição e a intensidade das ilhas de calor noturnas são apresentadas nos mapas de isolinhas para o período de inverno e verão respectivamente (Figura 5.18).

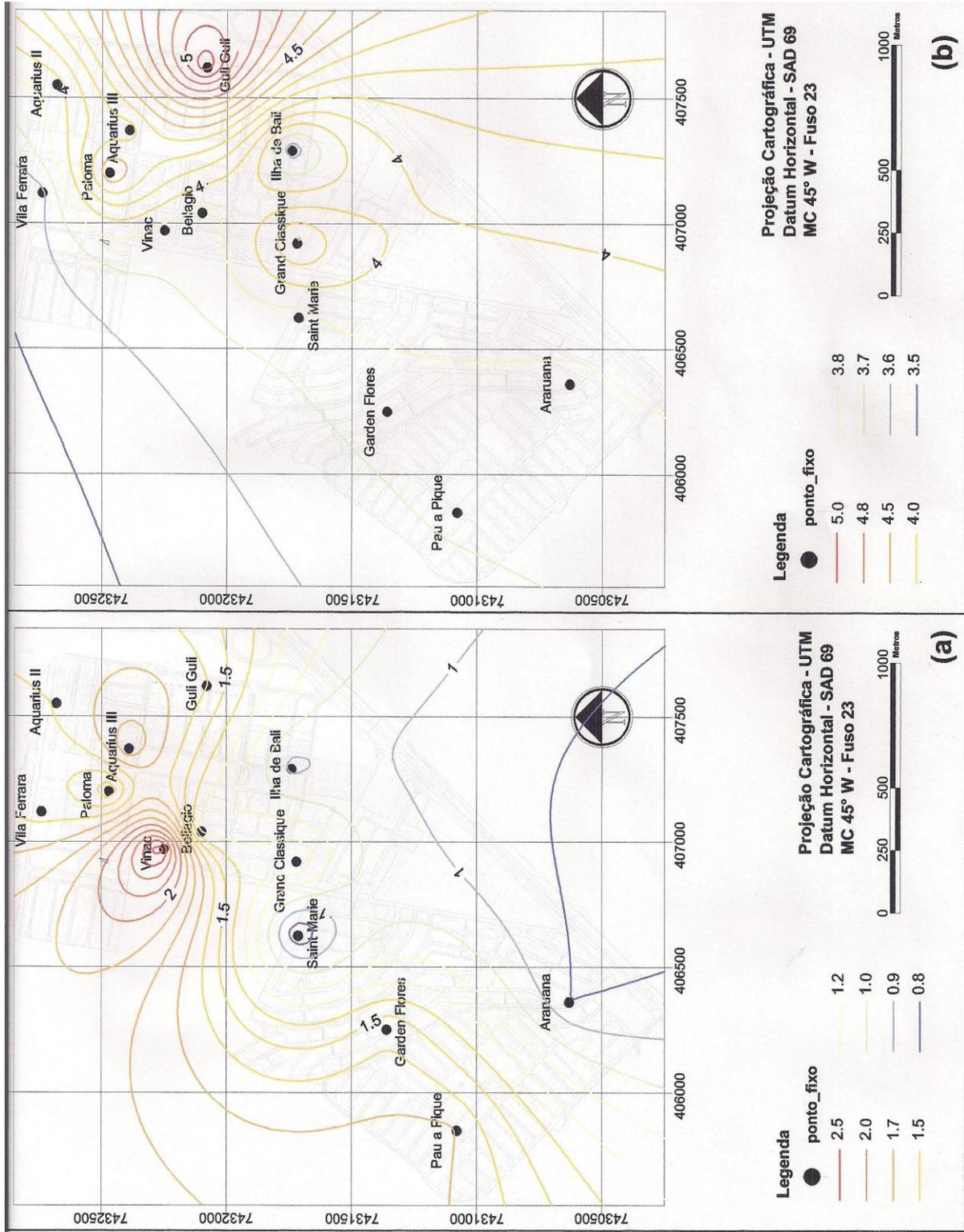


Figura 5.18 – Isolinhas: intensidade de ilha de calor noturna. Inverno (a) e verão (b).

A comparação entre os valores de FVC estimados e as diferenças médias horárias de temperatura dos pontos e da estação meteorológica (intensidade de ilha de calor) evidencia a formação de ilhas de calor noturnas nos pontos que apresentaram baixos fatores de visão do céu (Figura 5.19).

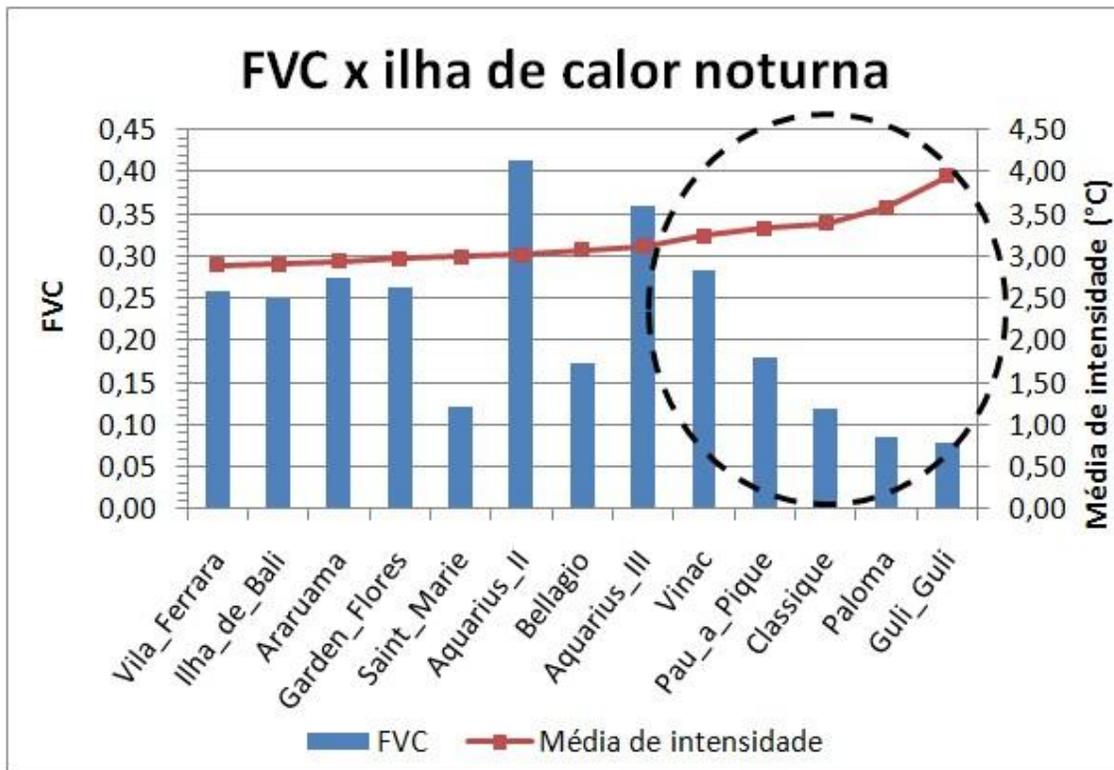


Figura 5.19 – Comparação entre FVC e intensidade de ilha de calor nos pontos em estudo. No destaque, os pontos com maior intensidade de ilhas de calor noturna.

No destaque da figura 5.19, observam-se os pontos com considerável intensidade de ilhas de calor. Nota-se que os pontos com menor área visível de céu são aqueles com maior intensidade de ilha de calor noturna. É importante destacar que o FVC é o maior influenciador do aumento ou diminuição de calor no período noturno, considerando que o entorno dos pontos destacados na figura 5.19 apresenta diferentes características de altimetria, densidade e ocupação do solo. Também destaca-se o fato de que a maior parte dos pontos que apresentaram forte correlação entre a formação de ilhas de calor e o FVC pertence ao bairro Parque Residencial Aquarius, confirmando a influência da geometria urbana no comportamento climático de uma região.

6 CONCLUSÕES

A primeira consideração a ser abordada para as conclusões desta pesquisa refere-se à configuração urbana da região em estudo. Fatores como direção dos ventos, orientação das ruas, topografia, radiação solar e densidade construída não foram observados para as análises climáticas dos bairros Parque Residencial Aquarius e Jardim das Indústrias. Além disso, a presença de um grande vazão urbano, a Noroeste, e a Rodovia Presidente Dutra, a Sudeste dos bairros, são fatores que também influenciaram no clima da região.

Os resultados provenientes do levantamento de temperatura, umidade e fator de visão do céu dos bairros em estudo na cidade de São José dos Campos – SP demonstraram que o comportamento térmico de uma microrregião sofre influências diretas dos aspectos da geometria urbana local. Assim, a hipótese de correlação entre a morfologia urbana e parâmetros climáticos foi confirmada.

Com as análises estatísticas dos dados foi possível notar que o bairro Parque Residencial Aquarius, realmente, apresenta temperaturas mais elevadas que as do bairro Jardim das Indústrias. Além disso, a análise da temperatura média horária, entre os dados coletados e os da estação meteorológica da UNIVAP, evidencia que a mesma está relacionada ao processo de urbanização, pois as áreas não urbanas sofrem um resfriamento noturno mais rápido.

Considerando o fator de visão do céu, como parâmetro para análise do clima dos bairros, percebeu-se que as correlações encontradas foram relativamente baixas. Com a estratificação dos dados entre bairros, pontos, período (noturno e diurno) e estação (inverno e verão) observa-se fortes evidências de correlação positiva (quanto maior o FVC, maior a temperatura) para o período diurno. No entanto, a maior

significância encontrada entre temperatura e FVC foi para o período noturno, ou seja, durante a noite, quanto maior o FVC, menor será a temperatura naquele ponto. Assim, foi possível verificar em quais situações o FVC é relevante para o estudo da geometria urbana.

A altura para obtenção das fotografias olho-de-peixe não se mostrou relevante nas comparações entre o FVC e a temperatura coletada.

A pesquisa confirmou uma forte influência do FVC na formação de ilhas de calor para o período noturno. Pontos como “Paloma”, “Guli Guli” e “Classique”, com baixos fatores de visão do céu (0,08 – 0,13) apresentaram as maiores intensidades de ilhas de calor, identificando a influência da geometria urbana no comportamento climático do bairro Parque Residencial Aquarius.

Seria relevante, em futuras pesquisas, o levantamento de parâmetros como radiação e orientação solar, comportamento térmico dos materiais do entorno e densidade construída, como complemento à estimativa do fator de visão do céu para o estudo de um microclima.

7 REFERÊNCIAS

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. **Effects on street design on outdoor thermal comfort.** Disponível em: <<http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/baba/Ali-Toudert.pdf>>. Último acesso em: 14/10/2010.

BOURBIA, F.; BOUCHERIBA, F. **Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine).** *Renewable Energy*, 2009. 35, p. 343–347.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de sistemas de informação geográfica.** Instituto de computação. Campinas, 1996.

CHAPMAN, L.; THORNES, J.E.; BRADLEY, A.D. **Sky-view factor approximation using GPS receivers.** *International Journal of Climatology*, 2002. 22, p. 615-621.

COSTA, P. E. O. **Legislação urbanística e crescimento urbano em São José dos Campos.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FRAZER, G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation.** New York: Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, 1999.

GÁL, T.; RZEPA, M.; GROMEK, B.; UNGER, J. **Comparison between sky view factor values computed by two different methods in an urban environment.** *Acta Climatologica et Chorologica*, 2007. p. 17-26.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. **O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG.** In: *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 2009. p. 73-91.

GRIMMOND, C.S.B.; POTTER, S. K.; ZUTTER, H. N.; SOUCH, C. **Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas.** International Journal of Climatology, 2001. 21, p. 903-913.

IBGE. **Censo Demográfico 2010 - Resultados do universo.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 27 jun. 2011.

JOHNSON, G.T.; WATSON, I.D. **The determination of view-factors in urban Canyons.** Journal of Climate and Applied Meteorology, 1984.

JOHANSSON, Erik. **Urban design and outdoor thermal comfort in warm climates: studies in Fez and Colombo.** Lund: Grahns Tryckeri AB, 2006.

NIKOLOPOULOU, M., **Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach.** Athens: Centre for Renewable Energy Sources, 2004.

OKE, T. R. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations.** International Journal of Climatology, 1981.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1987.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas, SP.** 2007. 182 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RZEPA, M. **The map of sky view factor in the center of Lodz.** In: International Conference on Urban Climate, Yokohama, 2009.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Secretaria de planejamento urbano. **Banco de dados geográficos.** 1 CD-ROM. Cidade Viva. São José dos Campos: PMSJC, 2008.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Secretaria de planejamento urbano. **Lei Complementar Nº. 428/10.** Disponível em: <http://ceaam.net/sjc/legislacao/?doc=http://www.ceaam.net/sjc/legislacao/leis/2010/Lc0428.htm>. Acesso em: 27 jun. 2011.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS .Secretaria de planejamento urbano. **Plano de Ocupação Parque Residencial Aquarius.** São José dos Campos: PMSJC, 1986.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **São José em Dados: informações sobre a cidade de São José dos Campos.** São José dos Campos: PMSJC, 2008.

SCOFIELD, G. B.; SANTOS, C. C.; FERREIRA, N. J.; JORGE, M. P. P. M. **Caracterização do clima da cidade de São José dos Campos.** CBMET, Rio de Janeiro, 2000. p. 724-729.

SOUZA, L.C.L. de; RODRIGUES, D.S.; MENDES, J.F.G. **Expandindo um SIG-3D para aplicação em conforto ambiental em nível urbano.** In: ENCAC, Curitiba, 2003. p. 669-676.

SOUZA, L.C.L. de. **Thermal environment as a parameter for urban planning.** Energy for Sustainable Development, 2007. 11, n. 4, p. 44-53.

SOUZA, L.C.L. de; TENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M. **Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre.** In: Ambiente Construído, Porto Alegre, 2010. p. 155-167.

STEYN, D.G. **The calculation of view factors from fisheye-lens photographs.** Atmosphere Ocean, 1980. 18, n. 3, p. 254-258.

SUH, Y.C. **Automatic delineation of sky view in urban canyons by 3-dimensional GIS.** KSCE Journal of Civil Engineering, 2004. 8, n. 2, p. 227-232.

SVENSSON, M.K. **Sky-view factor analysis – implications for urban air temperature differences.** Journal Meteorol. Appl., 2004. 11, p. 201-211.

UNGER, J. **Connection between urban heat island and sky-view factor approximated by a software tool on a 3D urban database.** International Journal Environment and Pollution, 2009. 36, n. 1/2/3, p. 59-80.

ZUTTER, Hiedi. **Evaluation and application of automated methods to measure sky view factors for urban areas.** Disponível em:
<<http://www.indiana.edu/~bses/zutter.html>>. Último acesso em: 14/10/2010.

YAMASHITA, S.; SEKINE, K.; SHODA, M.; YAMASHITA, K.; HARA, Y. **On relationships between heat island and sky-view factor in the cities of Tama River basin, Japan.** Atmospheric Environment, 1986. 20, n. 4, p. 681-686.