

**EVERALDO MARQUES DE LIMA NETO**

**APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA O  
INVENTÁRIO DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS DE CURITIBA, PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daniela Biondi**

**Co-orientador: Prof. Dr. Hideo Araki**

**CURITIBA**

**2011**

Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Lima Neto, Everaldo Marques de

Aplicação do sistema de informações geográficas para o inventário da arborização de ruas de Curitiba, PR / Everaldo Marques de Lima Neto - 2011.

108 fls. : il.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daniela Biondi

Co-orientador: Prof. Dr. Hideo Araki

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 11/02/2011

Inclui bibliografia

Área de concentração: Conservação da natureza

1. Arborização das cidades – Curitiba (PR). 2. Inventário florestal – Curitiba (PR). 3. Sistemas de informação geográfica. 4. Teses. I. Biondi, Daniela. II. Araki, Hideo. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

CDD – 715.2

CDU – 634.0.273(816.21)

**À minha avó  
Araci  
Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Á Deus pelo inexplicável sentido da minha existência.

À minha orientadora DANIELA que sabiamente me conduziu nesta jornada, aos ensinamentos que me passou, aos conselhos, ao exemplo de pessoa, professora e pesquisadora, “Meu muito obrigado!”.

Ao CNPq pela bolsa de estudo concedida para realização desta pesquisa.

Ao Professor Hideo pela co-orientação e disposição para auxiliar na execução deste trabalho. Ao IPPUC pelas imagens cedidas.

À Coordenação de Pós-graduação, em especial aos secretários Reinaldo e David.

Ao Rogério Bobrowski, pelo apoio e conversas muito produtivas e por ceder dados de suas coletas, sem os quais, não poderia ser realizada a pesquisa. Às colegas, Luciana Leal e Angeline Martini pela ajuda nas correções e sugestões neste trabalho.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 –	ORGANOGRAMA DE CATEGORIAS QUE COMPÕE A ARBORIZAÇÃO URBANA.....	14
FIGURA 2.2 –	BENEFÍCIOS ECOLÓGICOS PROPORCIONADOS PELA ARBORIZAÇÃO URBANA, CATEGORIZADAS COMO PARQUES URBANOS, ÁRVORES DE RUA E PRAÇAS .....	22
FIGURA 2.3 –	CARACTERIZAÇÃO DOS MÓDULOS QUE COMPÕEM UM SIG ....	39
FIGURA 2.4 –	ELEMENTOS DA REPRESENTAÇÃO VETORIAL (A) E MATRICIAL (B) .....	41
FIGURA 3.1 –	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
FIGURA 3.2 –	DIVISÃO DE BAIRROS E REGIONAIS ADMINISTRATIVAS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA/PR.....	45
FIGURA 3.3 –	FLUXOGRAMA DAS ETAPAS METODOLÓGICAS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SIG NOS INVENTÁRIOS DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS .....	47
FIGURA 3.4 –	LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ESCOLHIDAS PARA CONSTRUÇÃO DE BASES CARTOGRÁFICAS E ANÁLISE DA ARBORIZAÇÃO VIÁRIA .....	49
FIGURA 3.5 –	BAIRROS BIGORRILHO E MERCÊS, COM DESTAQUE PARA PARCELA ONDE FOI REALIZADO O INVENTÁRIO DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS .....	50
FIGURA 3.6 –	BAIRRO ÁGUA VERDE COM DESTAQUE PARA PARCELA DESENVOLVIDA EM AMBIENTE SIG .....	52
FIGURA 3.7 –	BAIRRO JARDIM SOCIAL, COM DESTAQUE PARA PARCELA DESENVOLVIDA EM AMBIENTE SIG .....	53
FIGURA 3.8 –	ESQUEMA REPRESENTANDO A MEDIÇÃO DA VARIÁVEL ESPAÇAMENTO ENTRE COPAS.....	59
FIGURA 3.9 –	ESQUEMA REPRESENTANDO ENTREAÇAMENTO DE COPAS EM ÁRVORES COM O MESMO ALINHAMENTO NA CALÇADA .....	60
FIGURA 3.10 –	ESQUEMA REPRESENTANDO ENTREAÇAMENTO DE COPAS EM ÁRVORES COM DIFERENTE ALINHAMENTO NA CALÇADA .....	61
FIGURA 3.11 –	REPRESENTAÇÃO VETORIAL DAS ÁREAS DE RUA NAS AMOSTRAS A, B e C e REPRESENTAÇÃO VETORIAL DAS CALÇADAS ARBORIZADAS NAS AMOSTRAS D, E e F.....	63
FIGURA 4.1 –	APLICAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ÁRVORES NA AMOSTRA BIGORRILHO, CURITIBA-PR .....	68
FIGURA 4.2 –	APLICAÇÃO DOS TRÊS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ÁRVORES NA AMOSTRA ÁGUA VERDE, CURITIBA-PR .....	72
FIGURA 4.3 –	APLICAÇÃO DOS TRÊS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ÁRVORES NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL, CURITIBA-PR .....	76
FIGURA 4.4 –	EFEITOS DA SOMBRA NA DETECÇÃO DAS ÁRVORES NA RUA..	79
FIGURA 4.5 –	EFEITOS DA FENOLOGIA NA DETECÇÃO DA ÁRVORE .....	80

FIGURA 4.6 – CONFIGURAÇÃO DE ÁRVORES EM CADA RUA DA AMOSTRA BIGORRILHO, CURITIBA/PR.....	84
FIGURA 4.7 – CONFIGURAÇÃO DE ÁRVORES EM CADA RUA DA AMOSTRA ÁGUA VERDE, CURITIBA/PR.....	88
FIGURA 4.8 – CONFIGURAÇÃO DE ÁRVORES EM CADA RUA DA AMOSTRA JARDIM SOCIAL, CURITIBA/PR.....	91
FIGURA 4.9 – COPA DE ÁRVORE DE RESIDÊNCIAS DIFICULTANDO A DETECÇÃO DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS.....	94
FIGURA 4.10 – COBERTURA ARBÓREA DA AMOSTRA BIGORRILHO, COM DESTAQUE PARA OS CORREDORES DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS.....	98
FIGURA 4.11 – REPRESENTAÇÃO DA COBERTURA ARBÓREA, NAS UNIDADES AMOSTRAIS ÁGUA VERDE (A), BIGORRILHO (B) E JARDIM SOCIAL (C).....	100
FIGURA 4.12 – QUILOMETRO DE CALÇADAS PARA OBTENÇÃO DO ÍNDICE ÁRVORES POR QUILOMETROS DE CALÇADAS ARBORIZADAS NAS UNIDADES AMOSTRAIS ÁGUA VERDE (A), BIGORRILHO (B) E JARDIM SOCIAL (C).....	103
FIGURA 4.13 – COMPARAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE QUANTIDADE DE ÁRVORES EXISTENTES POR QUILOMETRO DE CALÇADA ARBORIZADA.....	104

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.1 – ESPÉCIES INVENTARIADAS NA ARBORIZAÇÃO DE RUAS DE CURITIBA EM 1984.....	51
---	----

## LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 – ÁREA DAS AMOSTRAS OBTIDAS NA COLETA FEITA EM AMBIENTE SIG EM RELAÇÃO AO ESTABELECIDO NO INVENTÁRIO DA ARBORIZAÇÃO DE 1984.....	66
TABELA 4.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA BIGORRILHO.....	69
TABELA 4.3 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA BIGORRILHO.....	70
TABELA 4.4 – DIFERENÇA ENTRE OS MÉTODOS AVALIADOS NA AMOSTRA BIGORRILHO, CURITIBA-PR.....	70
TABELA 4.5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA ÁGUA VERDE.....	73
TABELA 4.6 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA ÁGUA VERDE.....	74
TABELA 4.7 – DIFERENÇA ENTRE OS MÉTODOS AVALIADOS NA AMOSTRA ÁGUA VERDE, CURITIBA-PR.....	74
TABELA 4.8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL.....	77

TABELA 4.9 –	COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL.....	78
TABELA 4.10 –	DIFERENÇA ENTRE OS MÉTODOS AVALIADOS, NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL, CURITIBA-PR.....	78
TABELA 4.11 –	COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE A COLETA EM AMBIENTE SIG E INVENTÁRIO CONVENCIONAL .....	81
TABELA 4.12 –	VALORES DA VARIÁVEL ÁREA DE COPA PARA OS MÉTODOS CONVENCIONAL E COLETA EM AMBIENTE SIG NA AMOSTRA BIGORRILHO.....	82
TABELA 4.13 –	COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE O MÉTODO DE COLETA EM AMBIENTE SIG E INVENTÁRIO CONVENCIONAL.....	85
TABELA 4.14 –	VALORES DA VARIÁVEL ÁREA DE COPA PARA OS MÉTODOS DE COLETA EM AMBIENTE SIG E CONVENCIONAL NA UNIDADE AMOSTRAL ÁGUA VERDE .....	86
TABELA 4.15 –	COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE A COLETA EM AMBIENTE SIG E INVENTÁRIO CONVENCIONAL .....	89
TABELA 4.16 –	VALORES DA VARIÁVEL ÁREA DE COPA PARA OS MÉTODOS DE COLETA EM AMBIENTE SIG E CONVENCIONAL NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL.....	90
TABELA 4.17 –	DIFERENÇAS ENTRE COLETA EM AMBIENTE SIG E CONVENCIONAL NA AFERIÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE COPAS .....	95
TABELA 4.18 –	ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA NAS UNIDADES AMOSTRAIS, CURITIBA-PR .....	101
TABELA 4.19 –	ÍNDICE DE DENSIDADE ARBÓREA EM UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR .....	102
TABELA 4.20 –	ÍNDICE DE PLENA OCUPAÇÃO NAS UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR .....	104

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	122
1.1 HIPÓTESE.....	14
1.2 OBJETIVO GERAL.....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1 ARBORIZAÇÃO URBANA MATERIALIZANDO A NATUREZA NA CIDADE .	15
2.1.1 À Luz da Arborização no Brasil .....	15
2.1.2 Representação Conceitual da Arborização Urbana.....	17
2.1.3 Benefícios das Árvores Urbanas .....	20
2.2 PLANEJAMENTO DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS .....	23
2.3 INVENTÁRIO DA ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS .....	26
2.3.1 Amostragem da Arborização de Ruas .....	28
2.3.2 Variáveis que Compõem o Inventário da Arborização de Ruas .....	29
2.3.2.1 Localização e Características das Árvores.....	30
2.3.2.2 Características do Meio Físico .....	30
2.4 PROCESSAMENTO INFORMATIZADO E ANÁLISE DE DADOS DA ARBORIZAÇÃO .....	322
2.5 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS RECURSOS AMBIENTAIS.....	34
2.5.1 Bases Cartográficas - Conceito e Importância .....	35
2.5.2 Definição e Potencialidade das fotografias aéreas.....	37
2.5.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG) no Gerenciamento da Arborização de Ruas.....	39
2.5.3.1 Representação Espacial: Vetorial ou Matricial .....	41
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	42
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
3.2 BASE MATERIAL METODOLÓGICA .....	46
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	47

3.3.1	Definição dos Critérios e Seleção das Unidades Amostrais .....	48
3.3.1.1	Amostra Bigorriho .....	49
3.2.3.2	Amostra Água Verde .....	52
3.2.3.3	Amostra Jardim Social.....	53
3.3.1.4	Tamanho das Unidades Amostrais.....	54
3.3.2	Aquisição de Bases Cartográficas .....	54
3.3.2.1	Delineamento Espacial das Unidades Amostrais .....	55
3.3.2.2	Seleção Manual dos Geo-Objetos em Imagens Digitais .....	56
3.3.3	Seleção de Variáveis do Inventário Convencional.....	57
3.3.3.1	Processamento das Variáveis pelo Método Convencional.....	58
3.3.3.1.1	Quantidade de Árvores .....	58
3.3.3.1.2	Área de Copa .....	58
3.3.3.1.3	Espaçamento entre Copas.....	58
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	62
3.5	UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES ESPACIAIS PARA ANÁLISE DA ARBORIZAÇÃO VIÁRIA .....	63
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
4.1	IMPRECISÕES NO DELINEAMENTO ESPACIAL DAS UNIDADES AMOSTRAIS .....	66
4.2	ANÁLISE DOS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ÁRVORES EM UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR .....	67
4.2.1	Unidade Amostral Bigorriho .....	67
4.2.2	Unidade Amostral Água Verde .....	71
4.2.3	Unidade Amostral Jardim Social.....	75
4.2.4	Limitações na Detecção das Árvores na Rua.....	79
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO CONVENCIONAL E O MÉTODO DE COLETA EM AMBIENTE SIG NA AFERIÇÃO DA VARIÁVEL DENDROMÉTRICA ÁREA DE COPA, EM UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR.....	81
4.3.1	Unidade Amostral Bigorriho .....	81
4.3.2	Unidade Amostral Água Verde .....	85
4.3.3	Unidade Amostral Jardim Social.....	89
4.3.4	Restrições na Detecção da Área de Copa.....	92

4.4	DIFERENÇAS ENTRE MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE COPAS DAS ÁRVORES DE RUA, EM UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR.....	95
4.4.1	Entrelaçamento de Copas .....	97
4.5	APLICAÇÃO DOS ÍNDICES ESPACIAIS DA ARBORIZAÇÃO URBANA ....	100
4.5.1	Índice de Cobertura Arbórea (ICA) .....	100
4.5.2	Índice de Densidade Arbórea (IDA).....	1022
4.5.3	Índice de Árvores por Quilômetros de Calçadas Arborizadas (IAQC) .....	103
4.5.4	Índice de Plena Ocupação (IPO) .....	105
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>107</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>

## RESUMO

A arborização de ruas é um patrimônio valioso para as cidades. Seus incalculáveis benefícios comprovam a importância das árvores para a qualidade de vida da população e qualidade ambiental nas cidades. No planejamento da arborização a avaliação quali-quantitativa é uma atividade de grande importância para o conhecimento desse patrimônio. Geralmente, para a realização de um inventário arbóreo convencional se utilizam inúmeras variáveis coletadas em campo que demandam altos custos aos cofres públicos, tanto pelo deslocamento nas ruas e formação de uma equipe de trabalho, como pelo tempo gasto para mensuração dessas variáveis. Muitas técnicas têm sido difundidas no Brasil a fim de monitorar a arborização, entre elas: o sensoriamento remoto e os sistemas de geoinformação. O uso desses sistemas ainda é escasso nas atividades da arborização viária e necessita de pesquisas que destaquem os benefícios de sua utilização no planejamento e execução dos inventários florestais urbanos. Esta pesquisa teve como objetivo aplicar o Sistema de Informações Geográficas (SIG) na mensuração de variáveis do inventário da arborização de ruas de Curitiba-PR, visando agilidade e redução nos custos deste serviço, para subsidiar o planejamento e monitoramento arbóreo urbano. Para a realização desta pesquisa foram selecionadas três unidades amostrais da arborização de ruas do município de Curitiba provenientes de um inventário arbóreo realizado em 1984. Os critérios de seleção dessas amostras foram: maior quantidade de árvores e maior diversidade de espécies. As unidades amostrais representaram os seguintes bairros: Água Verde, Bigorriho e Jardim Social. As variáveis mensuradas foram: quantidade de árvores, área de copa e espaçamento entre copas. A mensuração dessas variáveis espaciais foi processada no programa ArcGIS 9.2 utilizando ortofotos das unidades amostrais. Estas variáveis foram comparadas estatisticamente com as mesmas variáveis obtidas através do inventário convencional (medido em campo). Foram calculados os seguintes índices espaciais da arborização viária: índice de cobertura arbórea (ICA), índice de densidade arbórea (IDA), índice de quilometro de calçada arborizada (IQCA) e índice de plena ocupação (IPO). Os resultados comprovaram que não houve diferença estatisticamente significativa entre o método convencional e método em ambiente SIG. As diferenças entre os valores obtidos nos métodos de coleta estão relacionadas com os seguintes fatores limitantes na detecção: a qualidade das bases cartográficas utilizadas; erros de observação e medição em inventários convencionais; o período e época de aquisição da imagem; a altura das edificações (sombras); o aspecto fenológico das espécies; os plantios de espécies que apresentam tamanhos diferentes. O ICA obtido das três amostras apresentou valor inferior ao da bibliografia consultada, indicando a necessidade de se realizar novos plantios nas áreas analisadas. Pela eficácia da coleta em ambiente SIG na aferição das variáveis, considera-se que esta técnica pode auxiliar e complementar o inventário convencional. Vale ressaltar que este método não substitui o método convencional, mas pode apoiar a execução do inventário, diminuindo as variáveis mensuradas em campo, que apresentam alto custo de aferição. Pelos resultados obtidos conclui-se que a obtenção de variáveis dendrométricas em ambiente SIG mostrou ser um método aplicável atualmente para as características da arborização de ruas de Curitiba, principalmente pela facilidade e disponibilidade de bases cartográficas municipais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Monitoramento da Arborização de Ruas, Mensuração de Variáveis, Geoprocessamento e Índices Espaciais da Arborização.

## ABSTRACT

The arborization of the streets is a valuable asset to the cities. His incalculable benefits demonstrate the importance of trees to the quality of life and environment in cities. In the planning of arborization, the qualitative and quantitative evaluation is an activity of great importance for the understanding of that heritage. Generally to conduct a tree inventory using conventional numerous variables collected in the field that demands high public expenses, from the shift in the streets and forming a team, as measured by time spent on these variables. Many techniques have been widespread in Brazil in order to monitor in afforestation, including: remote sensing and geoinformation systems. The use of these systems is scarce in the activities of arborization and requires research that highlight the benefits in the planning and implementation of urban forest inventories. This study aimed to implement the Geographic Information System (GIS) in the measurement of variables of the inventory the trees on the streets of Curitiba-PR, seeking agility and reducing costs of this service, to support planning and monitoring urban trees. For this research, we selected three sample units of street trees in the city of Curitiba from a tree inventory conducted in 1984. The criteria for selection of these samples were larger amount of trees and species diversity. The sampling units represented the following districts: Agua Verde, Bigorriho e Jardim Social. The variables measured were: number of trees, canopy area and canopy spacing. The measurement of these spatial variables were processed using the program ArcGIS 9.2 orthophotos of sample units. These variables were statistically compared with the same variables obtained by conventional inventory (measured in field). We calculated the following indices of spatial arborization cover of tree index (CTI), tree density index (TDI), rate of sidewalk tree kilometer (RSTK) full occupancy index (FOI). Results showed that there was no statistically significant difference between the conventional method and GIS. The differences between the values obtained in the collection methods are related to the following factors limiting the detection: the quality of cartographic databases used, errors of observation and measurement in conventional inventories; the period and time of image acquisition, the height of buildings (shadows), the phenological aspect of the species, the planting of different sizes or size. CTI obtained from three samples showed lower value than the bibliography, indicating the need to plant new trees in the areas analyzed. The speed and efficiency of a GIS in the measurement of variables, it is considered that this technique can assist and complement the conventional inventory. It is noteworthy that this method does not replace the conventional method can support the implementation of inventory, reducing the variables measured in the field that have a high cost of measurement. By the results it is concluded that obtaining environment variables dendrometric in GIS is a method currently applicable to the characteristics of the trees on the streets of Curitiba, mainly for the ease and availability of municipal cartographic databases.

**KEY WORDS:** Monitoring of street trees, measurement of variables, GIS and Spatial of arborization Indexes.

## 1. INTRODUÇÃO

A arborização de vias públicas certifica a melhoria da qualidade de vida da população e qualidade ambiental nas cidades, seja no âmbito social, ecológico e paisagístico. Exerce benefícios importantes ao meio urbano, ao melhorar as condições atmosféricas e o balanço hídrico e desempenhar o equilíbrio edáfico e microclimático. Além disso, serve como atrativo para avifauna e bem-estar psicológico da população.

As pesquisas no Brasil relativas a este tema são recentes e podem inserir grandes contribuições ao planejamento urbano. Muitas técnicas têm sido difundidas a fim de propiciar implantação, monitoramento e manutenção da arborização. Categoricamente, a arborização urbana engloba a arborização de ruas e áreas verdes (públicas e privadas).

A arborização de ruas além de ser um serviço público, é um patrimônio que deve ser conhecido e conservado para as futuras gerações (BIONDI e ALTHAUS, 2005). Como serviço público, necessita de avaliação e monitoramento contínuos para que desempenhem adequadamente suas funções no meio urbano.

Segundo Vitória et al. (2010) a realização de um inventário é o meio mais seguro de conhecer o patrimônio arbóreo de uma localidade. Tal levantamento é fundamental para o planejamento e manejo da arborização, fornecendo informações sobre a necessidade de poda, tratamentos fitossanitários ou remoção e plantios, bem como define prioridades de intervenções.

A realização de um inventário convencional da arborização exige um número grande de variáveis em campo o que demanda altos custos aos cofres públicos, considerando o deslocamento nas ruas, um número mínimo de pessoas para viabilizar a coleta de dados, além do tempo gasto para mensuração das variáveis.

A informatização dos dados possibilita a análise, a atualização e o armazenamento de um grande volume de informações geradas por um inventário. Essa informatização dos dados oferece redução de custos, fornecendo ao planejador melhor instrumento indispensável ao manejo das árvores urbanas (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Dessa forma, as variáveis de um inventário devem ser bem selecionadas a fim de abordar somente informações necessárias ao planejamento e monitoramento da arborização da cidade, evitando custos desnecessários.

Os serviços urbanos, de modo geral, utilizam-se de técnicas de geoprocessamento (sensoriamento remoto, fotogrametria, cartografia e sistema de informações geográficas), obtendo a análise e configuração espacial das cidades.

De acordo com algumas pesquisas o Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem demonstrado eficácia na coleta, armazenamento e representação de dados em vários níveis de detalhamento.

Para Lima Neto, Biondi e Araki (2010), o SIG integra o quantitativo da arborização com grande capacidade de filtragem e armazenamento. A aplicação dos sistemas de geoinformação junto ao inventário convencional pode subsidiar no monitoramento das áreas arborizadas. Para isso é necessário dispor de bases cartográficas que atendam os objetivos da avaliação.

O uso de imagens de satélites e/ou fotografias aéreas de alta resolução espacial e qualidade são essenciais para apoiar a obtenção de variáveis dendrométricas nos inventários da arborização de ruas.

A mensuração de variáveis através de fotografias aéreas ainda é uma atividade inexplorada na arborização viária e tem-se mostrado de grande potencialidade em outras medições realizadas no ambiente urbano. A utilização conjunta de dados mensurados nos inventários tradicionais com as informações provenientes do processamento digital das imagens em ambiente SIG, quando aplicados, diminui os custos obtidos nos inventários convencionais, pois a aferição através de imagens pode ser de maneira rápida.

Pelas vantagens apresentadas, as gestões públicas e/ou órgãos responsáveis pela arborização deveriam incorporar a aplicação do SIG à conservação e manejo da arborização urbana (LIMA NETO; BIONDI; ARAKI, 2010).

O estabelecimento de uma base técnico-científica para a aplicação do SIG confere maior efetividade na execução dos inventários e torna possível melhorar as práticas de manejo da arborização urbana.

## 1.1 HIPÓTESE

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são eficientes na mensuração de variáveis do inventário e na espacialização da arborização de ruas de Curitiba-PR.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Mensurar as variáveis do inventário da arborização de ruas de Curitiba-PR com uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para subsidiar o planejamento e monitoramento da arborização.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Construir a base de dados cartográficos para o emprego das técnicas de geoprocessamento (processamento digital de imagens e seleção de alvos na imagem);
- b) Selecionar variáveis utilizadas em inventário da arborização urbana que possam ser aplicadas em SIG;
- c) Verificar o percentual de concordância dos resultados do processamento da imagem com a realidade terrestre, para comprovar a adequabilidade do SIG como método de aferição das variáveis;
- d) Desenvolver índices quantitativos de cobertura e densidade arbórea por meio da aplicação do SIG;
- e) Confeccionar cartas temáticas da arborização na área de estudo relativas à quantidade de árvores, cobertura arbórea e especificações de plantio, tais como: copas isoladas ou entrelaçadas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ARBORIZAÇÃO URBANA MATERIALIZANDO A NATUREZA NA CIDADE

#### 2.1.1 À Luz da Arborização no Brasil

As árvores resgatam a natureza no ecossistema urbano e sua inserção em ruas e demais logradouros são de origens culturais e temporais. É escasso o material histórico brasileiro sobre a arborização. Mas sabemos que as diferenças culturais no Brasil proporcionaram diferentes modelos urbanos. As culturas colonizadoras foram responsáveis pela inserção e/ou manutenção das florestas urbanas, ao passo que se dava a formação das cidades.

A colonização portuguesa, no tocante à formação das cidades se caracterizou por um desenho urbano onde a arborização não fazia parte da urbe e estava somente presente no entorno da cidade. Isso porque a vegetação dificultava a defesa contra inimigos ou invasores que poderiam atacar e se esconder nas florestas (HENRIQUE, 2009). A típica colonização de exploração não dispunha de uma política de urbanização, uma vez que o objetivo principal era de exploração dos eco-recursos.

Apesar das primeiras cidades brasileiras serem formadas na região Nordeste, a prática da arborização não foi objeto das políticas de desenvolvimento urbano ao longo do processo histórico.

Conforme Mesquita (1996) e Meneguetti (2003), a colonização holandesa, no século XVII, provavelmente tornou a cidade de Recife o primeiro núcleo urbano brasileiro a dispor de arborização de ruas no Brasil, confirmado por documentos pictóricos do final da década de 1630, que admitiram a presença de coqueiros em duas ruas.

A partir do período da revolução industrial, século XIX, as cidades foram modificando sua estrutura para atender a pressão do crescente mercado. De acordo com Araújo (2006) a cidade industrial é marcada pelo adensamento populacional que ocorreu devido à implantação de fábricas, ausência de planejamento urbano e a

população rural que teve suas propriedades expropriadas e foram forçados a tentar a vida nestas cidades.

As construções provenientes da intensa aglomeração da população que migrou do campo para a cidade fez com que as características ambientais fossem execradas na estrutura urbana e assim a natureza passou a representar um objeto aquém às cidades.

Nesse contexto, Henrique (2009) ressalta a cidade como obra humana e aparente negação da natureza, tornando-se local da observação de uma nova relação do homem com a natureza.

O uso da vegetação ainda era polêmico no território brasileiro até a metade do século XIX. Entretanto, no final do desse século, o conceito de rua e de parque arborizados como pulmões urbanos, já estava amplamente assimilado (SEGAWA, 1996).

Na cidade do Rio de Janeiro, Auguste François Marie Glaziou, que veio ao Brasil a convite de D. Pedro II para ocupar o cargo de diretor geral de matas e jardins e permaneceu no Brasil no período de 1858 a 1897, estabeleceu normas para o plantio de árvores em ruas, e, ao decorrer de sua estada várias ruas foram adequadas para arborização pela Corte (MILANO; DALCIN, 2000).

A República instaurada gerou um novo traçado no desenho urbano inserindo os elementos naturais a esse contexto. Sendo assim, o serviço de arborização foi intenso, uma vez que planos e projetos do período passaram a considerar essencial o plantio de árvores ao longo da malha viária das cidades (MENEGUETTI, 2003). Milano e Dalcin (2000) relatam que no Rio de Janeiro, no ano de 1910, registrou-se o plantio de 1.772 mudas em vias públicas.

Ao longo do desenvolvimento das cidades e do interesse pelos múltiplos benefícios oferecidos pela arborização muitos estudos começaram a ser realizados.

Na arborização urbana do Brasil, são referências iniciais de produção técnica e científica Frederico Carlos Hoene, do Instituto de Botânica, em São Paulo, Hermes Moreira de Souza, do Instituto Agrônomo de Campinas, e Luiz Emygdio de Mello Filho do Museu Nacional, no Rio de Janeiro (SANCHOTENE, 1994).

A arborização passou por um longo período de esquecimento no tocante a implantação e manutenção pelas gestões municipais. Para Milano (1996) a realização do I Encontro Nacional de Arborização Urbana, em Porto Alegre no ano

de 1985, provocou um renascimento do setor da arborização urbana no Brasil, destacando que o processo de urbanização foi intensificado neste período.

O processo que levou à fundação da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) e ao I Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, ambos realizados em 1992, uniu profissionais e pesquisadores atuantes no seu planejamento e trouxe à tona uma grande quantidade de trabalhos (MENEGUETTI, 2003).

A SBAU tem representado as atividades vinculadas à arborização urbana no Brasil e desde 2006 foi implantada a Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, que trata de inventários, paisagismo, silvicultura, ecologia, planejamento e gestão urbana, vem agrupando de modo interdisciplinar os pesquisadores da arborização urbana.

### 2.1.2 Representação Conceitual da Arborização Urbana

O desenho urbano elucidada a arborização como elemento vegetal estruturador do espaço urbano que passa a definir diferentes conceitos e tipologias (FARAH, 1999).

Os conceitos relativos à arborização urbana apresentam grande polêmica, pois alguns são abrangentes, enquanto outros são muito restritos. É necessário estabelecer um conceito que atenda os diferentes tratamentos paisagísticos das cidades brasileiras (BIONDI, 2000).

De acordo com Guzzo (1991) similaridades e diferenciações entre termos demonstram a dificuldade de defini-los e confundem os profissionais que trabalham nessa área. As diversas terminologias confundem e abrangem o significado da arborização urbana, são elas: áreas livres, espaços abertos, áreas verdes, sistemas de lazer, praças, parques urbanos, unidades de conservação em área urbana, e tantos outros.

Mantovi (2006) ressalta que o problema das diferentes terminologias existe nos níveis de pesquisa, ensino, planejamento e gestão dessas áreas, e conseqüentemente, nos veículos de comunicação.

Cada gestão municipal ou pesquisador é responsável pelo emprego da sua terminologia, de modo que para referenciar os estudos tem-se que previamente

conceituá-los para que não haja dubiedade de sentidos em semelhantes aplicações (LIMA NETO *et al.*, 2007).

A homogeneização da terminologia não só será importante em termos de entendimento comum, mas também necessária para avaliação da arborização. A arborização urbana tornou-se uma abordagem baseada na ciência e uma profissão reconhecida em diferentes países (KONIJNENDIJK *et al.*, 2005).

O conceito não deve ser apontado apenas ao significado da palavra, mas principalmente na razão de sua própria existência (BIONDI, 2000).

O uso dos termos de arborização urbana e floresta urbana geram confusões, principalmente em relação ao conceito, pois, o primeiro enfoca o elemento árvore como individual e o outro como coletivo (NOWAK, 2008).

Konijnendijk *et al.* (2005) afirmam que outro termo com significado abrangente também está em uso, o verde urbano. A principal diferença entre verde urbano e arborização urbana é que o primeiro inclui de todos os vegetais inseridos em áreas urbanas, independente do porte.

Grey e Deneke (1986) conceituam arborização urbana como o conjunto de terras públicas e privadas com vegetação predominantemente arbórea. Para Milano (1994), ao se dividir a arborização urbana em pública e privada, além do caráter de propriedade, consideram-se as diferenças quanto aos benefícios disponíveis à população.

Abreu *et al.* (2008) definem arborização como um conjunto da vegetação arbórea de uma cidade, seja natural ou cultivada. Este conjunto reúne as árvores das vias públicas, dos parques, das praças e jardins, áreas particulares e ainda a arborização nativa residual (SANCHONETE, 1994).

De acordo com Biondi (2000), a vegetação que compõe a arborização urbana pode ser distinta pela sua forma de aquisição e manutenção, sendo categorizada como (Figura 2.1):

a) Vegetação do sistema viário – deve obedecer a arranjos espaciais definidos, hierarquizados, modulados ou que assuma, contrariamente, uma disposição livre mais conformada aos ritmos e ao modelo da natureza;

b) Áreas verdes – representada por praças, refúgios, bosques e parques, desempenhando juntamente com a vegetação do sistema viário, papel relevante pela presença de massas arbóreas, na proteção e perenização de fontes e mananciais. Podem ser totalmente implantadas, com ou sem o uso de espécies

nativas, ou aproveitando alguns remanescentes de cobertura vegetal e de paisagens pré-existentes à urbanização, chegando até a caracterizar áreas de preservação; e

c) Áreas verdes privadas e semiprivadas, áreas arborizadas, tanto de instituições públicas como em instituições particulares, incluindo residências, colégios, campus universitários, clubes, hospitais, hotéis, entre outros.

Sendo assim, a arborização urbana é o conjunto da vegetação presente em uma cidade, podendo ser dividida em áreas verdes (pública ou privada) e arborização de ruas (Figura 2.1).

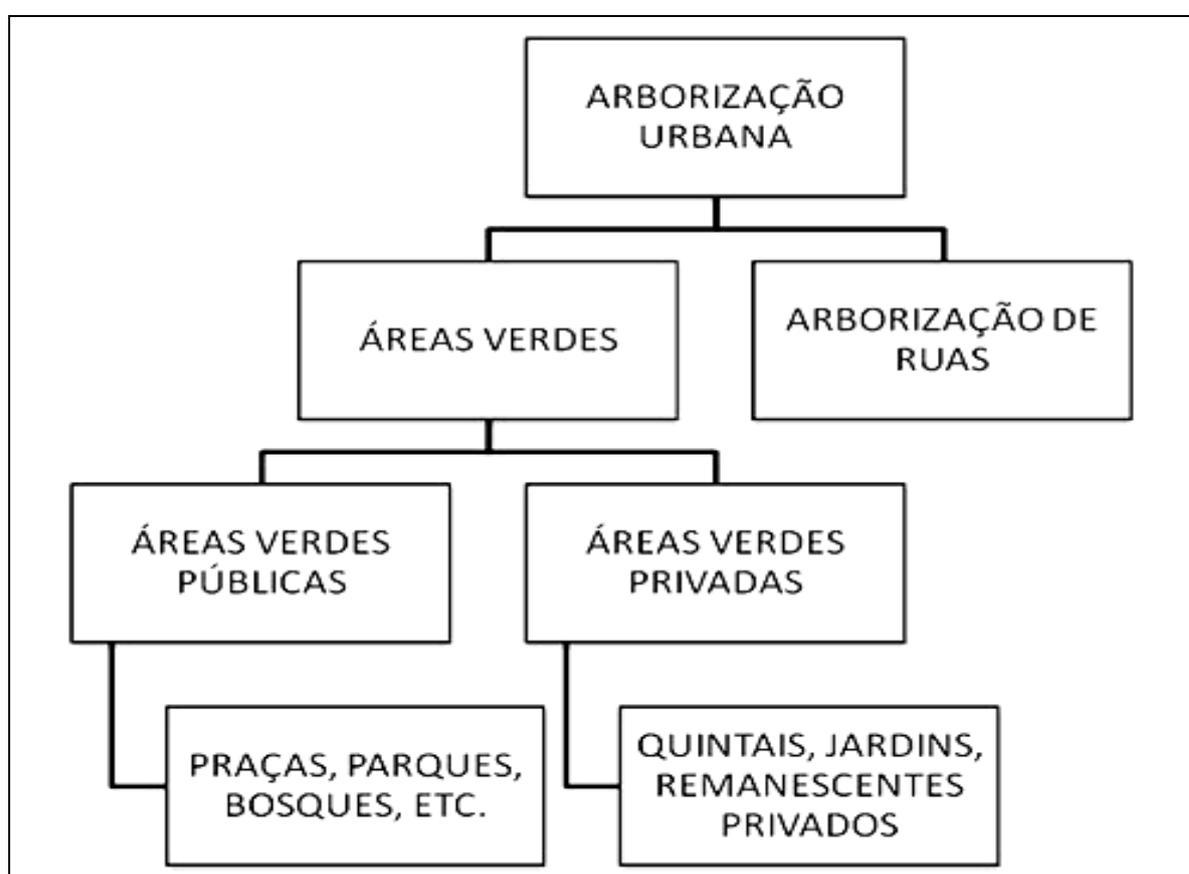


FIGURA 2.1 – ORGANOGRAMA DE CATEGORIAS QUE COMPÕEM A ARBORIZAÇÃO URBANA

FONTE: Baseado em Biondi (2000)

Backes e Irgang (2004) afirmam que o principal uso das árvores no meio urbano é junto à arborização viária. A arborização de ruas é um dos elementos vegetados dos ecossistemas urbanos capazes de integrar espaços livres, áreas verdes e remanescentes florestais, conectando todos esses ambientes de forma a

colaborar com a diversidade da flora e da fauna (RACHID; COUTO, 1999, PAIVA; GONÇALVES, 2002, BORTOLETO, 2004).

Os conceitos são reunidos e sistematizados para atender à composição paisagística e funcional das árvores no meio urbano, sejam agrupadas ou isoladas.

### 2.1.3 Benefícios das Árvores Urbanas

A presença de árvores nas cidades é essencial na estrutura e dinâmica da paisagem urbana que por seus atributos, colaboram para melhoria da qualidade de vida da população e ambiental nas cidades.

Para Biondi (2008), os benefícios da arborização independem da categoria, seja arborização de ruas ou áreas verdes, podendo ser agrupados em três aspectos: ecológico, estético e social.

A Sociedade Internacional de Arboricultura (International Society of Arboriculture (ISA, 1991) desenvolveu uma agenda de pesquisa para os anos 90 em parceria com o Serviço Florestal Norte Americano e com outras entidades. Essa agenda considera o estudo dos benefícios ecológicos das florestas urbanas como prioridade máxima, que deve ser aprofundado visando atender à necessidade de se estimar: a quantidade de árvores urbanas capazes de balancear a produção de dióxido de carbono pelos elementos da cidade; quais componentes (gases, particulados) de poluição são fixados por quais espécies, em que arranjo de biomassa e a que custo biológico para as plantas; os efeitos da vegetação no microclima, como temperatura, vento e umidade; os efeitos da arborização urbana no ciclo da água, na diminuição do escoamento superficial e no aumento da infiltração.

Branco (1991), afirma que “*as plantas são verdadeiras bombas de sucção, a extrair continuamente água do solo para devolvê-la ao ar*”. Além disso, as árvores desempenham um relevante papel na manutenção do equilíbrio climático ao produzir sombra para os pedestres e veículos, e possuem efeito de filtro quando absorvem os raios solares, baixando a temperatura média (GREY; DENEKE, 1986; PIVETTA; SILVA FILHO, 2002).

A vegetação urbana está integrada ao meio ambiente, favorecendo nos seguintes aspectos: contribui para a retenção e a estabilização dos solos; previne

contra a erosão do solo, pois tem efeito amortecedor da chuva e favorece a infiltração da água, proporcionando menor escoamento superficial; e integra o ciclo hidrológico, através do processo de transpiração (MOTA, 1999; PIVETTA; SILVA FILHO, 2002; CARVALHO; 2003).

Segundo Carvalho (2003) a vegetação, em alguns casos, constitui canais e barreiras, nas quais as folhagens funcionam como relevantes obstáculos para ruídos de caráter estridente que são comuns nas cidades. Sendo assim, a vegetação é de extrema valia para a melhoria da ambiência urbana através do amortecimento do som, amenizando a poluição sonora (GREY; DENEKE, 1986; PIVETTA; SILVA FILHO, 2002; MASCARÓ; MASCARÓ, 2009).

Além disso, a arborização urbana desempenha a ação purificadora por fixação das poeiras e materiais residuais, realiza a reciclagem de gases tóxicos através da ação natural fotossintética, além de colaborar na depuração bacteriana e de outros microorganismos, melhorando a qualidade do ar (PEPER *et al.*, 2001).

A arborização urbana também cumpre a função de fornecer abrigo e alimentação à fauna autóctone viabilizando, em parte, a vida silvestre no interior das cidades (SILVA FILHO *et al.* 2002), proporcionando a presença de animais que promovem a dispersão e/ou germinação das espécies florestais contribuindo ao equilíbrio ecológico (GREY; DENEKE, 1986).

A presença de animais nem sempre é positiva e, conforme Milano (1996), se avaliadas as condições desfavoráveis do meio urbano pode ter conseqüências negativas, como a infestação por erva-de-passarinho e outros parasitas, que podem provocar aumentos da população de vetores de doenças, como moscas, baratas e ratos.

A respeito do papel ecológico desempenhado pela arborização urbana, vide a Figura 2.2.

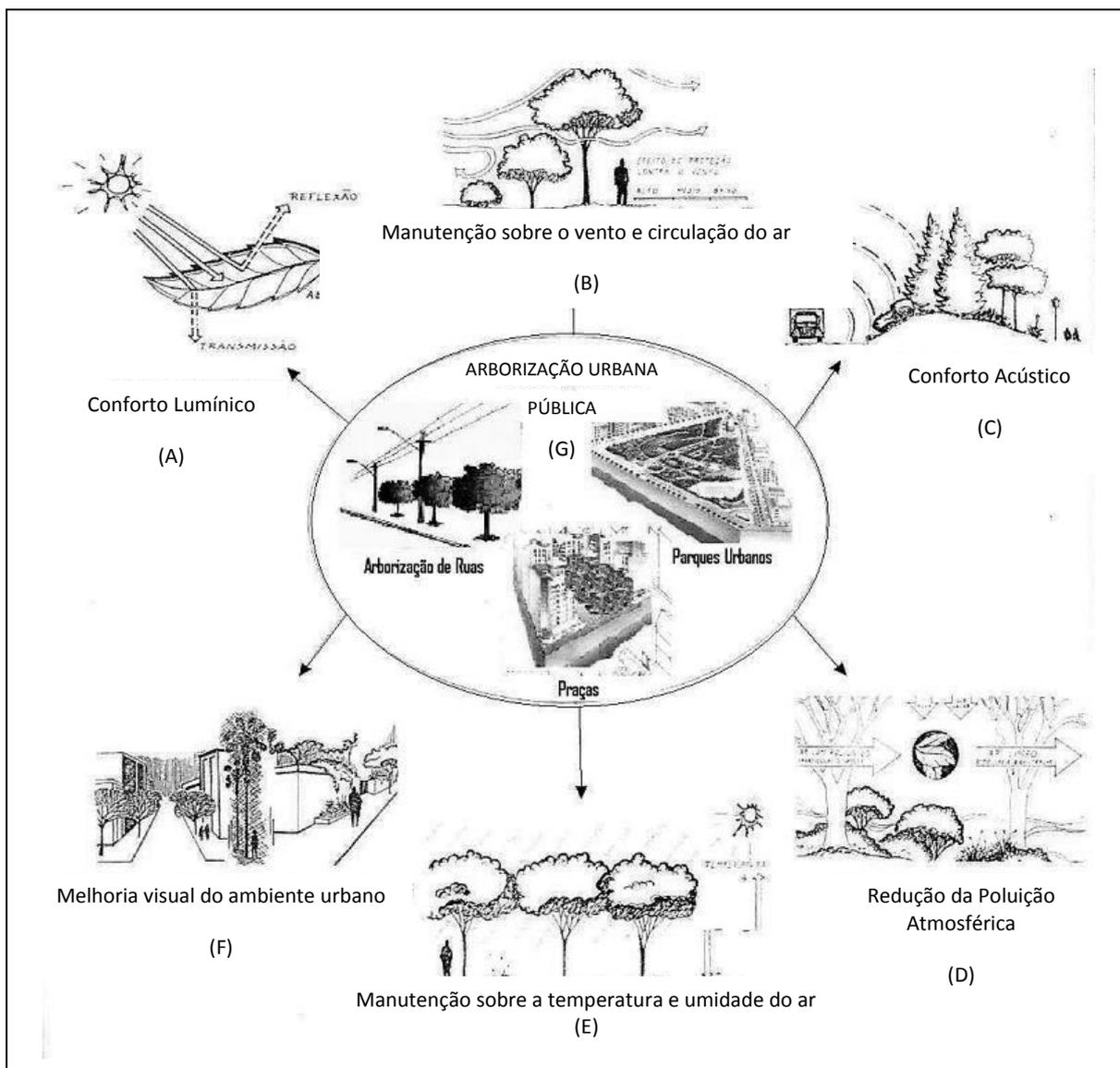


FIGURA 2.2 – BENEFÍCIOS ECOLÓGICOS PROPORCIONADOS PELA ARBORIZAÇÃO URBANA, CATEGORIZADAS COMO PARQUES URBANOS, ÁRVORES DE RUA E PRAÇAS

FONTE: ADAPTADO DE GREY; DENEKE (1986).

Entre os benefícios da arborização são encontrados também os benefícios estéticos e psicológicos. Esses benefícios podem ser relacionados como melhoria da paisagem, por fornecer o contraponto das paisagens construídas, por valorizar esteticamente o ambiente e por caracterizar e sinalizar os espaços, tornando-se referência para atividades humanas. Além de tornar o ambiente favorável ao descanso e recreação, Garante estabilidade emocional, redução do estresse, transmitindo harmonia, paz, tranqüilidade, sensações estas alcançadas pelo contato

com a natureza, vital ao equilíbrio psíquico humano (DETZEL, 1992; SEGAWA, 1996; SILVA FILHO et al. 2002; VOLPE-FILIK; SILVA; LIMA, 2007).

Os benefícios econômicos da arborização urbana podem ser classificados como diretos e indiretos. Para Grey e Deneke (1986), os mais significativos são os indiretos, como por exemplo, o efeito da sombra das árvores na redução do consumo de energia por condicionadores de ar, ou a contribuição de espécies decíduais para a redução do consumo de energia por aquecedores de ambiente.

Ainda quanto aos valores políticos e econômicos, as árvores urbanas proporcionam às cidades significativa importância na sua promoção, levando a cidade a uma grande especulação imobiliária (BIONDI; ALTHAUS, 2005).

De acordo com Biondi (2008), a promoção da educação ambiental é um benefício social, porque faz a população perceber a diferença entre áreas construídas e arborizadas, permitindo que se aprenda e perceba o meio ambiente e os processos naturais. Sendo assim, quanto mais o cidadão tem a oportunidade de utilizar esses espaços, mais valorizam e respeitam, desenvolvendo uma consciência ecológica.

## 2.2 PLANEJAMENTO DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS

Segundo Biondi e Althaus (2005), planejar a arborização de ruas é escolher a árvore certa para o lugar certo e fazer o uso de critérios técnico-científicos para o estabelecimento da arborização, sem desprezar as funções ou o papel que as árvores desempenham no meio urbano.

Para projetar a arborização de ruas é necessário dividir o planejamento em fases, sendo elas: seleção de espécies, implantação, manutenção e monitoramento.

Com relação à seleção de espécies, Biondi e Althaus (2005) afirmam que deve haver uma perfeita compatibilidade da árvore na calçada. A inadequação das espécies utilizadas na arborização são problemas que tem trazido como consequência custos crescentes na manutenção e reparos dos equipamentos urbanos, como: fiações elétricas, infra-estrutura subterrânea, calçamentos, muros, entre outros. Estes problemas são vistos com frequência e causam, na maioria das vezes, um manejo inadequado e prejudicial às árvores.

A escolha da espécie a ser plantada no ambiente urbano é o aspecto mais importante a ser considerado. Para isso é extremamente importante que seja considerado o espaço disponível e dependendo, a escolha ficará vinculada ao conhecimento do porte da espécie a ser utilizada (RODRIGUES *et al.*, 2002).

Biondi e Althaus (2005) afirmam que é necessário considerar características de desenvolvimento da espécie, podendo ser lento, moderado e rápido. Cada um destes tipos de desenvolvimento apresentam vantagens e desvantagens que devem ser observadas para escolha da espécie.

Para as autoras, a melhor forma de copa é aquela que pode ser mais preservada em sua característica específica e recuperada quando submetida à poda. Na seleção de espécies para implantação, a densidade e hábito da copa geralmente estão associados ao clima da cidade. Em cidades de clima frio, por exemplo, dá-se prioridade para espécies caducifólias (perdem as folhas em certo período do ano) sendo extremamente importantes para o aproveitamento do calor solar nos de inverno. Já em cidades com clima quente, as espécies de folhagem perene e densa são mais adequadas.

As espécies devem apresentar um sistema radicular pivotante para evitar o levantamento e a destruição de calçadas, asfaltos e muros de alicerces profundos; além de ter o tronco livre de ramificações até a altura de 1,80 metros. Deve-se dar preferência a espécies que não dêem flores ou frutos muito grandes; que apresentem resistência a pragas, doenças e poluição (espécies rústicas); que não possuam princípios tóxicos ou alérgicos, acúleos e espinhos; e de preferência que sejam nativas, pois já estão mais adaptadas às condições e climas locais (GREY; DENEKE, 1986; SANTOS, 1994; SANTOS; TEIXEIRA, 2001; BIONDI; ALTHAUS, 2005).

Difícilmente é encontrado um número razoável de espécies que atendam todos os quesitos elencados (SANTOS; TEIXEIRA, 2001). Existe uma grande dificuldade em selecionar espécies que apresentem todas as características desejáveis (crescimento, porte, sistema radicular, entre outras). Isto é devido às condições urbanas apresentarem diferenças quando comparadas ao ambiente rural. Na cidade, o espaço físico disponível para o desenvolvimento das árvores é reduzido pela presença de pavimentação, edificações e equipamentos urbanos e os solos sofrem compactação e deposição dos resíduos sólidos das construções.

De acordo com Milano (1994), as atividades referentes à implantação tratam da efetivação prática das propostas estabelecidas no planejamento, incluindo a produção de mudas e seu efetivo plantio, com todos os seus diversificados e detalhados procedimentos.

Muitos problemas que ocorrem com as árvores urbanas são ocasionados pelo baixo percentual de sobrevivência de mudas, desnutrição e seca, que podem torná-las susceptíveis ao ataque de pragas e doenças e falta de tratamentos culturais ainda no viveiro. Por conseguinte, a etapa de manutenção a qual compreende técnicas para manter as árvores vigorosas e saudáveis em observância a compatibilidade com o ambiente que foi implantada. Esta etapa inclui as atividades de poda de condução e manutenção, o controle fitossanitário e a remoção de árvores (MILANO; DALCIN, 2000; BIONDI; ALTHAUS, 2005).

Com relação à manutenção é importante a escolha de uma só espécie para cada rua, ou para cada lado da rua ou para certo número de quarteirões. Isso facilita o acompanhamento de seu desenvolvimento e as podas de formação e contenção, quando necessárias (MENEGUETTI, 2003; BORTOLETO, 2004; BIONDI; ALTHAUS, 2005).

Biondi e Althaus (2005) dividem as práticas de manutenção em medida preventiva caracterizadas pela adubação, podas de limpeza e tutoramento. As medidas remediadoras, atuam através de: dendrocirurgia; amarrações de árvores sujeitas a rachaduras no tronco, quebra, rompimento ou fratura de galhos principais do tronco; e ancoramento daquelas sujeitas à quebra. As medidas supressórias sugerem a eliminação da árvore por fatores relativos a danos irreparáveis causados por doenças, pragas ou ataque de erva-de-passarinho, risco de queda ou morte comprovada; a remoção de flores e frutos desagradáveis ou com princípios alérgicos ou ainda a remoção de árvores a pedido da população (BIONDI; ALTHAUS, 2005; GONÇALVES; STRINGHETA; COELHO, 2007).

É fundamental que haja um planejamento adequado, com definição dos objetivos e das possíveis metas qualitativas e quantitativas, pois se deve ter a clareza de que a inexistência de um plano a seguir e cumprir torna os processos de implantação e manejo da arborização puramente empíricos (MILANO; DALCIN, 2000).

Segundo Biondi e Althaus (2005) a fase de monitoramento estabelece a vigilância ao vandalismo relativo ao comportamento da população em obediência as

regras estabelecidas nos planos de arborização da cidade. Outro aspecto desta fase é apontar as necessidades de manejo e efetivar os objetivos da arborização.

Desse modo, para o monitoramento das árvores de rua é necessário conhecimento do patrimônio arbóreo existente na cidade e da situação atual da arborização, que é obtido com a realização dos inventários (MENEGUETTI, 2003; ROSSETTI; PELLEGRINO; TAVARES, 2010).

### 2.3 INVENTÁRIO DA ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS

Para Silva, Paiva e Gonçalves (2007) o inventário pode ser definido como uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma determinada área.

A realização dos inventários na arborização é essencial para localizar pontos para plantio, promover práticas de manejo e localizar riscos relacionados a árvores que estejam necessitando de reparos ou remoção (MILANO, 1984).

Segundo Miller (1997), um bom plano de manejo visa maximizar os benefícios da arborização e reduzir os custos públicos. Qualquer manejo de um dado recurso começa por um inventário.

Outras finalidades que podem ser relacionadas ao uso de inventários, seriam gerar informações a respeito da quantidade e do valor de árvores ou aumentar a eficiência dos serviços e ser utilizado para aumentar a consciência do público e da gestão pública acerca do valor da arborização (MILLER, 1997; SMILEY; BAKER, 1988).

Pivetta e Silva Filho (2002) afirmam que por meio do inventário da arborização ainda pode ser obtida a composição, os principais problemas de cada espécie, de cada rua ou ainda da cidade e fornecer informações para novos plantios e para adequação das práticas de manejo. A realização dos inventários serve para quantificar custos; identificar problemas passíveis de redefinição das diretrizes de manejo, programas de conscientização ou educação ambiental; e para divulgar os resultados obtidos, mostrando produtividade e buscando apoio da população.

De forma mais detalhada pode-se com a aplicação de inventários, monitorar a condição das árvores para prevenir problemas ao público e às construções,

servindo inclusive, como mecanismo legal na defesa ou promoção de ações jurídicas (MENEGUETTI, 2003).

Um dos aspectos mais importantes dos inventários da arborização é o fornecimento de uma contínua atualização das informações (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Os inventários florestais podem ser classificados quanto ao tipo, à forma de coleta, também com a abordagem da população no tempo estabelecendo previsões orçamentárias e quanto ao detalhamento se relaciona a quantidade de informações necessárias ao manejo das árvores urbanas.

Soares, Paula Neto e Souza (2006), afirmam que para cada uma das classificações acima descritas têm-se uma definição específica quanto ao tipo, podendo ser: inventário florestal contínuo; para planos de manejo; de sobrevivência, etc.

Na arborização urbana, os inventários contínuos têm o objetivo de verificar mudanças ocorridas na composição e crescimento das árvores urbanas em um determinado período de tempo. Estes inventários são realizados várias vezes e as mesmas árvores podem ser medidas, visando o preparo de um programa de gerenciamento das árvores e definir uma política de administração a longo prazo.

Já os inventários de sobrevivência são realizados após o plantio, para obter o percentual de falhas de sobrevivência das mudas no campo. E quanto ao detalhamento, os inventários podem ser: exploratório, de reconhecimento, e o inventário detalhado que permite que as informações sejam obtidas com alto nível de precisão (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2006), podendo ser aplicado na arborização urbana.

Quanto à forma de coleta ou abrangência pode ser realizado o censo (inventário 100%) ou amostragem. No primeiro são observados e medidos todos os indivíduos da população. No segundo são coletados dados de parte da população que seja representativa, fornecendo estimativas mais precisas e exatas de diferentes parâmetros populacionais.

Dessa forma, o critério de seleção da abrangência, precisão, detalhamento e do tipo de inventário, depende do tamanho da cidade, recursos disponíveis e a finalidade da avaliação (NUNES, 1992; MENEGHETTI, 2003).

### 2.3.1 Amostragem da Arborização de Ruas

O censo pode ser usado em cidades de pequeno porte ou com pouca arborização, uma vez que o tempo gasto para realização das coletas não é muito longo, representando custos menos elevados. No entanto, o procedimento mais comum em inventários florestais urbanos é a utilização da amostragem (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Os métodos de amostragem aplicados à arborização variam de acordo com os objetivos do inventário, dos recursos disponíveis, a área a ser inventariada, da tipologia florestal e sua variabilidade e da precisão requerida em torno da média (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2006; SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Dentre os processos de amostragem aplicados, têm-se: casual simples ou aleatório, estratificado, sistemático, por conglomerado, , probabilidade proporcional à predição, entre outras.

Com relação os processos de amostragem para a avaliação da arborização urbana, as primeiras pesquisas utilizaram a amostragem aleatória simples em levantamentos realizados nas cidades de Curitiba - PR e Maringá - PR (MILANO, 1984; 1987) e Recife - PE (BIONDI, 1985). Posteriormente, nas cidades de Piracicaba - SP (LIMA, 1993) e Bélem - PA (BRASIL, 1994) foram utilizadas a amostragem sistemática. Meneghetti (2003) utilizou na cidade de Santos – SP a amostragem sistemática simples e estratificada por bairro. Outros inventários são realizados atualmente, utilizando amostragem por ruas, quadras, quarteirões ou bairros.

De acordo com Milano (1994), em função das características locais e gerais da arborização das cidades a amostragem aleatória tem sido a mais comum. As características da cidade e os objetivos da avaliação definem o sistema a ser adotado.

A primeira providência quando se planeja um inventário é identificar a unidade amostral e a estrutura populacional. A unidade amostral pode ser uma rua, quadra, quarteirão, trechos de rua, um grupo de quarteirões, ou ainda pode ser resultado de um processo de divisão de áreas utilizando mapas da cidade ou área a ser inventariada (SILVA *et al.*, 2005).

Schreuder *et al.* (1993) afirmam que a unidade amostral deve ter um tamanho que possa incluir um número representativo de árvores, porém pequeno o suficiente para que o tempo gasto na coleta dos dados não seja tão alto e que não onere os custos do inventário.

A precisão do inventário dependerá da variabilidade da população representada nas unidades de amostra e da intensidade da amostragem empregada. Dentre as unidades de amostra existem tamanhos, formas e arranjos que representam melhor as diversas condições de variação da população, o que possibilita inventariar cada uma com maior precisão e custo reduzido (SOARES, 1980). Em relação ao formato, as unidades amostrais mais comuns são as quadradas e as retangulares.

Para Sanquetta *et al.* (2006) num inventário florestal em que se usa qualquer procedimento de amostragem deve-se buscar a exatidão de uma estimativa, ou seja, uma porção da população que será avaliada qualitativa e quantitativamente terá que fazer inferência para toda população, devendo ser representativa da mesma.

Sabe-se que os inventários demandam grande quantidade de recursos e, quanto maior o número de variáveis estudadas maior será o custo de realização desse inventário (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Desse modo, ao planejar o inventário deve-se evitar super dimensionamento na seleção de variáveis para que o produto final não esteja além do necessário (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

### 2.3.2 Variáveis que Compõem o Inventário da Arborização de Ruas

Das inúmeras variáveis a serem investigadas na avaliação da arborização urbana é necessário selecionar quais delas são importantes de acordo com os objetivos do inventário.

Existem duas categorias para alocação das variáveis, são elas: localização e características das árvores e características do meio físico (BIONDI; ALTHAUS, 2005; SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

### 2.3.2.1 Localização e Características das Árvores

Para localização das árvores na rua devem ser usados nomes de ruas, número dos estabelecimentos onde as árvores se localizam, nome do bairro e lado par ou ímpar da rua. Silva, Paiva e Gonçalves (2007) afirmam que esses parâmetros são de fundamental importância para o inventário e o cadastramento da arborização, pois, sem localização não pode se checar qualquer dano, tampouco efetuar as necessidades de manejo das árvores.

A localização das árvores pode ser feita através de um sistema de informações geográficas que permite que as variáveis de características das árvores sejam realocadas no banco de dados espacial, tendo como base a execução de cadastro das árvores geo-referenciadas.

O sistema de informações geográficas (SIG) é uma ferramenta geoespacial que podem fornecer em tempo útil a informação de localização eficaz para a gestão florestal urbana (WARD; JOHNSON, 2007).

As características das árvores no inventário se referem a identificar o nome vulgar e científico. Devem ser medidas: altura total, diâmetro de copa e diâmetro à altura do peito (DAP), para que sejam evitados conflitos com equipamentos urbanos (fiação, muros, calhas, etc.) e ainda é importante para o conhecimento do porte da árvore. As variáveis não precisam ter valores exatos, uma vez que, para arborização não se tem necessidade de determinação de volume, onde há ressalva quando o objetivo do inventário é acompanhar o crescimento para volume (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Segundo Biondi e Althaus (2005), como característica das árvores também é importante avaliar as condições do sistema radicular e condições fitossanitárias observando a presença de parasitas, fungos e insetos a fim de posteriormente tomar medidas corretivas necessárias e definir a susceptibilidade das espécies identificadas.

### 2.3.2.2 Características do Meio Físico

As características do meio físico que devem ser medidas são: a largura de ruas, calçadas e passeios. Com a realização do inventário essas medições são importantes para seleção das espécies. Se as espécies já estiverem plantadas nas

ruas, pode-se observar a compatibilidade do desenvolvimento da espécie com o meio urbano (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Biondi e Althaus (2005) ainda completam que em ruas sem recuo as espécies não devem apresentar grande diâmetro de copa a fim de não prejudicar tanto as construções quanto as árvores com práticas de poda, por exemplo.

As áreas de canteiro destinadas às árvores de ruas geralmente são pequenas para permitir o seu desenvolvimento e são constantemente alteradas pelo alagamento de ruas e reparos em linhas subterrâneas (BIONDI; ALTHAUS, 2005). A área do canteiro, considerada a área impermeável ou livre de pavimentação, se grandes, conferem benefícios ao desenvolvimento das espécies.

Em inventários de arborização de ruas as distâncias da árvore ao meio-fio e da construção exercem a função de compatibilizar a espécie com o porte, reduzindo conflitos com redes de distribuição de energia elétrica, iluminação e sinalização (MILANO, 1994; BIONDI; ALTHAUS, 2005; SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Para Silva, Paiva e Gonçalves (2007), a posição das árvores em relação à fiação, redes subterrâneas e iluminação determinam a compatibilidade ou incompatibilidade com o objetivo de planejar a arborização de forma segura evitando conflitos.

Nas calçadas com fiação aérea são recomendadas somente árvores de pequeno e médio porte. As árvores devem situar-se o mais longe possível de construções e não tão próximas ao meio fio (BIONDI; ALTHAUS, 2005).

O espaçamento de plantio e o espaçamento entre copas são dois parâmetros importantes para o microclima, influenciando a intensidade de sombra e a circulação de vento. No entanto, nas medições do espaçamento entre copas feitas com trena apresenta custo de mão-de-obra relativamente alto (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

Biondi e Althaus (2005) afirmam que a distância entre as árvores deve ser de acordo com o seu porte natural e o objetivo da arborização. Quando se deseja formar um túnel de árvores nas ruas, é recomendado espaçamento menor ou igual ao raio de projeção da copa e o alinhamento deve ser simétrico.

Os dados obtidos por meio dos inventários permitem qualificar a árvore, e propor as práticas de manejo cabíveis, como: a necessidade de execução de podas, remoção, tutoramento e dendrocirurgia, entre outros (TAKAHASHI, 1992; BIONDI; ALTHAUS, 2005).

O cruzamento das informações sobre o meio físico, localização e características das árvores possibilita o gerenciamento da arborização de ruas.

#### 2.4 PROCESSAMENTO INFORMATIZADO E ANÁLISE DE DADOS DA ARBORIZAÇÃO

A quantidade de informações necessárias para o sistema de monitoramento e manejo requer a realização de inventários de arborização baseado em procedimentos informatizados (THURMAN, 1983).

As informações adquiridas no inventário são usadas para o planejamento paisagístico, escolha de espécies para plantio, na organização de práticas silviculturais, manejo, avaliação e planejamento departamental e relações públicas (GERHOLD; STEINER; SACKSTEDER, 1979). Sendo assim, é indispensável que essas informações estejam organizadas por meio de um sistema computadorizado (TAKAHASHI, 1992).

Grainger e Thompson (1983) afirmam que a informatização dos dados tornou possível o acesso, análise, correção e armazenamento de grande quantidade de dados, com alta velocidade e baixo custo. Esta tecnologia dará ao silvicultor urbano o melhor instrumento para o planejamento e manutenção necessários ao controle da urbanização (MAGGIO, 1983).

De acordo com Murgas (1981), os sistemas computadorizados auxiliam o planejador nas decisões de forma rápida e eficiente, reduzindo perdas de tempo e minimizando os custos de manutenção.

Adam *et al.* (2001) ressaltam que o custo de implantação de um sistema de gerenciamento e controle informatizado é imensamente menor que o custo futuro de modificação dos espaços públicos devido à falta de planejamento.

Os mesmos autores constataram que, mesmo realizando um grande trabalho de campo, se os resultados estivessem em tabelas não digitais, em alguns anos as informações estariam obsoletas e poucos saberiam sobre o real estado de conservação da arborização.

A existência de inventários quali-quantitativos com cadastramento informatizado da arborização urbana (espécie, rua, tamanho, idade, condição fitossanitária e manutenções realizadas) é imprescindível para o conhecimento das árvores existentes (LEAL, 2007).

Podem ser encontrados na literatura softwares que foram desenvolvidos para fins de informatização de dados oriundos da arborização. Em Silva, Paiva e Gonçalves (2007) muitos desses sistemas computadorizados são descritos, entre eles: o Access®, City Trees!Lite® e os mais antigos SNAPPY e UTMS II. Os autores mencionam que existem trabalhos de pesquisa e desenvolvimento de softwares na área de arborização, no Brasil, mas em sua maioria são desenvolvidos para solucionar problemas de localidades específicas sem potencial para uso geral e não são comercializados.

Atualmente não se admite outra forma de armazenar dados de inventário se não por meio de um sistema computadorizado (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2007).

A atualização e manipulação de arquivos não digitais sobre a arborização é difícil e demorada, justificando a implantação dos sistemas de geoinformação (ADAM *et al.*, 2001).

Os métodos tradicionais de realização de inventários com coletas de dados em campo geralmente têm muita informação. Com a ampliação da silvicultura urbana a gestão das árvores de rua necessita-se de informações dinâmicas e abrangentes sobre a qualidade dessas árvores. Por este motivo, o uso das geotecnologias produzirá informações com rapidez e eficácia, facilitando o gerenciamento da floresta urbana (McPHERSON *et al.*, 1997; KONTOES *et al.*, 2000; WARD; JONHSON, 2007).

Embora muito escasso, estão sendo aplicados em recentes pesquisas o cadastro e informatização de dados da arborização por meio de Sistemas de Informações Geográficas.

Aliado à informatização dos inventários, alguns estudos retratam a utilização de um sistema georreferenciado que permita maior agilidade na atualização dos dados e maior eficiência nas tarefas de modo a localizar facilmente as árvores em campo, como por exemplo: o gerenciamento da arborização na área do campus UFMG utilizando ferramentas SIG (FRANCO, 2006) e um sistema de informações para suporte espacial e de decisões à gestão da arborização urbana no município de Guarapuava, Paraná (OLIVEIRA FILHO; SILVA, 2010).

Torna-se imprescindível a utilização de sistemas de geoinformação no planejamento da arborização urbana, os quais permitem cruzar informações oriundas dos inventários, organizar e padronizar os dados, conferindo maior agilidade na visualização das informações e na tomada de decisões.

## 2.5 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS RECURSOS AMBIENTAIS

Sousa (1996) afirma que em um país de dimensões continentais como o Brasil, com carência de informações, o geoprocessamento apresenta-se com enorme potencial de uso.

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias que integram as fases de coleta, o processamento e uso de informações relacionadas ao espaço físico, seus cruzamentos, análises e produtos. As áreas que se servem das tecnologias de Geoprocessamento têm, em comum, o interesse por entes de expressão espacial, sua localização ou a distribuição espacial de seus atributos (MARTINS, 1994; ASSAD; SANO, 1998).

Nesse sentido, Dainese (2001) afirma que o geoprocessamento converte informações do mundo real para o sistema computacional. Esta conversão é feita sobre bases cartográficas através de um sistema de referência apropriado. O geoprocessamento é destinado ao processamento de dados referenciados geograficamente (georreferenciados) desde a sua obtenção até os seus produtos, na forma de mapas, arquivos digitais ou relatórios.

Entre as tecnologias de geoprocessamento destacam-se: sensoriamento remoto, cartografia, fotogrametria, sistema de informações geográficas e topografia.

A utilização de técnicas de geoprocessamento, composta principalmente por SIG é uma alternativa para melhorar a gerência dos recursos ambientais. As áreas que mais tem aplicado esta tecnologia são: as administrações municipais, estaduais e federais; concessionárias de energia, água e telefonia; saúde pública; planejamento de vendas, distribuição e transportes; meio ambiente, área florestal e agrícola (FRANCELINO; FERNANDES FILHO, 2004).

O geoprocessamento permite detectar as variadas dimensões e espaçamentos encontrados no espaço urbano, que apresenta uma composição extremamente complexa, formada por edifícios, construções horizontais, parques, estacionamentos, sistema viário, entre outros, construídos com diferentes materiais (KURKDJIAN, 1990).

Para aplicação do geoprocessamento em estudos ambientais é necessário adquirir bases cartográficas, que constituem importante ferramenta para que estas análises possam ser realizadas.

### 2.5.1 Bases Cartográficas – Conceito e Importância

A implementação do geoprocessamento no Brasil e em muitas partes do mundo, geralmente depara-se com um problema crucial que é a falta de dados, principalmente no tocante à base cartográfica (OLIVEIRA, 2005).

Lazzarotto (2005) afirma que o termo ‘base cartográfica’ está associado ao uso que se faz de um conjunto de documentos cartográficos para um determinado fim. Entende-se por ‘base cartográfica’ o material provedor de informações cartográficas e que são relevantes para um determinado fim, ou seja, para a execução de um determinado serviço ou para a construção de um novo produto cartográfico.

De acordo com ABNT (1998), base cartográfica é:

“O conjunto de cartas e plantas integrantes do Sistema Cartográfico Municipal que, apoiadas na rede de referência cadastral, apresentam, no seu conteúdo básico, as informações territoriais necessárias ao desenvolvimento de planos, de anteprojetos, de projetos, de cadastro técnico e imobiliário fiscal, de acompanhamento de obras e de outras atividades que devam ter o terreno como referência”.

Com relação à disposição de bases cartográficas a situação é considerada em cinco níveis: falta de dados; falta de dados digitais; falta de dados digitais acessíveis; falta de dados digitais acessíveis adequados ao Geoprocessamento e confiáveis; falta de dados digitais acessíveis adequados e atualizados (PEREIRA, 1999).

Menezes e Cruz (1996) afirmam que a inexistência de conhecimentos mínimos resulta em problemas no contexto do geoprocessamento atual, sendo:

- a) ausência de bases cartográficas digitais de referência, que forneçam o necessário suporte cartográfico aos diversos projetos de Geoprocessamento; e,
- b) desconhecimento e despreparo em cartografia por parte das equipes que estão envolvidas com Geoprocessamento.

Esses dois fatores reunidos já fornecem razões suficientes para a existência de problemas, que irão fatalmente afetar a qualidade das representações cartográficas geradas pelo Geoprocessamento.

Uma base cartográfica, para fins de engenharia, pode ser entendida como a representação de uma região do território no que diz respeito ao relevo, à drenagem natural e ao sistema viário, agregando outras informações do ambiente natural ou de fatores antrópicos (IODETA; CINTRA, 2003).

O avanço tecnológico na representação do espaço possibilitou não somente a ampliação do uso de informações cartográficas já existentes (cartas planialtimétricas e levantamentos aerofotográficos) como também a integração dessas com novas tecnologias tais como os sistemas de posicionamento global – GPS. Atualmente, sensores sofisticados sejam aerotransportados ou satélites utilizados para a obtenção de imagens, *scanners* de alta resolução que permitem a transformação de cartas em papel em formato digital aumentam a quantidade de dados analisados, de forma a permitir um melhor entendimento dos processos naturais e antrópicos em escalas mais amplas (TOLEDO; FISH, 2006).

Para Ishikawa (2001) o tipo de base cartográfica depende das necessidades que o originaram e o próprio usuário impõe a necessidade de que seja alcançado um elevado nível de confiança do material resultante do processo cartográfico, o que só é possível por meio da utilização de um processo de controle de qualidade.

A qualidade a ser alcançada dependerá de vários fatores, dentre os quais se podem citar o mercado para o qual o produto é destinado, o profissional que o produz, o recurso disponível para a produção, o tipo de administração e os materiais, máquinas e métodos empregados (PRADO *et al.*, 2007).

Iodeta e Cintra (2003) afirmam que qualquer atividade de planejamento que tenha como referência um território, deve fazer uso de bases cartográficas para seus estudos.

As diversas pesquisas realizadas para a atualização de produtos cartográficos têm sido de grande importância no planejamento territorial e ambiental, gestão do território e projetos de engenharia. Somam-se a isto os avanços tecnológicos nas áreas de Cartografia, Sensoriamento Remoto e Fotogrametria (PRADO *et al.*, 2007).

## 2.5.2 Definição e Potencialidades das Fotografias Aéreas

As fotografias aéreas são fotografias do terreno obtidas por câmeras fotográficas instaladas em aeronaves, com filmes variados que podem produzir fotos em branco e preto, coloridas, infravermelho e ultravioleta. Dependendo da posição do eixo da câmera em relação ao solo, podem ser verticais ou oblíquas. As fotografias aéreas convencionais, mais utilizadas e disponíveis, são em branco-e-preto e verticais (GOMES, 2009).

Segundo Carver (1985), o uso de fotografias aéreas para coletar e registrar informações são uma das mais importantes contribuições para o planejamento de uso de terra. A fotografia aérea desempenha um papel relevante no estudo dos recursos naturais de uma área (MARCHETTI; GARCIA, 1989).

Existem referências da utilização de fotografias aéreas para o estudo de áreas urbanas desde 1923. No entanto, as aplicações sistemáticas ocorreram após a Segunda Grande Guerra Mundial. Depois dos anos 50, alguns trabalhos introduziram a fotointerpretação no estudo de condições socioeconômicas de áreas residenciais urbanas (GREEN, 1957; GREEN; MONIER, 1959).

Nos últimos anos foram desenvolvidos vários estudos, principalmente norte-americanos, utilizando sensoriamento remoto e SIG para o inventário e manejo de áreas verdes. A grande vantagem dessas tecnologias é obter dados visuais e poder relacionar os mais variados dados espaciais, de diferentes gêneros, com dados alfanuméricos, obtendo respostas integradas para problemas urbanos e rurais, de maneira rápida e econômica, proporcionando uma experiência de conhecimento holístico sobre as áreas avaliadas (SILVA FILHO, 2003).

Souza e Costa (1998) afirmam que as fotografias aéreas são fontes importantes de informação sobre o espaço urbano e podem fornecer subsídios à análise deste processo. A sua interpretação permite a visualização e identificação dos diferentes elementos que constituem um espaço urbano.

Entre os elementos disponíveis para facilitar a interpretação florestal, a escala da fotografia aérea deve ser considerada como um fator importante (GARCIA, 1982).

De acordo com Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF (1993), as fotografias aéreas estão entre as principais fontes de dados que alimentam um SIG na área florestal.

Durante a identificação de espécies, Pope (1957) citado por Schuler (1995) encontrou percentuais de acerto com uso de fotografias aéreas com escalas diferentes, sendo o acerto de 20% na escala de 1:20.000 e 1:10.000 e 1:5.000 acerto de 82%; e com as fotografias na escala 1:2.500 atingiu 92% de árvores corretamente identificadas.

Disperati *et al.* (2007) afirma que no setor florestal a obtenção de informações detalhadas da floresta para dar suporte às práticas de manejo florestal e outras atividades, referentes a variáveis das árvores e dos povoamentos (composição de espécies, contagem, diâmetro médio e densidade das copas), podem ser obtidas através de fotografias aéreas de grandes escalas (maiores do que 1:5.000).

A alta resolução, com acentuada definição espacial, permite observar a parte superior da árvore em detalhes, incluindo suas copas, galhos, partes sombreadas entre os galhos, dentre outros (GOUGEON<sup>1</sup> (2000) citado por DISPERATI *et al.*, 2007).

Ampliando o uso de geotecnologias em áreas urbanas, pode-se obter sólidas ferramentas para o planejamento, inventário e monitoramento da arborização urbana (KURIHARA; ENCINAS, 2003). Nesta perspectiva, as ortofotos ou ortoimagens podem ser usadas em diversas análises espaciais.

Jensen (2009) afirma que ao longo das últimas décadas houve um aumento no uso de ortofotos. Planejadores e profissionais usuários de SIG usam ortoimagens como fundo sobre o qual se sobrepõe informações temáticas. A exemplo têm-se as linhas divisórias de propriedades imobiliárias, redes de drenagem, de serviços e infraestrutura, entre outros.

As ortofotos são produtos cartográficos que reúnem as vantagens da fotografia aérea com as da cartografia vetorial. Tem uma escala constante e nelas podem ser medidos diretamente ângulos, distâncias e áreas (com as limitações inerentes à projeção cartográfica utilizada). Por estas características, as ortofotos são uma excelente base cartográfica para Sistemas de Informações Geográficas, sendo também utilizados em diversos tipos de planejamento em que seja necessário

---

<sup>1</sup> GOUGEON, F.A. Towards semi-automatic forest inventories using individual tree crown (ITC) recognition. **Technology Transfer Note**, Victoria, n.22, p.1-6, 2000.

rigor espacial, como por exemplo, estudos de planejamento urbano, de gestão de recursos agrícolas, entre outros (SILVA ANTÔNIO, 2004).

### 2.5.3 Sistema de Informações Geográficas (SIG) no Gerenciamento da Arborização de Ruas

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são aplicativos constituídos de cinco módulos que permitem as operações de entrada e verificação de dados, armazenamento e gerenciamento de banco de dados, apresentação e saída de dados, transformação de dados e interação com o usuário (BORROUGH, 1998).

De acordo com Câmara *et al.* (1996), o SIG pode ser definido como um conjunto de tecnologias que integram as fases de coleta, o processamento e uso de informações relacionadas ao espaço físico, seus cruzamentos, análises e produtos.

A relação entre os principais componentes implementados de forma distinta e que, uma vez conjugadas, têm-se uma estrutura geral de um SIG, está apresentada na Figura 2.3.

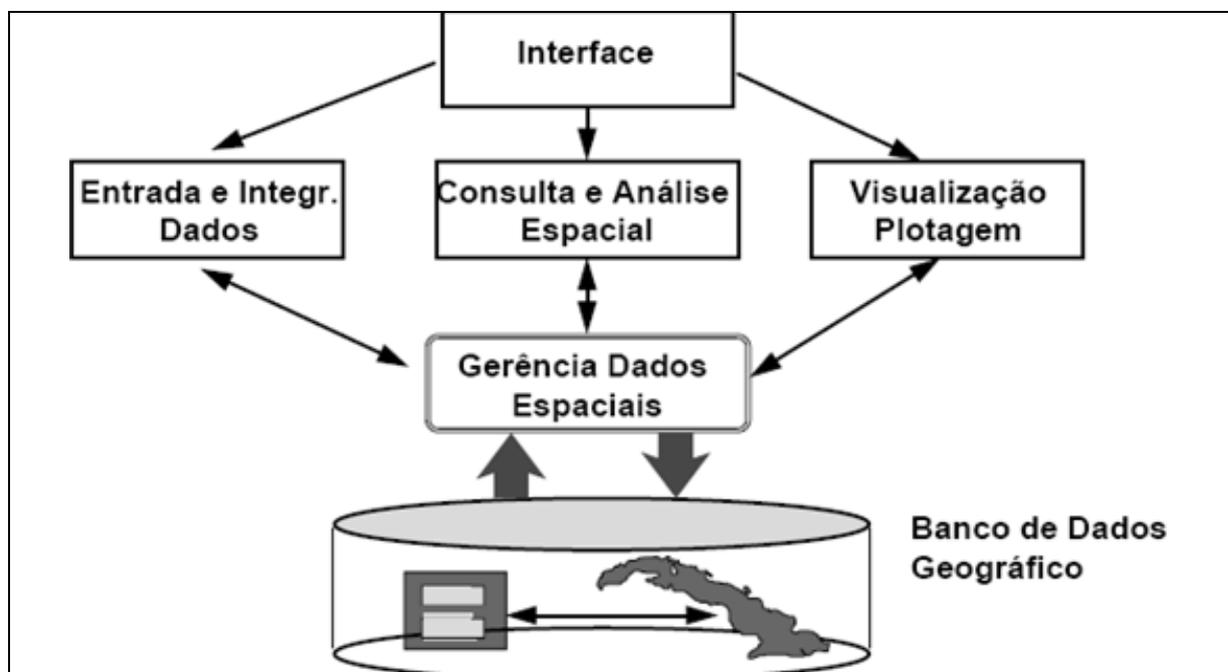


FIGURA 2.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS MÓDULOS QUE COMPÕEM UM SIG  
 FONTE: CÂMARA *et al.* (1996)

Esses tipos de sistema lidam com informações multidisciplinares, em que a heterogeneidade e complexidade dos diversos temas são comuns.

Ferrari Júnior (1997) ressalta que um SIG não resolve nada sozinho, não toma decisões e nem reduz custos. Os SIG's viabilizam projetos, facilitam o trabalho, provêem subsídios a decisões.

O SIG também poderá viabilizar a democratização de informações técnicas, permitindo à população, de modo efetivo, participar da gestão do espaço urbano ou rural (LOBÃO, 1996).

Para Santos, Pina e Carvalho (2000) os benefícios mais comuns do SIG são:

- a) Melhor armazenamento e atualização de dados;
- b) Recuperação de informações de forma mais eficiente;
- c) Produção de informação mais precisa;
- d) Rapidez na análise das alternativas; e
- e) Vantagem de decisões mais acertadas.

Os referidos autores identificam ainda os objetivos que, de um modo geral, podem ser alcançados com a implementação de um SIG:

- a) Visualização das informações;
- b) Organização e georreferenciamento dos dados;
- c) Integração de dados vindos de diversas fontes;
- d) Análise dos dados; e
- e) Predição de ocorrências.

As aplicações do SIG em pesquisas de planejamento urbano e rural permitem interpretar os recursos naturais e suas diversas características, e segundo BOLFE *et al.* (2004) aplicar metodologias diferenciadas visando levantamento e planejamento dos recursos florestais.

O uso do SIG na correlação de objetos urbanos (rede elétrica, arborização urbana, sistema de saneamento subterrâneo, sinalização, entre outros) com a localização e agrupamento de informações sobre cada objeto, constituem o planejamento e gerenciamento dos serviços urbanos (FERRARI JÚNIOR, 1997).

A aplicação do SIG em qualquer inventário do mobiliário urbano requer atualizações constantes, pois, edificações são construídas e demolidas e ruas pavimentadas, ampliadas ou reduzidas. É sabido que essas alterações nas cidades modificam a composição da arborização ao longo do tempo e os dados obtidos em inventários estarão defasados e não corresponderão à realidade em campo. Dessa maneira, as constantes coletas de campo implicam em investimentos financeiros, o

que poderá ser um empecilho para que tais atualizações sejam realizadas com regularidade (ROLLO *et al.*, 2007).

Sendo assim, o SIG é uma ferramenta complementar que melhora os procedimentos de mapeamento e monitoramento, subsidiando com conhecimentos espaciais as tarefas de manejo dos recursos florestais (FRANKLIN, 2001).

Silva Filho (2003) afirma que cada vez mais atividades relacionadas ao planejamento ambiental passaram a ser facilmente exercidas em um ambiente SIG, para simular a realidade do espaço geográfico, integrar as informações espaciais ou gerar mapas.

A partir da análise espacial dos dados torna-se possível gerar informações espaciais que venham gerenciar as ruas arborizadas, disponibilizando informações à comunidade e órgãos/instituições de fomento a esse serviço, com intuito de tonificar o conhecimento técnico-científico ao que discerne a arborização urbana.

### 2.5.3.1 Representação Espacial: Vetorial ou Matricial

A representação de dados espaciais em um SIG pode ser feita através de dois tipos: o vetorial e ou matricial.

De acordo com Schuch (2006), no tipo vetorial, os limites das feições são definidos por uma série de pontos que se agrupam formando linhas ou polígonos. Os pontos são codificados com um par de números representando as coordenadas X e Y em sistemas como latitude /longitude ou em grade de coordenadas UTM.

Na representação vetorial um elemento ou geo-objeto é representado por pontos, linhas, áreas ou polígonos, conforme ilustrado na Figura 2.4.

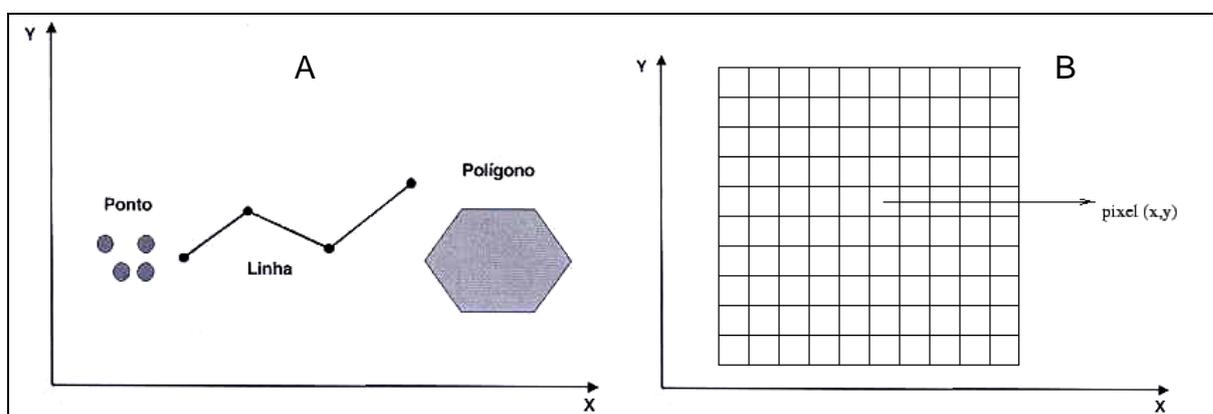


FIGURA 2.4 – ELEMENTOS DA REPRESENTAÇÃO VETORIAL (A) E MATRICIAL (B)

No tipo matricial, a área de estudo é dividida em uma malha de células ou pixels nas quais é registrada a condição ou o atributo da superfície terrestre naquele ponto. A cada célula é dado um valor numérico que pode representar tanto o identificador da feição quanto atributos qualitativos e quantitativos (BORROUGH, 1998). Embora os dados que armazenamos nestas células de grade não necessariamente correspondam a um fenômeno que possa ser visto no ambiente, as grades de dados podem ser pensadas, elas próprias, como imagens – imagens de algum aspecto do ambiente – ou como planos – cada um dos quais armazenando um tipo de informação sobre a região mapeada – que podem se tornar visíveis através do uso de um dispositivo de visualização matricial (BORROUGH, 1998).

Para Schuch (2006), estruturas matriciais têm maior poder analítico na análise de espaço contínuo do que as estruturas vetoriais e são mais aptos para o estudo de dados que variam continuamente no espaço, como o relevo e temperatura por exemplo. Assim as estruturas matriciais são muito rápidas na avaliação de problemas que envolvem combinações matemáticas de dados em múltiplos planos e são ótimos para avaliação de problemas ambientais. Além disto, como as imagens de satélite empregam uma estrutura matricial, a maioria dessas estruturas pode incorporar estes dados e oferecer plena capacidade de processamento de imagens. As estruturas matriciais são mais orientadas para análise (SCHUCH, 2006).

Ainda segundo os autores, as estruturas vetoriais são mais orientadas para o gerenciamento de banco de dados. Estas estruturas são mais eficientes no armazenamento de dados de mapas porque armazenam apenas os limites das feições e não o que está dentro desses limites. Levam vantagens, em relação à estrutura matricial, em problemas que envolvem movimentos sobre uma rede. Eastman (1999) e Batty *et al.* (1999) ressaltam que as estruturas vetoriais são úteis em aplicações municipais onde predominam questões de produção de mapas para engenharia e gerenciamento de banco de dados. A união das duas formas de representação, tanto vetor quanto matricial, permite a melhor interpretação e análise de variáveis para o gerenciamento do espaço estudado.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Curitiba, capital do estado do Paraná, localiza-se na região Sul do Brasil e está situado a leste do Estado, na latitude  $25^{\circ}25'40''\text{S}$  e longitude  $49^{\circ}16'23''\text{W}$  (Marco Zero – Praça Tiradentes) (Figura 3.1). Tem como limites os municípios de Colombo e Almirante Tamandaré, ao norte; Campo Magro, a noroeste; Campo Largo, a oeste; Araucária, a sudoeste; Fazenda Rio Grande, ao sul; São José dos Pinhais, a leste; e Pinhais, a nordeste (INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA, 2009).

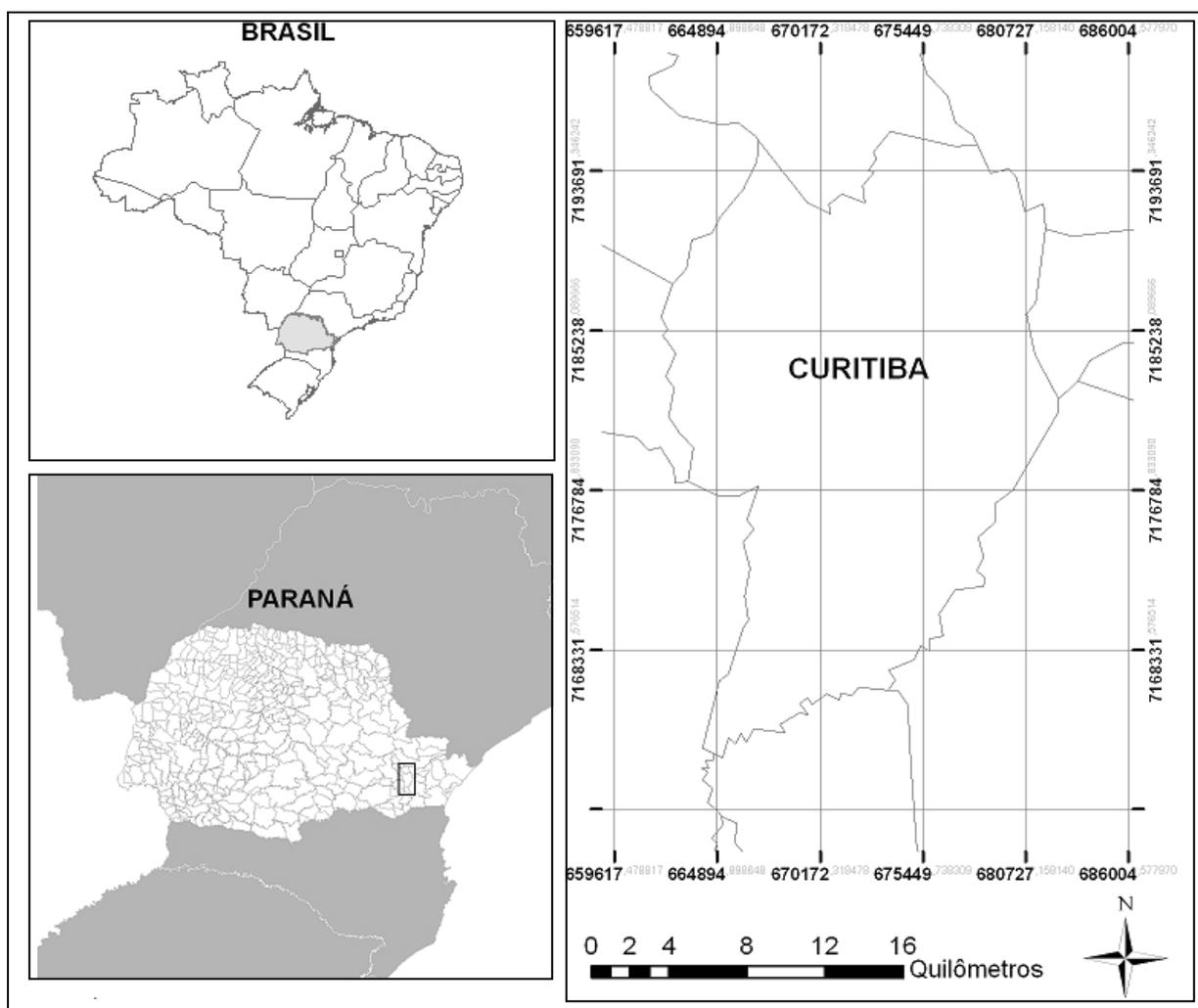


FIGURA 3.1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo a classificação de Köppen, a cidade possui clima do tipo Cfb, definido como clima temperado (ou subtropical) úmido, mesotérmico, sem estação seca, com verões frescos, e invernos com geadas freqüentes e ocasionais precipitações de neve. As médias de temperatura são de 20,87 °C no verão (período 2000/2009) e 14,77 °C no inverno (período de 2000 a 2009). A altitude média é de 934,6m acima do nível do mar e a área do município de 435 km<sup>2</sup>, com extensão de 35 km no sentido norte-sul e 20 km no sentido leste-oeste (IPPUC, 2009).

A cidade de Curitiba está situada no Primeiro Planalto Paranaense e possui uma topografia ondulada de colinas suavemente arredondadas, caracterizada por uma série de terraços escalonados dispostos em intervalos altimétricos. No tocante a geologia encontram-se sedimentos da formação Guabirotuba - que ocorreram durante o Quaternário Antigo ou Pleistoceno - de origem flúvio-lacustre, que preencheram uma antiga e grande depressão, formando a chamada bacia de Curitiba (IPPUC, 2009).

A divisão político-administrativa do município de Curitiba origina 75 bairros que estão agrupados em nove regionais administrativas (Figura 3.2): Bairro Novo, Boa Vista, Boqueirão, Cajuru, CIC, Matriz, Pinheirinho, Portão e Santa Felicidade (IPPUC, 2009). Estima-se que a cidade de Curitiba tenha população de 1.678.965 habitantes (IBGE, 2010).

A vegetação de ocorrência natural é Floresta Ombrófila Mista e Estepe Gramíneo-Lenhosa (RODERJAN *et al.*, 2002). A cobertura vegetal foi estimada em 12.994,50 (VIEIRA, 2006) equivalente a 30% do território municipal.

A regional administrativa com maior parcela da classe cobertura vegetal é Santa Felicidade (21,49%), seguida de Bairro Novo (17,11%), Pinheirinho (16,8%), CIC (16,32%) e Boa Vista (14,26%). As demais regionais apresentam percentuais bem menores: Boqueirão (6,23%), Cajuru (3,44%), Matriz (2,36%) e Portão (1,99%).

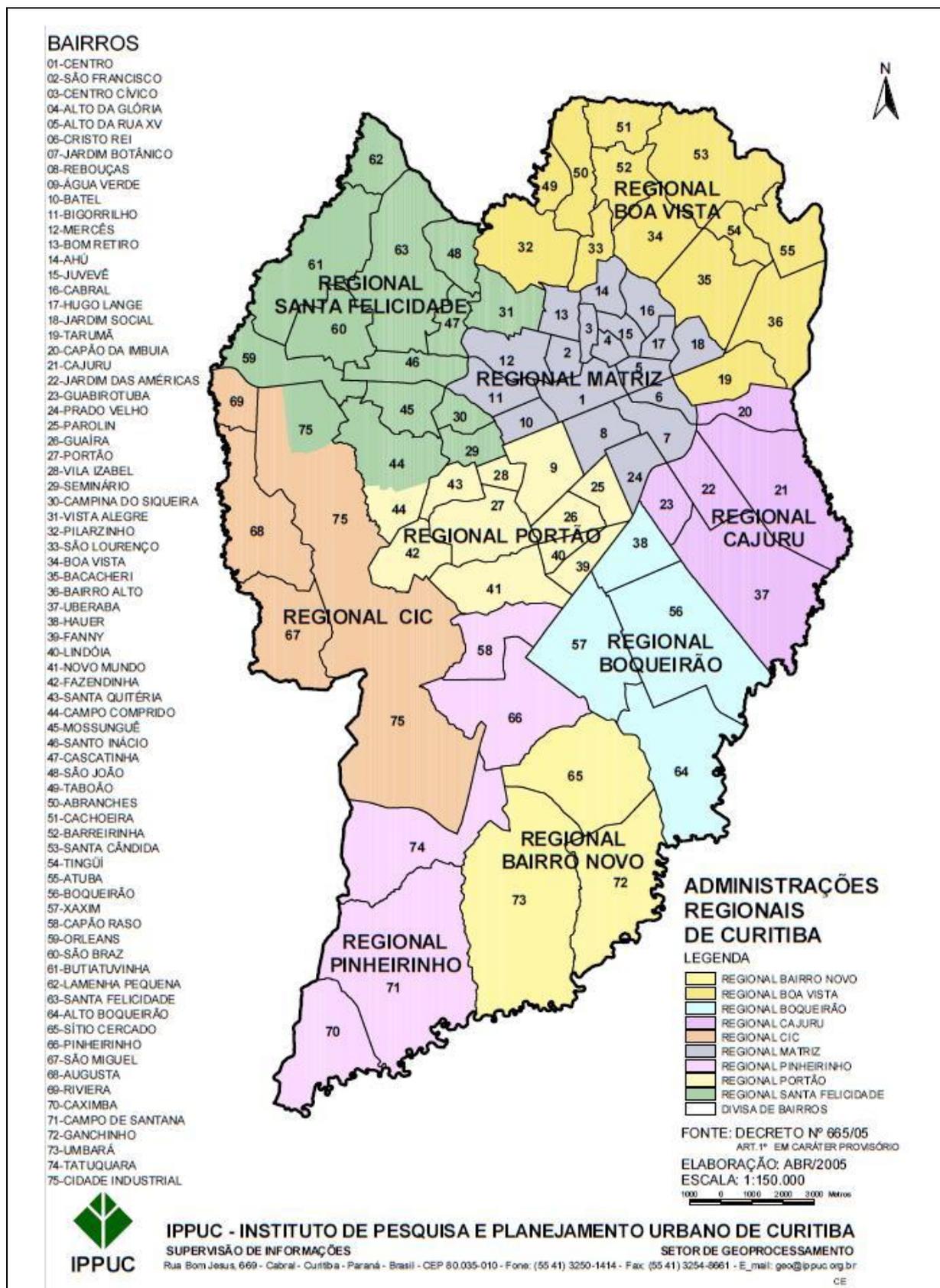


FIGURA 3.2 – DIVISÃO DE BAIRROS E REGIONAIS ADMINISTRATIVAS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA/PR

FONTE: IPPUC (2009)

### 3.2 BASE MATERIAL METODOLÓGICA

A base material metodológica foi composta por equipamentos, softwares e bases cartográficas. Especificamente foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Notebook modelo SIM+ 1440, processador Intel Core™ 2 Duo T5800, 3 Gigabyte de memória, disco rígido de 320 Gigabytes e gravador de CD/DVD-R;
- b) GPS *eTrex H – Garmin™* ;
- c) Programa *ArcView GIS 9.2*, desenvolvido pela ERSI (*Environmental Systems Research Institute*);
- d) Aplicativo Microsoft Excel 2007;
- e) Ortofotos do município de Curitiba/PR, cedidas pelo IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba), com escala de aproximadamente 1:1.000;
- f) Mapa de arruamento de Curitiba, contendo ruas, quadras e bairros em formato vetorial (.dxf) cedido pelo IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba;
- g) Mapa vetorial de limites do país, estado e cidade da área de estudo, disponíveis em IBGE (2010);
- h) Trena de 50 metros e fita métrica de 1,50 metros;
- i) Pacote Estatístico *Statgraphics Plus Professional*.

### 3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para definir os procedimentos metodológicos e realizar a análise posterior dos resultados, algumas etapas foram desenvolvidas. O fluxograma apresentado a seguir (Figura 3.3) resume essas diversas etapas.

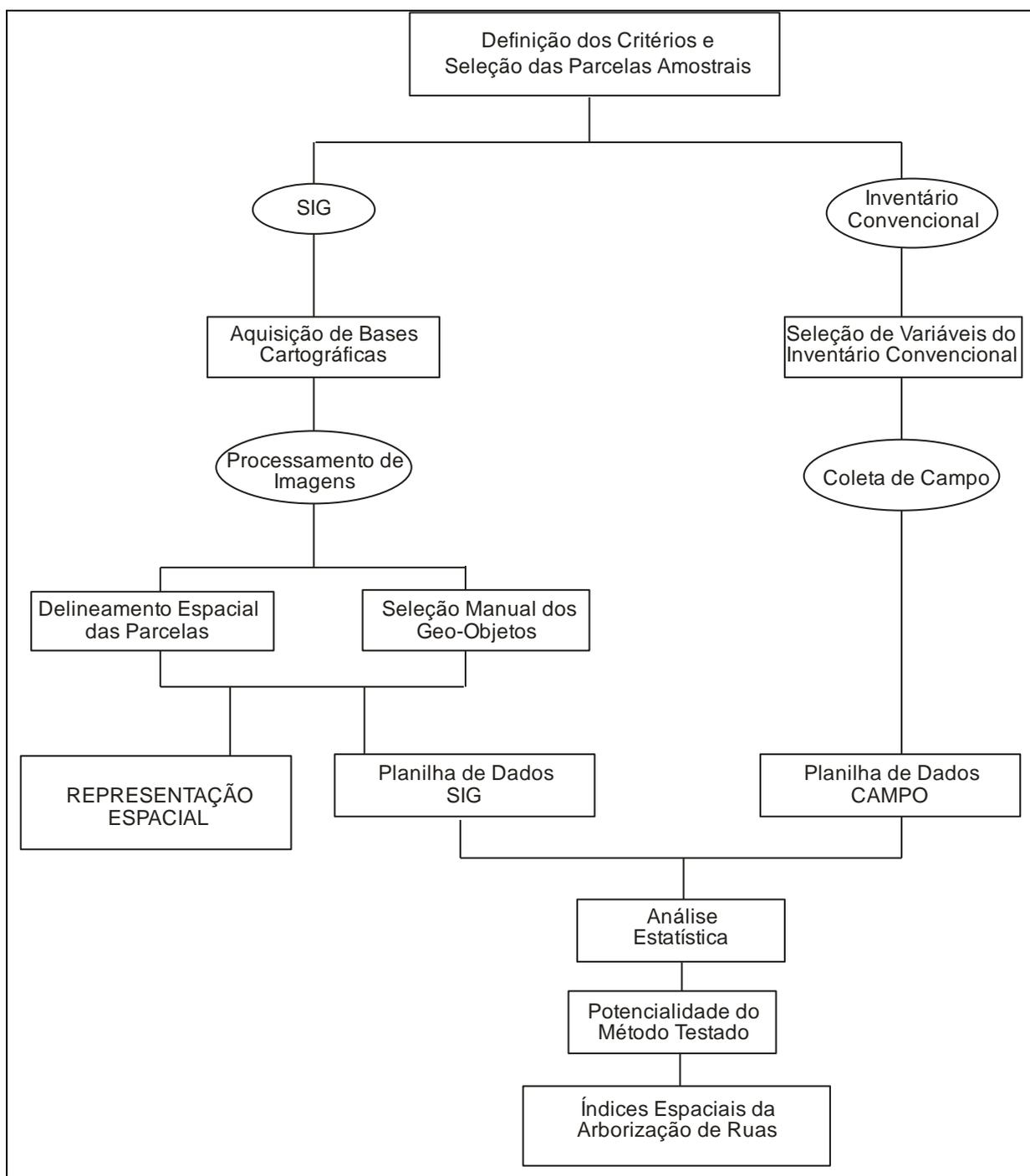


FIGURA 3.3 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS METODOLÓGICAS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SIG NOS INVENTÁRIOS DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS

### 3.3.1 Definição dos Critérios e Seleção das Unidades Amostrais

A presente pesquisa seguiu da obtenção de variáveis do inventário da arborização de Ruas incorporando o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG). A seleção das unidades amostrais (u. a.) teve como base a análise qualitativa e quantitativa da arborização de Curitiba realizado por Milano (1984).

Milano (1984) subdividiu o mapa da cidade de Curitiba, com escala de 1:20.000, utilizando 15 unidades amostrais com dimensão de 500 X 500 metros.

Baseado nas 15 (quinze) unidades amostrais utilizadas por Milano (1984), foram selecionadas 03 (três) unidades amostrais (Figura 3.4). O número de unidades amostrais utilizadas nesta pesquisa foi devido à limitação de ortofotos cedidas pelo IPPUC.

As u.a. escolhidas foram as que apresentaram maiores quantidades de árvores e maior diversidade de espécies no inventário realizado por Milano (1984), sendo elas:

1. Amostra Bigorriho;
2. Amostra Água Verde; e
3. Amostra Jardim Social.

Todas as informações das árvores que fazem parte destas 03 amostras foram atualizadas com o inventário realizado em 2010.

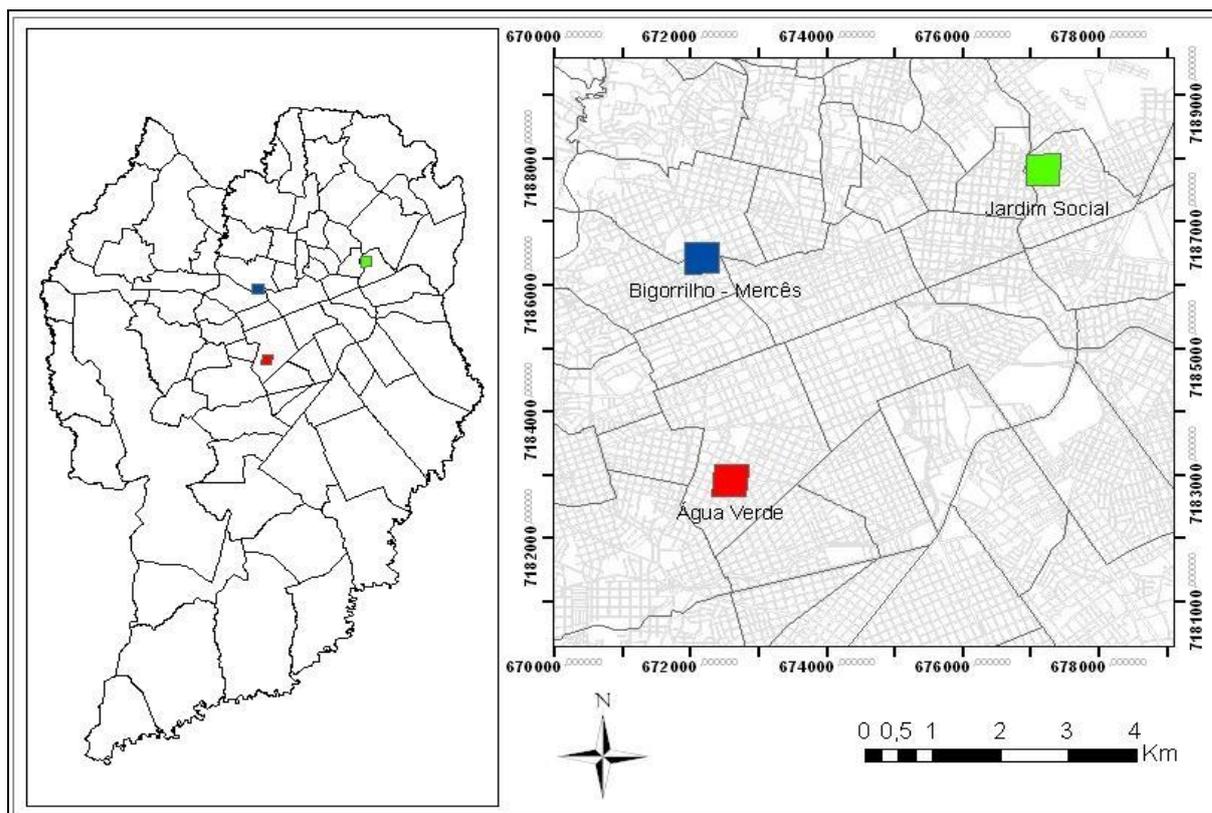


FIGURA 3.4 – LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS ESCOLHIDAS PARA CONSTRUÇÃO DE BASES CARTOGRÁFICAS E ANÁLISE DA ARBORIZAÇÃO VIÁRIA

### 3.3.1.1 Unidade Amostral Bigorriho

Esta unidade amostral possui área de abrangência entre dois bairros, Bigorriho e Mercês (Figura 3.5) ambos situados na regional Matriz. O Bairro Bigorriho possui uma área de 350,30 hectares contando com uma população de 30.065 habitantes. Já o bairro Mercês também situado na mesma regional apresenta área de 327,60 hectares e 14.191 habitantes (IPPUC, 2010).

Este logradouro está situado na Zona Residencial Mercês (ZR-M). Apresentam-se nesta área eixos de crescimento da cidade, caracterizados como áreas de expansão do centro tradicional e como corredores comerciais, de serviços e de transportes, tendo como suporte um sistema trinário de circulação (IPPUC, 2010).

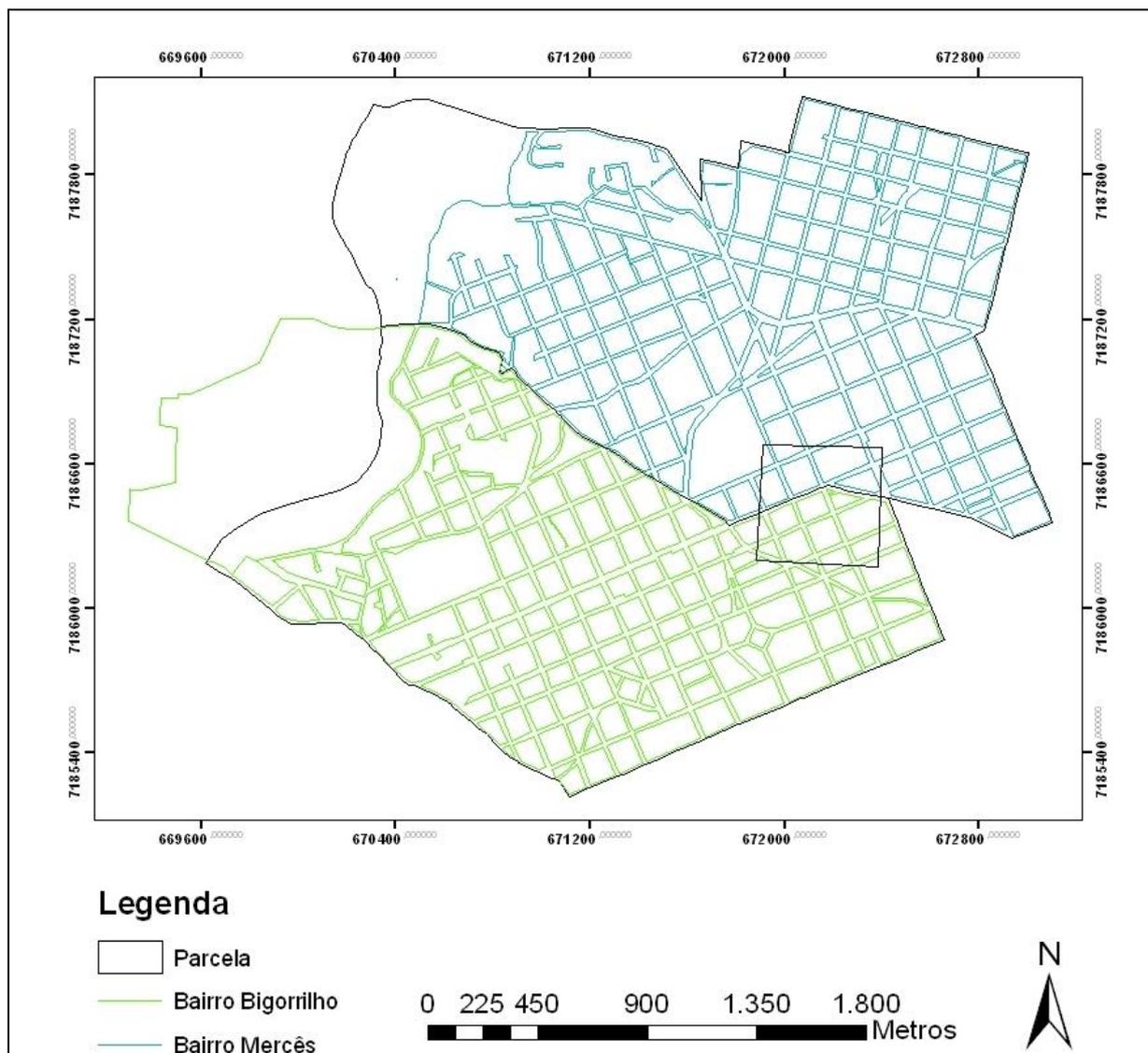


FIGURA 3.5 – BAIRROS BIGORRILHO E MERCÊS COM DESTAQUE PARA PARCELA ONDE FOI REALIZADO O INVENTÁRIO DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS

As edificações apresentam porte elevado, alternado com obras de 02 e 03 pavimentos. Não existem limites de altura, mas as construções devem obedecer às restrições do Ministério da Aeronáutica e Plano de Proteção dos Canais de Microondas de Telecomunicações do Paraná.

Na u. a. Bigorriño, Milano (1984), encontrou 24 espécies (Quadro 3.1), representadas por 381 indivíduos de porte arbóreo e arbustivo (MILANO, 1984).

QUADRO 3.1 – ESPÉCIES INVENTARIADAS NA ARBORIZAÇÃO DE RUAS DE CURITIBA EM 1984

Nome Científico	Nome Popular	A. Verde	Bigorriho	J. Social
<i>Acacia mearnsii</i>	Acácia-negra		X	X
<i>Acacia podalyriaefolia</i>	Acácia-mimososa	X		X
<i>Acacia polyphyla</i>	Monjoleiro	X	X	
<i>Acer negundo</i>	Acer	X		X
<i>Araucaria angustifolia</i>	Araucária			X
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	Sibipiruna		X	X
<i>Cassia leptophylla</i>	Cassia-fastuosa	X		X
<i>Cassia macranthera</i>	Cassia-manduirana	X	X	X
<i>Cassia multijuga</i>	Cassia-multijuga	X		X
<i>Chorisia espiciosa</i>	Paineira	X	X	X
<i>Citrus reticulata</i>	Limoeiro			X
<i>Cryptomeria japonica</i>	Cedro-japonês	X		
<i>Cunninghamia lanceolata</i>	Pinheiro-chinês		X	X
<i>Cytherexylum myrianthum</i>	Pau-de-tamanco	X	X	
<i>Enterelobium contortisiliquum</i>	Tamboril		X	X
<i>Eryobotrya</i>	Nêspera	X		X
<i>Erythrina</i>				X
<i>Erythrina falcata</i>	Corticeira-da-serra		X	X
<i>Eucalyptus cinerea</i>	Eucalipto-prateado	X		X
<i>Eucalyptus viminalis</i>	Eucalipto	X		X
<i>Eugenia</i>				X
<i>Eugenia uniflora</i>	Pitangueira	X		X
<i>Euphorbia cotinifolia</i>	Leiteiro-vermelho	X	X	X
<i>Ficus elastica</i>	Ficus	X	X	X
<i>Hibiscus rosasinenses</i>	Hibisco	X	X	X
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacarandá	X		X
<i>Jacaranda purberula</i>	Carobinha	X	X	X
<i>Lafoensia pacari</i>	Dedaleiro			X
<i>Lagerstroemia indica</i>	Extremosa	X	X	X
<i>Ligustrum lucidum</i>	Alfeneiro	X	X	X
<i>Magnolia gradiflora</i>	Magnólia	X		
<i>Melia azedarach</i>	Cinamomo	X	X	X
<i>Hovenia dulcis</i>	Uva-do-japão	X		
<i>Nerium oleander</i>	Espirradeira	X	X	X
<i>Palmeira</i>	Palmeira	X		X
<i>Paraptadenia</i>			X	
<i>Pinus eliottii</i>	Pinus			X
<i>Populus</i>				X
<i>Prunus persica</i>	Pessegueiro			X
<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá-rosa	X		X
<i>Salix babylonica</i>	Chorão		X	X
<i>Schinus terebentifolius</i>	Aroeira			X
<i>Sebastiania klotzchiana</i>	Branquilha		X	
<i>Sesbanea punicia</i>	Acácia-vermelha	X		X
<i>Spathodea campanulata</i>	Tulipeira	X		X
<i>Tabebuia</i>			X	X
<i>Tabebuia alba</i>	Ipê-amarelo	X		X
<i>Tabebuia avellanedae</i>	Ipê-roxo	X	X	X
<i>Tabebuia chrysotricha</i>	Ipê-amarelo-miúdo	X		X
<i>Tibouchina</i>				X
<i>Tibouchina granulosa</i>	Quaresmeira		X	
<i>Tibouchina pulchra</i>	Manacá-da-Serra	X		X
<i>Tibouchina sellowiana</i>	Quaresmeira	X		X
<i>Tipuana tipu</i>	Tipuana	X	X	X
<i>Taxodium distichum</i>	Pinheiro-do-brejo	X		
TOTAL		35	24	46

FONTE: Adaptado de MILANO (1984)

### 3.2.3.2 Unidade Amostral Água Verde

Esta u.a. localiza-se no bairro Água Verde (Figura 3.6) situado na regional Portão. Possui uma área de 476,40 hectares com 53.228 habitantes, o que denota a maior densidade demográfica do território municipal.

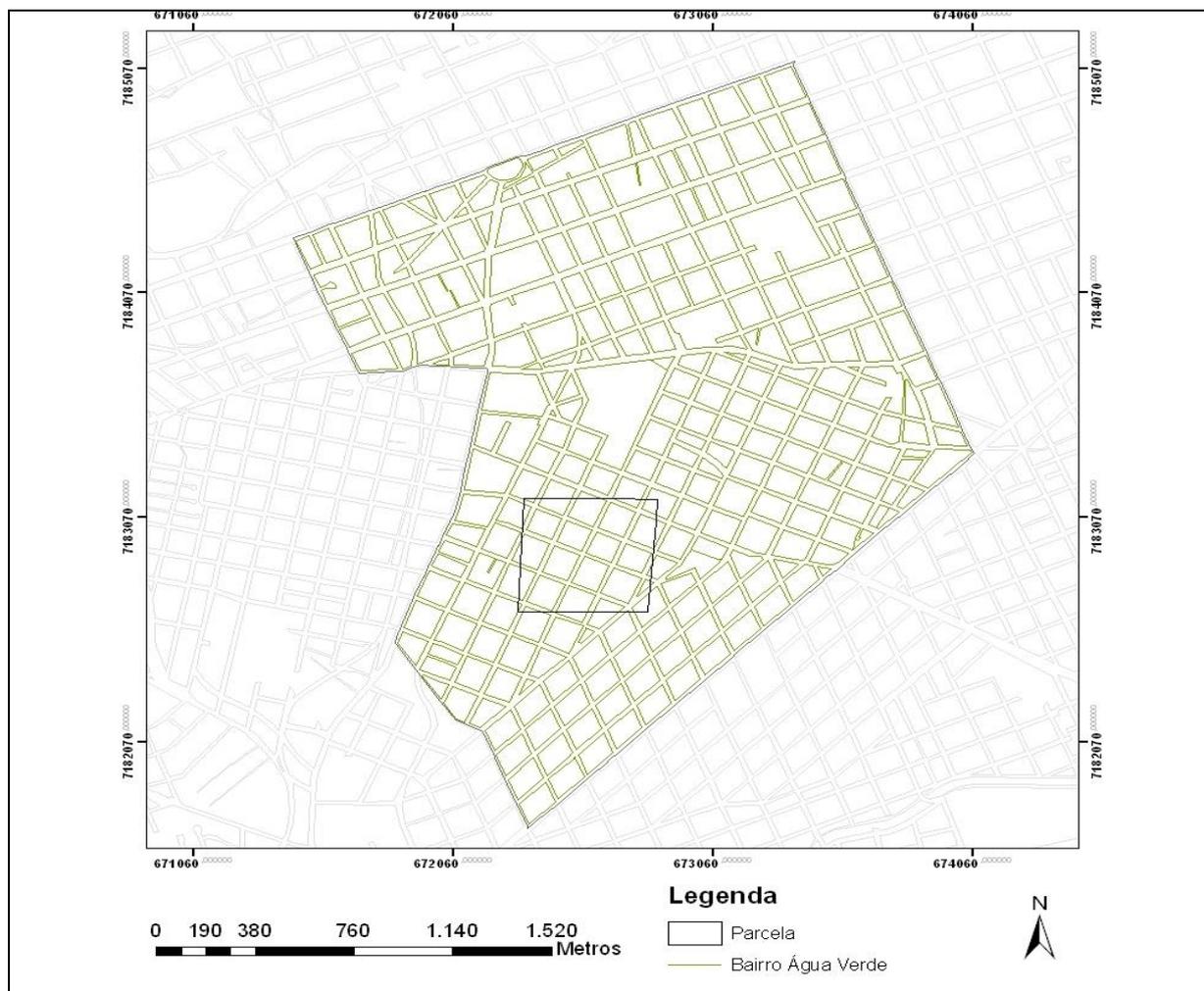


FIGURA 3.6 – BAIRRO ÁGUA VERDE COM DESTAQUE PARA PARCELA DESENVOLVIDA EM AMBIENTE SIG

A tipologia de zoneamento desta amostra é a Zona Residencial 4 (ZR-4) onde são permitidas obras de seis pavimentos (IPPUC, 2010). O uso é predominantemente residencial e há presença de casas e edifícios.

Milano (1984) encontrou durante a avaliação e análise da arborização nesta área, 35 espécies diferentes (Quadro 3.1) correspondente a 341 indivíduos de porte arbóreo e arbustivo.

### 3.2.3.3 Unidade Amostral Jardim Social

A amostra encontra-se no bairro Jardim Social (Figura 3.7) que se localiza na regional Matriz. Segundo IPPUC (2009) este bairro possui 6.113 habitantes em uma área de 188,5 hectares.

É uma Zona Residencial considerada do tipo ZR-1 de acordo com os critérios de uso e ocupação do solo. O perfil das construções é predominantemente residencial e são permitidas obras de até dois pavimentos (IPPUC, 2010).

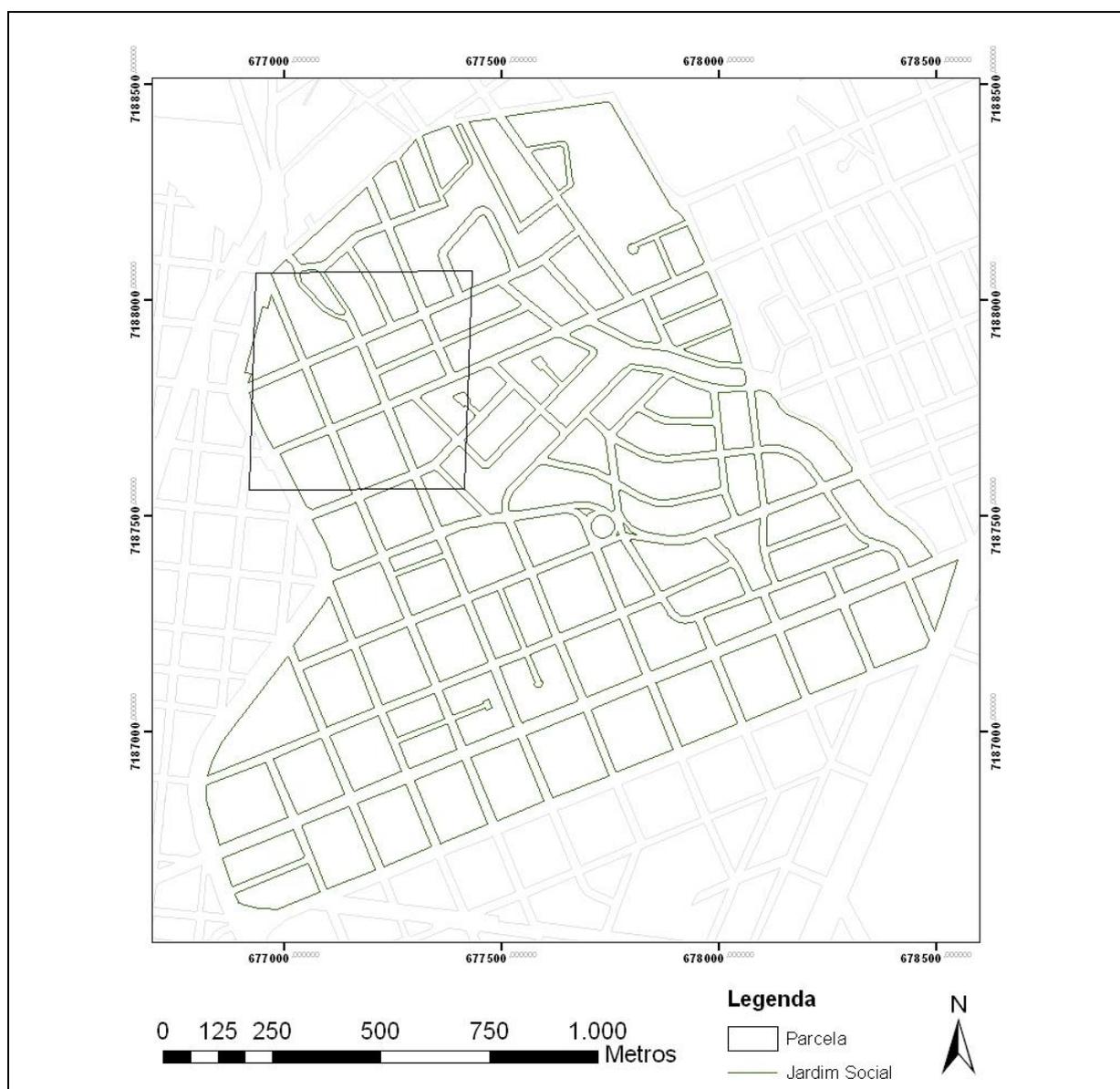


FIGURA 3.7 – BAIRRO JARDIM SOCIAL, COM DESTAQUE PARA PARCELA DESENVOLVIDA EM AMBIENTE SIG

Na análise da arborização de ruas realizada por Milano (1984) foram encontradas 46 espécies nesta amostra (Quadro 3.1), representadas por 554 indivíduos de porte arbóreo e arbustivo.

#### 3.3.1.4 Tamanho das Unidades Amostrais

O tamanho das unidades amostrais foi conforme Milano (1984), 500 metros de largura por 500 metros de comprimento resultando numa área total de 25 ha. A determinação destas foi realizada no programa ArcView 9.2, seguindo a localização do autor.

#### 3.3.2 Aquisição de Bases Cartográficas

Para pesquisas em arborização de ruas é necessário o uso de imagens com alta resolução espacial, devido à dimensão do objeto de estudo – a árvore.

Foram feitos contatos com empresas que dispunham de imagens de alta resolução espacial. No entanto, algumas tornaram-se inviáveis ora pelo alto custo de aquisição da imagem, ora pelos efeitos da tomada da imagem com visada inclinada por erros de geometria, que impossibilitavam as medições.

Imagens LANDSAT 5 TM e CBERS que são disponibilizadas pelo governo brasileiro, por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apresentam resolução espacial consideradas inadequadas, pois possuem resolução espacial de 30 e 20 metros, respectivamente. Essa resolução não permitia distinguir adequadamente a arborização viária.

Com os avanços na aquisição de imagens de satélite, cada vez mais tem-se resolução espacial mais refinada, mas menos bandas espectrais que distinguem os diversos materiais encontrados na superfície da terrestre, inclusive vegetação. Porém, essas imagens ainda são de alto custo de aquisição, o que tornou inviável a utilização das mesmas.

De acordo com Souza e Costa (1998), pesquisas sobre o meio intra-urbano, para avaliar uso e densidade de construções tornaram-se mais viáveis, utilizando-se fotografias aéreas com escalas em torno de 1:10.000. Desse modo, decidiu-se pelo uso de Ortofotos do município de Curitiba/PR com escala de 1:10.000, adquiridas no

ano de 2008, as quais foram disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba.

O IPPUC cedeu para o uso no presente estudo, o limite máximo de 03 ortofotos. Como foi dito anteriormente, foram selecionadas 03 u.a. com característica de maior quantidade e diversidade de espécies, devido a esta disponibilidade do órgão. Esta restrição do órgão na doação da imagem impossibilitou que todas as u.a. utilizadas por Milano (1984) fossem analisadas.

A vantagem do uso das ortofotos é que já possuem ajuste da geometria da imagem e está georreferenciada, facilitando no processamento de coleta de dados.

### 3.3.2.1 Delineamento Espacial das Unidades Amostrais

Com auxílio do croqui da área das parcelas elaborado por Milano (1984), utilizou-se o GPS *Garmin* para obter as coordenadas geográficas nos vértices das amostras analisadas.

A plotagem dos dados fornecidos pelo GPS *Garmin* foi efetuada através do software de Geoprocessamento *ArcView 9.2*, adotando o Sistema de Projeção Geográfica UTM (Universal Transversa de Mercator) e *Datum SAD 69* (South American Datum), 22S.

Utilizou-se o mapa de arruamento de Curitiba, contendo ruas, quadras e bairros em formato vetorial cedido pelo IPPUC, o qual possibilitou a delimitação das áreas das parcelas. Essas áreas das parcelas foram armazenadas no formato de vetores.

O *shapefile* é um formato de arquivo do *ArcView*, que pode armazenar ponto, linha ou polígono. Para representação vetorial, foi definido o tipo polígono, para representar a área das unidades amostrais selecionadas.

Sequencialmente, foi iniciada a importação dos dados vetoriais (.shp) contendo as ruas, bairros e quadras para seus respectivos planos de informação, possibilitando definir as parcelas analisadas.

Para demarcação das u.a. utilizaram-se mapas produzidos por Milano (1984) em seus trabalhos de campo. Em seguida, foi realizada a representação vetorial das delimitações das u.a, agrupando sob camadas com as ortofotos, estabelecendo a área de classificação da arborização viária.

Portanto, as áreas obtidas através do processamento em ambiente SIG eram similares a área utilizada na pesquisa de 1984 e do inventário de acompanhamento realizado.

### 3.3.2.2 Seleção Manual dos Geo-Objetos em Imagens Digitais

Com as u.a. definidas se iniciou a demarcação manual das árvores nas ruas. Na demarcação das árvores foram representados por vetores do tipo polígono para representar os geo-objetos em cada rua. A detecção da árvore foi executada pelo fotointérprete que delimitou os contornos originando um polígono representativo para cada uma delas.

Para Oliveira Filho et al. (2006), um geo-objeto é uma entidade geográfica singular e indivisível, caracterizada por sua identidade, suas fronteiras e seus atributos. Dependendo da entidade considerada, esse objeto pode ser, por exemplo, a copa individual de árvore, um talhão florestal, uma quadra agrícola, ou mesmo uma unidade de conservação.

Cada polígono permitiu a localização espacial e quantificação de árvores que compõem a cobertura arbórea da amostra.

A mensuração da área dos polígonos que representavam as copas das árvores deu-se com o uso do aplicativo *Xtools Pro*. Este aplicativo possui ferramentas para cálculos espaciais das representações vetoriais, isto é, forneceu o cálculo da área, perímetro dos polígonos e distâncias entre os mesmos.

Através do SIG, a coleta de dados nas imagens gerou uma tabela de atributos com colunas que representaram o atributo da feição geográfica, ou seja, são os dados referentes às árvores. A tabela de atributos permitiu a exportação dos dados e formulação do Banco de Dados com as variáveis analisadas no presente estudo, sendo: ID (número de Identificação do polígono), Área do polígono, Perímetro do polígono, Distância entre polígonos.

Seqüencialmente ocorreu a elaboração de planilhas contendo as variáveis dendrométricas provenientes dos cálculos fornecidos pelo aplicativo *Xtools Pro*.

Com a representação vetorial das parcelas e das árvores de rua na área amostrada, tomou-se a representação espacial nas amostras e análise das variáveis.

### 3.3.3 Seleção de Variáveis do Inventário Convencional

O método convencional ou tradicional de coleta de variáveis dendrométricas do inventário da arborização foi registrado por meio de listas de campo.

As planilhas continham várias informações de ordem quantitativa e qualitativa, tais como: Identificação da espécie, Identificação predial, CAP (Circunferência à Altura do Peito), Distância entre árvores, Distância da Árvore a Fiação, Distância da Árvore à Construção e Distância da Árvore ao Meio-Fio, Altura, Altura da Fiação, Altura da Primeira Bifurcação, Raios de Copa em quatro sentidos: Fuste-Rua, Fuste-Esquerda, Fuste-Direita, Fuste-Construção e Área do Canteiro, Condição do Sistema Radicular e Fuste, Presença de Fitopatógenos e Práticas de Manutenção, além de sugestões para Necessidades de Manejo.

A realização desta pesquisa limitou-se aos campos da planilha com características quantitativas e espaciais para que fossem comparadas com as aferições utilizando as técnicas SIG em imagens digitais.

Portanto, levaram-se em consideração as seguintes variáveis espaciais:

1. Quantidade de árvores presentes na arborização;
2. Raios de copa que resultaram na área de copa, medidos do ponto central do fuste até a última linha de projeção da copa para cada lado da rua, nos sentidos:
  - a. ( $R_1$ ) fuste-rua;
  - b. ( $R_2$ ) fuste-construção;
  - c. ( $R_3$ ) fuste-esquerda;
  - d. ( $R_4$ ) fuste-direita.
3. Distância entre as árvores: medidas no ponto central do fuste da árvore até o ponto central do fuste da árvore seguinte.

No inventário convencional foi utilizada a identificação predial para localização das árvores. Para definir quais árvores eram de pequeno porte que não foram delineadas pelo SIG por apresentarem copas inexpressivas na imagem, utilizou-se a variável CAP (Circunferência à Altura do Peito).

Sendo assim, a CAP foi considerada uma variável restritiva para delineamento da copa da árvore. A seleção de árvores com CAP maior que 10 centímetros, a partir do método convencional geraram o Método Convencional Alterado (MCA).

No método tradicional para coleta das variáveis utilizaram-se trenas de 50 metros e fita métrica de 1,50 metros.

### 3.3.3.1 Processamento das Variáveis pelo Método Convencional

#### 3.3.3.1.1 Quantidade de Árvores

O método aplicado em campo, considerado como convencional, se fez pela identificação das espécies e contabilização de todos os indivíduos arbóreos presentes nas ruas das amostras estudadas, o que gerou um número de árvores por amostra e por rua.

#### 3.3.3.1.2 Área de Copa

No inventário convencional foram coletadas informações dos raios de copa. Dessa forma, a equação 3.1 foi usada para o cálculo da área de copa.

$$A = (R_1 + R_2) * (R_3 + R_4) \quad (3.1)$$

Onde:

$R_1$  = fuste-rua (medido do centro do fuste até a última projeção da copa na rua);

$R_2$  = fuste-construção (medido do centro do fuste até a última projeção da copa na construção);

$R_3$  = fuste-esquerda (medido do centro do fuste até a última projeção da copa no lado esquerdo, paralelo a calçada);

$R_4$  = fuste-direita (medido do centro do fuste até a última projeção da copa no lado direito, paralelo a calçada).

#### 3.3.3.1.3 Espaçamento entre Copas

Para obter o espaçamento entre copas algumas operações matemáticas foram realizadas, pois no inventário convencional foram medidos os Raios de Copa

e a Distância entre as Árvores (Figura 3.8), enquanto que na coleta em ambiente SIG, a distância entre os polígonos foi processada automaticamente.

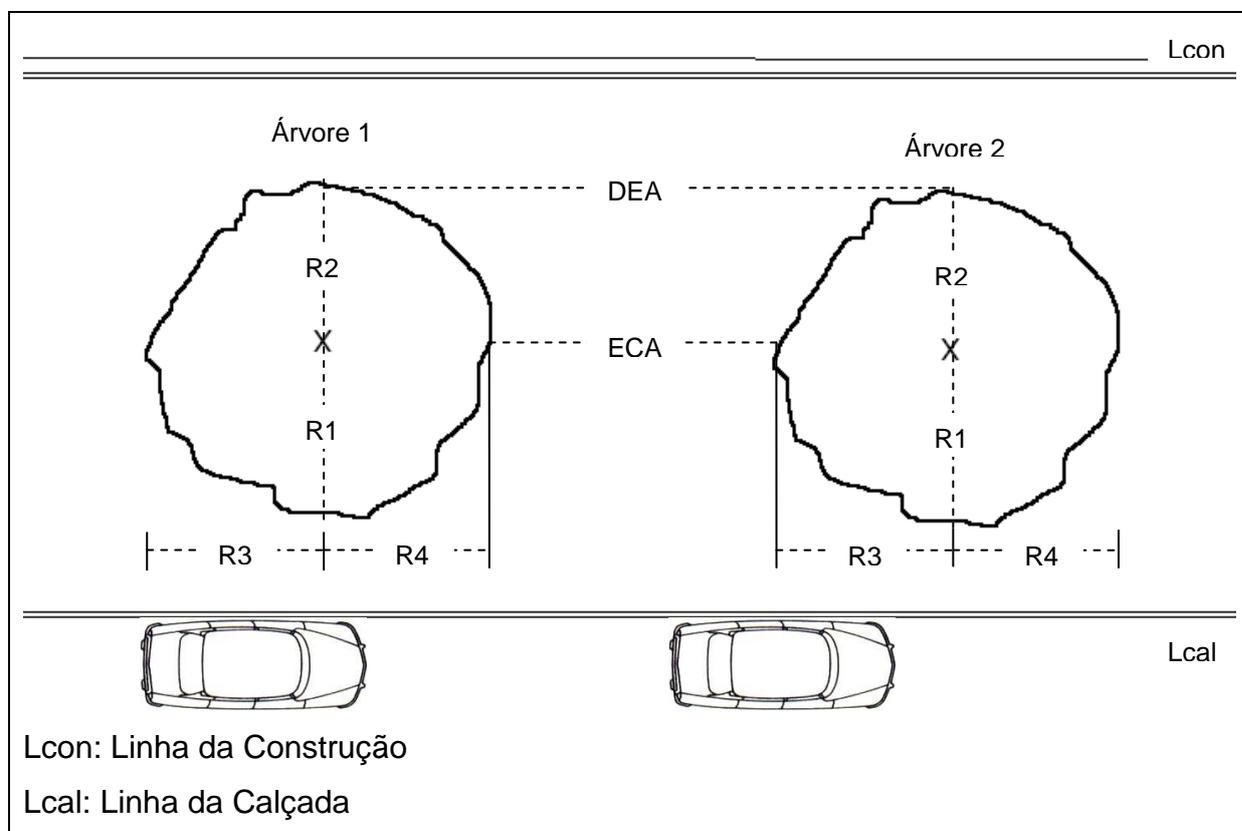


FIGURA 3.8 – ESQUEMA REPRESENTANDO A MEDIÇÃO DA VARIÁVEL ESPAÇAMENTO ENTRE COPAS

FONTE: O autor (2010)

O espaçamento entre copas foi obtido através da fórmula 3.3, que utiliza as variáveis raios de copas e distância entre árvores, ambas medidas no inventário convencional. Já a distância entre os polígonos foi processada automaticamente na coleta em ambiente SIG.

$$ECA_{1e2} = DEA_{1e2} - (R4_{da\ \acute{a}rvore\ 1} + R3_{da\ \acute{a}rvore\ 2}) \quad (3.2)$$

Onde:

$ECA_{1e2}$  = Espaçamento entre as copas da árvore 1 e árvore 2;

$DEA_{1e2}$  = Distância entre as árvores;

$R_3$  = fuste-esquerda (medido do centro do fuste até a última projeção da copa no lado esquerdo, paralelo a calçada);

$R_4$  = fuste-direita (medido do centro do fuste até a última projeção da copa no lado direito, paralelo a calçada).

Com aplicação da equação 3.2, o Espaçamento entre Copas das Árvores (ECA) pode apresentar números negativos, gerados pelo entrelaçamento das copas (Figura 3.9 e Figura 3.10). Ou seja, a soma dos raios de copa das árvores ( $R_4$  da árvore 1 e  $R_3$  da árvore 2) são maiores que a distância entre árvores (DEA).

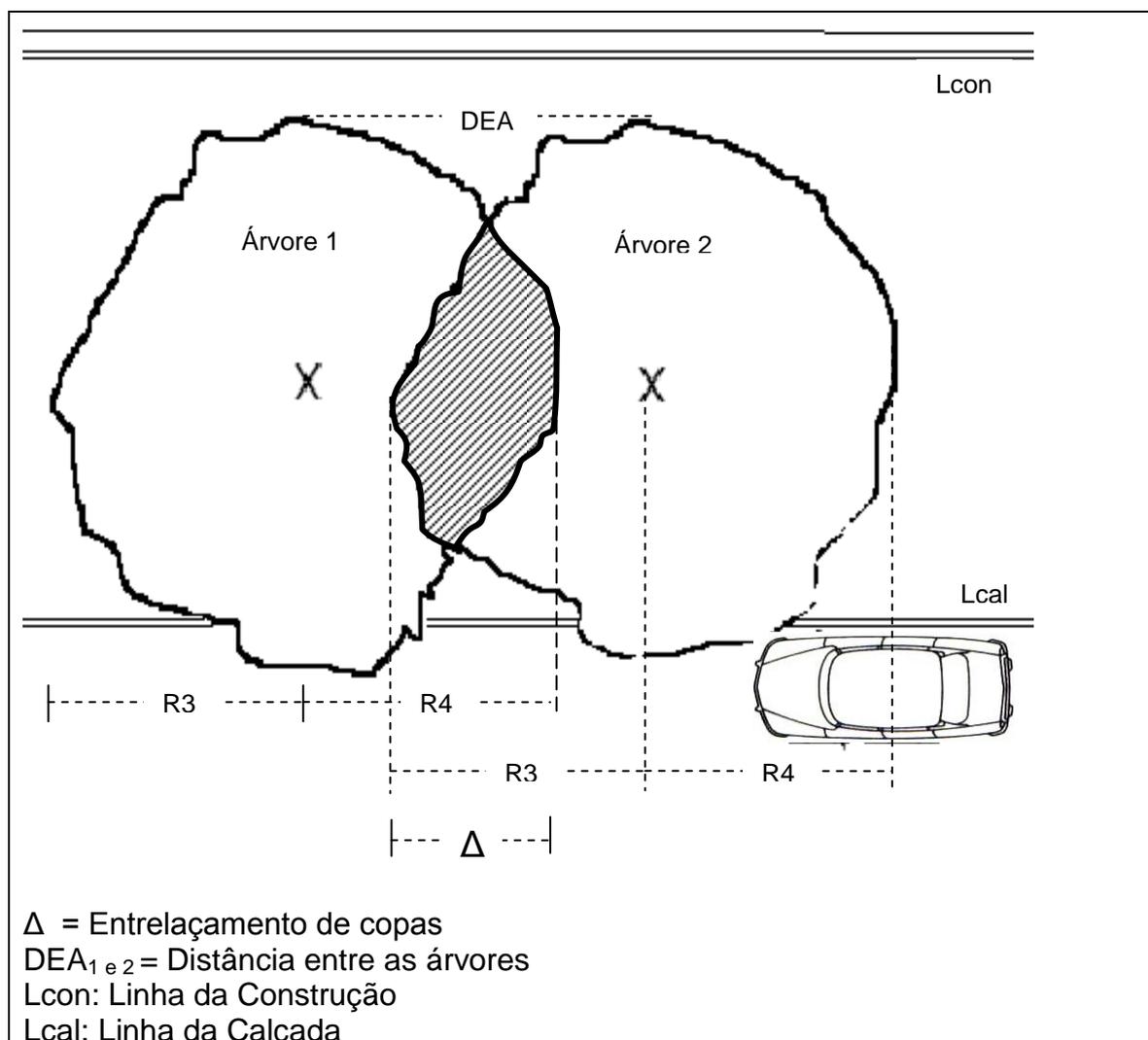


FIGURA 3.9 – ESQUEMA REPRESENTANDO ENTRELAÇAMENTO DE COPAS EM ÁRVORES COM O MESMO ALINHAMENTO NA CALÇADA

FONTE: O autor (2010)

Pode-se perceber que na Figura 3.9, ocorreu o entrelaçamento de copas em árvores com mesmo alinhamento da rua, enquanto que na Figura 3.10 ocorreu um entrelaçamento de copas irreal, pois as árvores não se tocaram, apenas estavam em alinhamento diferente nas calçadas, o que implicou na dimensão das somas dos raios serem maiores que a distância entre as árvores.

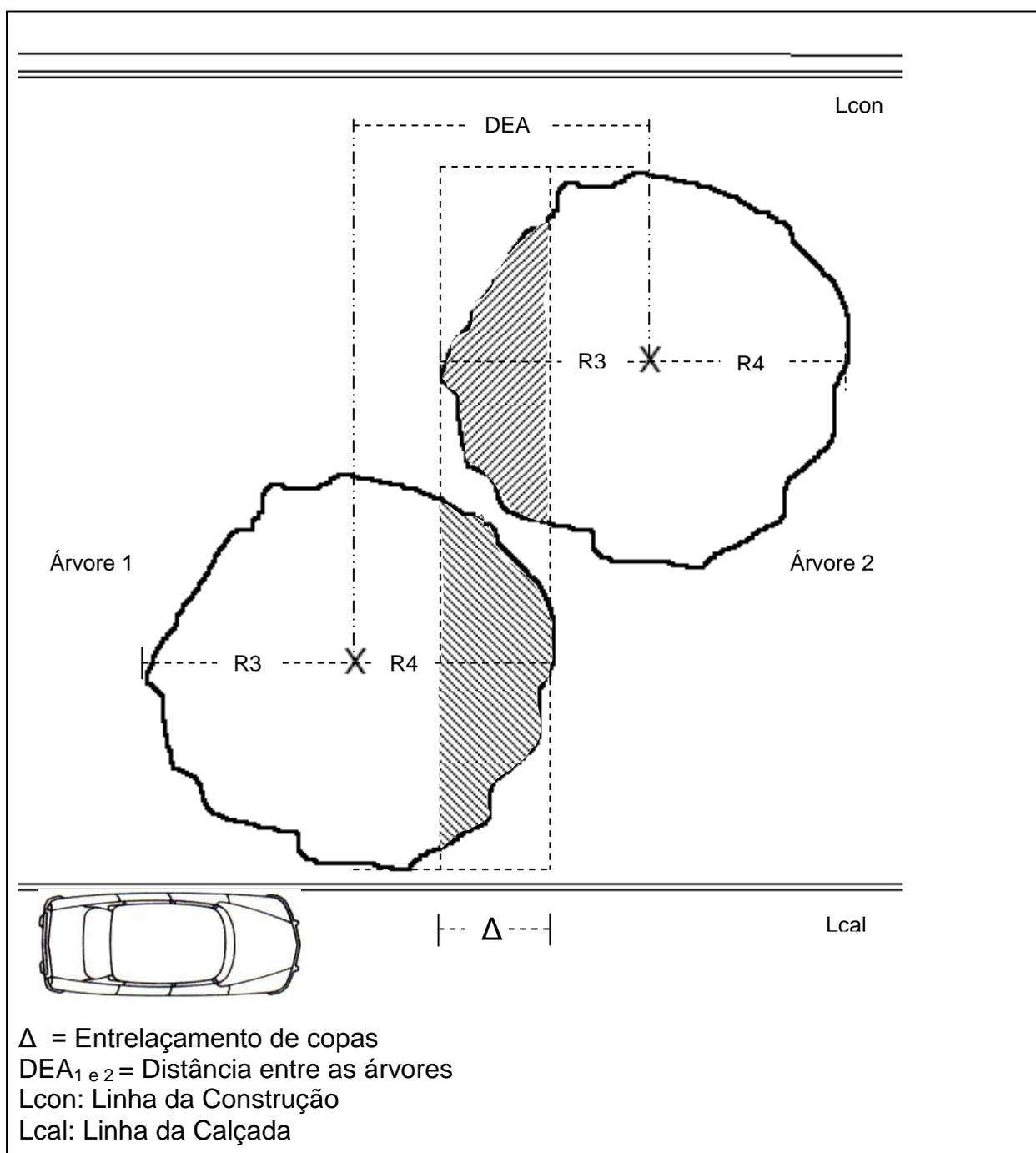


FIGURA 3.10 – ESQUEMA REPRESENTANDO ENTRELAÇAMENTO DE COPAS EM ÁRVORES COM DIFERENTE ALINHAMENTO NA CALÇADA

FONTE: O autor (2010)

Foram separados os todos ECA negativos e calculou-se o percentual de copas entrelaçadas em cada amostra.

As diferenças entre os resultados obtidos pelos métodos de coleta das variáveis (SIG e Tradicional) foram analisadas com a distribuição em classes e freqüências de distâncias aferidas nos respectivos métodos.

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise comparativa entre os diferentes métodos de coleta de variáveis receberam tratamentos estatísticos que foram processados pelo programa *Statgraphics Plus*.

Para a variável Quantidade de Árvores, os dados foram submetidos à estatística básica: média; desvio-padrão; análise de variância (ANOVA). A análise estatística teve como delineamento 03 tratamentos, sendo eles:

Método de coleta convencional -T1;

Método de coleta com uso do SIG - T2;

Método Convencional Alterado (MCA) -T3.

As repetições eram as árvores nas ruas da amostra. As variâncias dos tratamentos foram comparadas com o teste de SNK (Student-Newman-Keuls) ao nível de 95% de significância.

A variável coletada Área de Copa recebeu dois tratamentos (T1 e T2) em que foram comparadas as médias quanto a sua homogeneidade pelo teste f ao nível de significância de 95%.

Para a variável Espaçamento entre Copas, as comparações foram feitas considerando a diferença entre os valores obtidos nos dois tratamentos. As diferenças entre os tratamentos podem ser maiores que o diâmetro da copa da árvore na amostra e conseqüentemente ocasionarem um erro sistemático com relação à localização das árvores nas ruas.

Portanto, essa diferença foi checada junto ao diâmetro médio de copa das árvores da amostra, identificando se os erros subestimavam ou superestimavam a real distância mensurada no inventário convencional.

### 3.5 UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES ESPACIAIS PARA ANÁLISE DA ARBORIZAÇÃO VIÁRIA

Conforme Lima Neto e Melo e Souza (2009) os índices espaciais são definidos como um conjunto de parâmetros utilizados para estudo da arborização. À medida que se realiza a mensuração destes índices, é possível obter um panorama sobre a condição da arborização. Foi utilizado o Índice de Cobertura Arbórea (ICA), Índice de Densidade Arbórea (IDA), Índice de Árvores por Quilômetro de Calçada Arborizada (IAQC) e o Índice de Plena Ocupação (IPO).

Para o cálculo desses índices fez-se uma representação vetorial do tipo polígono para cada rua, definindo o cálculo de área da rua de modo similar a área das copas, através da ferramenta *Xtools Pro* (Figura 3.11 – A, B, C).

Também foi feita uma representação vetorial do tipo linha, criado no *ArcCatalog*, para representar as calçadas arborizadas dentro das unidades amostrais. Cada linha delimitada pelo usuário do ambiente SIG correspondeu a uma calçada. A soma das linhas resultou na metragem de cada uma delas (Figura 3.11 – D, E, F).

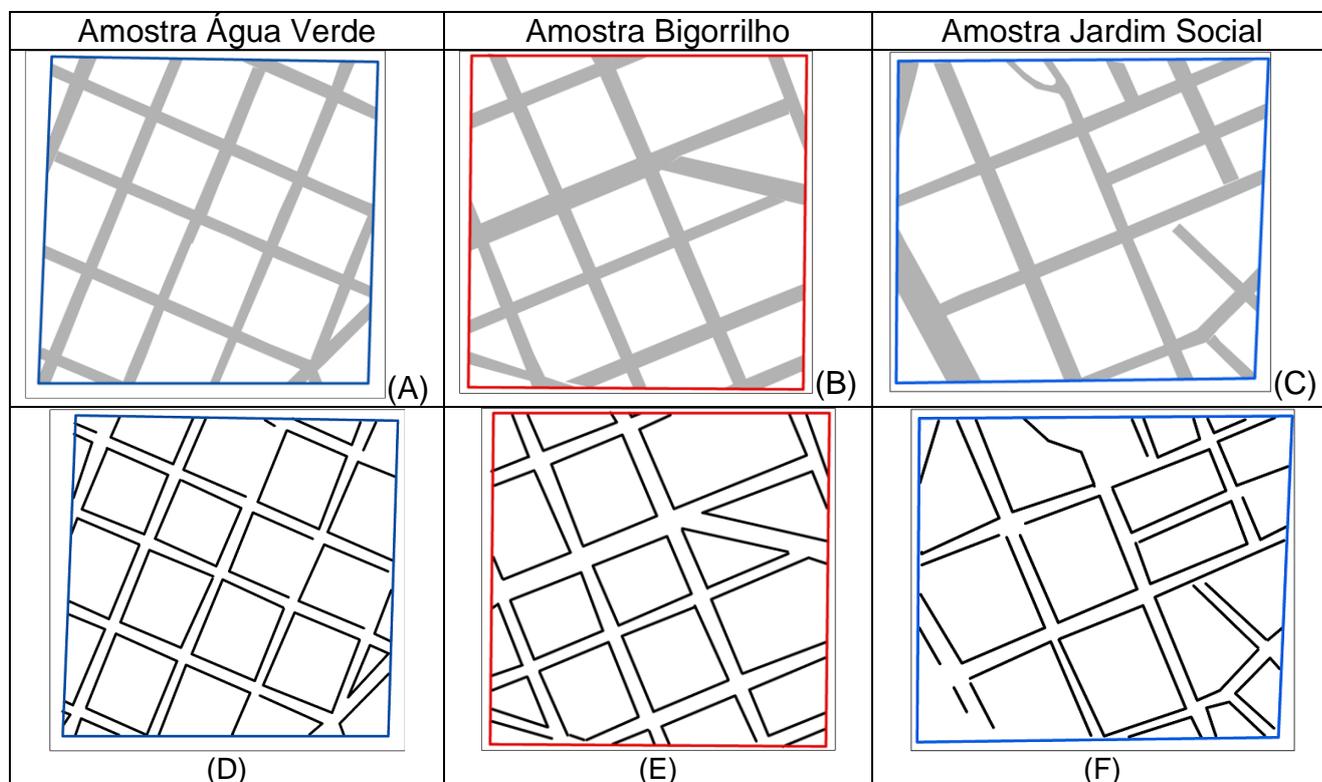


FIGURA 3.11 – REPRESENTAÇÃO VETORIAL DAS ÁREAS DE RUA NAS AMOSTRAS A, B e C e REPRESENTAÇÃO VETORIAL DAS CALÇADAS ARBORIZADAS NAS AMOSTRAS D, E e F

O Índice de Cobertura Arbórea tem a função de fornecer o percentual de cobertura da arborização nas ruas, dado pela equação (3.3):

$$ICA = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n AC}{\sum_{i=1}^n AR} \right] \times 100 \quad (3.3)$$

Onde:

ICA = Índice de Cobertura Arbórea;

n = Rua da Amostra;

AC = Área de Copa das Árvores (m<sup>2</sup>);

AR = Área da Rua (m<sup>2</sup>);

Ao Índice de Densidade Arbórea (IDA) confere a existência dos indivíduos arbóreos para cada 100m<sup>2</sup> de área da rua, definido conforme equação 3.4:

$$IDA = \left[ \frac{N_a}{\sum_{i=0}^n AR} \right] \times 100 \quad (3.4)$$

Onde:

IDA = Índice de Densidade Arbórea

n = Rua da Amostra;

N<sub>a</sub> = Número de Árvores na amostra;

AR = Área da Rua (m<sup>2</sup>).

O Índice de Densidade Arbórea, de acordo com Lima Neto (2008), tem um papel importante para verificar a intensidade de ocupação das árvores de um território, denotando maior ou menor aproximação do ambiente urbano à paisagem natural.

Outro índice calculado foi o Índice de Árvores por Quilômetro de Calçada Arborizada (IAQC). Na pesquisa realizada por Milano (1984), esse índice foi a principal variável utilizada para definir o número de amostras, de modo a homogeneizar as diferentes densidades por rua das regiões na cidade. Esse índice é definido pela equação 3.5:

$$IAQC = \frac{N_a}{T_{Km CA}} \quad (3.5)$$

Onde:

IAQC = Índice de Árvores por Quilômetro de Calçada Arborizada;

$N_a$  = Número de Árvores na amostra;

$T_{Km\ CA}$  = Total de Quilômetros de calçadas arborizadas na amostra.

Como o presente estudo não se caracteriza como um inventário contínuo, e sim, em verificar a eficiência do método de coleta em ambiente SIG na mensuração de variáveis no inventário da arborização foi estabelecido uma comparação entre os resultados aferidos pelos procedimentos de Milano (1984) com os obtidos através das ortoimagens. Sequencialmente foi feita uma comparação temporal sobre as quantidades de árvores nas respectivas amostras analisadas.

Segundo Silva, Paiva e Gonçalves (2007), o Índice de Plena Ocupação (IPO) fornece o percentual de ocupação de árvores em uma área. Adotou-se como parâmetro para plena ocupação da rua o Diâmetro Médio das Copas das Árvores na amostra ( $D_{MCA}$ ), uma vez que a rua pode ser ocupada completamente pelo diâmetro que as árvores apresentam. O IPO (%) é definido pela equação (3.6):

$$IPO = \left[ \frac{D_{MCA}}{T_{Km\ CA}} \right] \times 100 \quad (3.6)$$

Onde:

IPO = Índice de Plena Ocupação;

$D_{MCA}$  = Diâmetro Médio das Copas das Árvores na amostra;

$T_{Km\ CA}$  = Total de Quilômetros de calçadas arborizadas na amostra.

A partir daí, estimou-se quantas árvores caberiam na amostra se as ruas fossem plenamente ocupadas, utilizando a equação 3.7.

$$NA = \left[ \frac{T_{Km\ CA}}{D_{MCA}} \right] \quad (3.7)$$

Onde:

NA = Número de árvores que a amostra comporta;

$D_{MCA}$  = Diâmetro Médio das Copas das Árvores na amostra;

$T_{Km\ CA}$  = Total de Quilômetros de calçadas arborizadas na amostra.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – IMPRECISÕES NO DELINEAMENTO ESPACIAL DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Conforme citado na metodologia, as unidades amostrais foram selecionadas com base na pesquisa desenvolvida por Milano (1984), com tamanho de 500 X 500 metros.

Na realocação das unidades amostrais em ambiente SIG foi observada uma diferença de tamanhos nas amostras delineadas através das imagens em relação ao inventário realizado em 1984, apresentadas na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 – ÁREA DAS AMOSTRAS OBTIDAS EM AMBIENTE SIG EM RELAÇÃO AO ESTABELECIDO NO INVENTÁRIO DA ARBORIZAÇÃO DE 1984

Unidades Amostrais	(1) Área Estabelecida em 1984 (ha)	(2) Área da Amostra (ha)	Diferença entre (1) e (2) (ha)
Jardim Social	25	24,99	0,005
Água Verde	25	25,63	0,638
Bigorrião	25	25,72	0,723

Observa-se que a amostra Jardim Social apresentou menor tamanho do que o estabelecido em 1984, sendo que a diferença foi de 0,005 ha. As outras duas unidades amostrais apresentaram tamanho maior (Tabela 4.1). A imprecisão na delimitação das u.a. do inventário realizado em 1984 foi devido à escassez de recursos cartográficos em grande escala, com informações do relevo topográfico, curvas de nível, mapas detalhados de arruamento, de vias públicas, quadras e eixos de calçadas. Além disso, o mapeamento foi feito manualmente com papel quadriculado em centímetros incorrendo erros de medições pelo usuário em campo.

Atualmente, os programas de SIG tornam mais fáceis a execução dos trabalhos de campo de inventários através da delimitação das unidades amostrais em ambiente SIG. Oliveira Filho et al. (2005) ao aplicar o SIG como suporte a um experimento florestal na flona de Irati-PR, implementou um banco de dados espacial orientado a dois objetos distintos: árvores e parcelas, constatando que os geo-

objetos proporcionaram uma maior quantidade de combinações enriquecendo a pesquisa e seus resultados.

#### 4.2 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ÁRVORES EM UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR

Para análise dos métodos existentes foram considerados os números de árvore de cada unidade amostral.

##### 4.2.1 Unidade Amostral Bigorriho

Na remedição da unidade amostral do Bigorriho foram encontradas 348 árvores, sendo que 322 árvores tinham Circunferência à Altura do Peito (CAP) maior que 0,1 metros (MCA). Conforme a metodologia utilizada esta exclusão facilita a visualização em imagens por apresentar porte arbóreo definido, representando 92,52% da amostra total.

A aplicação da coleta em ambiente SIG tornou possível a detecção de 297 árvores. Considerado as árvores com CAP maior que 0,1 metros o percentual de acerto da coleta em ambiente SIG foi de 92,24%. O delineamento de árvores utilizando imagens digitais denotou um número menor da quantidade de árvores na amostra quando comparado ao inventário convencional.

É fato conhecido que na fotointerpretação florestal a contagem de copas de árvores em fotografias aéreas resulta, geralmente, em um número inferior ao do campo (SPURR, 1960).

A Figura 4.1 apresenta o número de árvores para cada rua da amostra Bigorriho, considerando os três métodos utilizados (convencional, em ambiente SIG e convencional alterado).

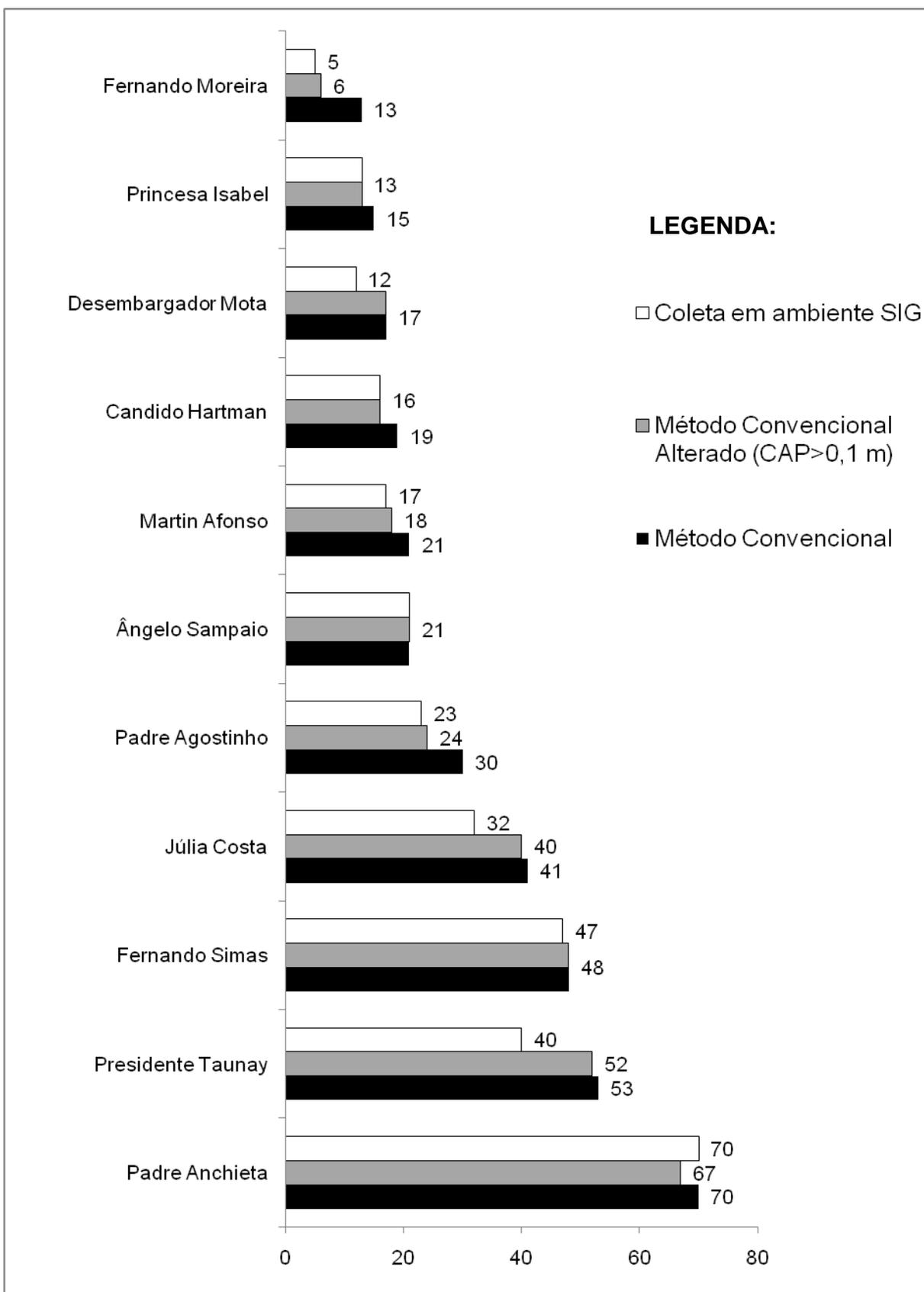


FIGURA 4.1 – APLICAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ÁRVORES NA AMOSTRA BIGORRILHO, CURITIBA-PR

De acordo com a Figura 4.1, a quantidade de árvores encontrada nas Ruas Cândido Hartmann e Princesa Isabel foram iguais em dois métodos de aferição (MCA e o método de coleta em ambiente SIG).

Nas Ruas Presidente Taunay, Júlia Costa e Desembargador Mota observaram-se as maiores diferenças entre o MCA e SIG, respectivamente, 12, 08 e 05 árvores que não identificadas através das técnicas de SIG.

Na Rua Ângelo Sampaio foram contabilizadas número de copas igual em todos os métodos testados (Figura 4.1). Na Rua Padre Anchieta constatou-se que o método de coleta em ambiente SIG conseguiu discriminar 03 árvores com CAP menor que 0,10 metros, pois estas apresentaram área de copa que facilitou o delineamento nas imagens.

Nas demais ruas da amostra a diferença de quantidade de árvores obtida com aplicação da coleta em ambiente SIG foi de 01 árvore a menos que a supervisão de campo.

Os resultados da análise de variância revelaram que a interação entre o método convencional, MCA e a coleta em ambiente SIG na aferição de variáveis do inventário da arborização de ruas na amostra, não foram significativas, indicando que qualquer um dos métodos são úteis para detectar árvores na rua (Tabela 4.2).

TABELA 4.2 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA BIGORRILHO

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste <i>f</i>	Valor de <i>p</i>
Entre os grupos	2	118.242	59,12	0,16	0,85
Dentro dos grupos	30	10.980,7	366,02		

O valor de *p* foi maior que 0,05, significando que não há uma diferença estatisticamente significativa entre a média dos tratamentos ao nível de confiança de 95%.

Os resultados dos testes de comparação de médias dos dados analisados, para cada um dos métodos são apresentados na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA BIGORRILHO

Tratamentos	Nº de Ruas	Média da Quantidade de Árvores	Desvio Padrão da Média
T1 – Método Convencional	11	31,64 A	±18,74
T2 – MCA	11	29,27 A	±19,39
T3 – Coleta em ambiente SIG	11	27,00 A	± 19,26

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK ao nível de 5% de probabilidade.

O procedimento de comparação múltipla Student-Newman-Keuls (SNK) determinou que não houve diferenças estatisticamente significativas a 5% de probabilidade.

Foi observado que T2 e T3 tiveram as menores diferenças e as maiores diferenças foram obtidas entre T1 e T3 (Tabela 4.4).

TABELA 4.4 – DIFERENÇA ENTRE OS MÉTODOS AVALIADOS, NA AMOSTRA. BIGORRILHO, CURITIBA-PR

Contraste	Diferenças
T1 – T2 (Método Convencional X MCA)	2,36
T1 – T3 (Método Convencional X Coleta em ambiente SIG)	4,64
T2 – T3 (MCA X Coleta em ambiente SIG)	2,27

Apesar das diferenças não serem estatisticamente significativas a 5% de probabilidade, a maior diferença foi entre o método de inventário convencional e o método de coleta em ambiente SIG (4,64).

O MCA apresentou a menor diferença quando comparado com a coleta em ambiente SIG, o que possibilita afirmar que esta seleção foi eficaz para discriminar que o porte das árvores influencia na detecção através de imagens. Isto indica que quanto mais desenvolvida a árvore mais fácil será o delineamento na sua imagem.

Na detecção de árvores de rua através da coleta em ambiente SIG os resultados encontrados foram superiores a 90%. Oliveira Filho (2006) em pesquisa conduzida em uma área experimental de floresta nativa constatou que as árvores delineadas representavam apenas 15% das árvores mapeadas no terreno, sendo que a maioria dos indivíduos detectados estava situado nos estratos dominantes e co-dominantes da floresta.

As áreas de florestas apresentam vários níveis de regeneração com árvores em dosséis diferentes. As árvores de ruas em sua maioria não estão adensadas

como as áreas florestais. A presença de equipamentos urbanos e restrito espaço físico disponível restringem a densidade de árvores na rua.

O processo de delineamento de copas foi dificultado pela altura das construções, que geraram sombreamento na imagem. Na amostra analisada, o potencial de delineamento de copas foi mais reduzido porque ocorreu a predominância de edificações verticais.

Observou-se que o delineamento da copa das árvores é melhor realizado quando as mesmas são vistas de topo, ou seja, no primeiro plano da imagem, sem influência de sombras e deslocamentos da geometria da imagem.

Kurihara e Encinas (2003) encontraram dificuldades semelhantes na detecção de árvores para elaboração de um cadastro georreferenciado dos indivíduos arbóreos existentes no *Campus* da UnB. O SIG mostrou ser peça útil pela sua praticidade, porém, em áreas densas onde há muitas árvores agrupadas e sem pontos de referência próximos, a determinação do posicionamento das árvores tornou-se bastante difícil, apresentando baixa acurácia.

#### 4.2.2 Unidade Amostral Água Verde

O número de árvores encontradas nas ruas da amostra água verde pelos métodos de coleta de dados através do SIG e método convencional de inventário é apresentado na Figura 4.2. No método convencional foram encontradas 483 árvores, sendo que destas 75,16% apresentaram Circunferência à Altura do Peito (CAP) maior que 0,1 metros. Com a aplicação da coleta em ambiente SIG, 376 árvores foram delineadas.

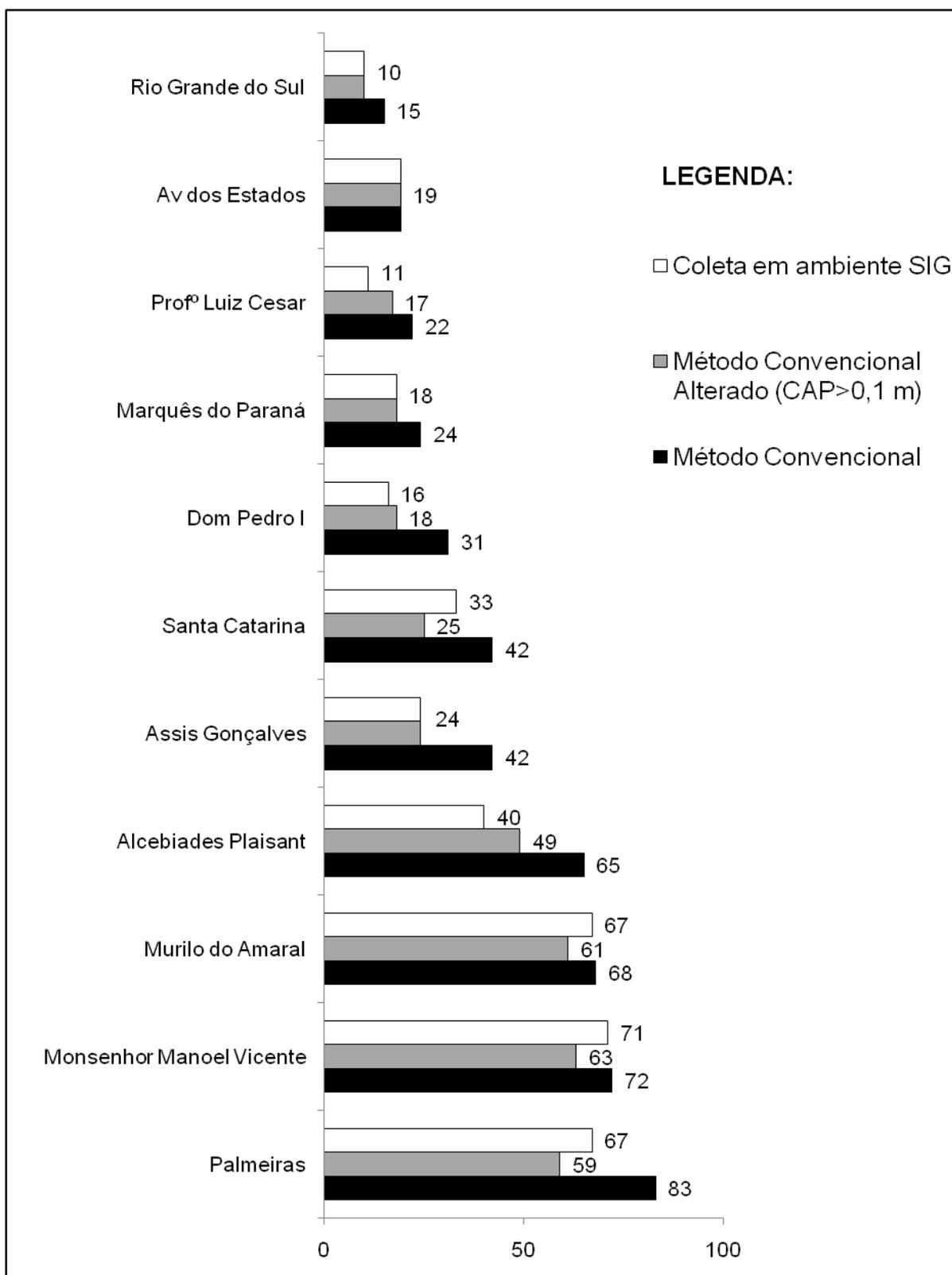


FIGURA 4.2 – APLICAÇÃO DOS TRÊS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ÁRVORES NA AMOSTRA ÁGUA VERDE, CURITIBA-PR

Na detecção das árvores na amostra o percentual de acerto da coleta em ambiente SIG em relação ao método convencional foi de 75,85%. Este valor

representa um baixo percentual de acerto considerando que Disperati *et al.* (2007), na contagem de copas em parte de um povoamento de *Pinus elliottii*, fazendo uso de uma fotografia aérea, afirmou que a interpretação visual da fotografia aérea permitiu o reconhecimento de 704 pontos correspondentes aos topos de árvores, valor este 3% inferior ao total de árvores estimadas na fase de verificação em campo.

A Avenida dos Estados, Rua Marquês do Paraná, Assis Gonçalves e Rio Grande do Sul apresentaram número de árvores igual no método convencional com árvores selecionadas que apresentavam CAP maior que 0,10 metros e na coleta em ambiente SIG (Figura 4.2).

Observou-se nesta amostra que 30 árvores com CAP menor que 0,10 metros foram identificadas em ambiente SIG, sendo: na rua Santa Catarina, Monsenhor Manoel Vicente e Palmeiras delineadas 08 árvores com CAP menor que 0,10 e 06 árvores na Rua Murilo do Amaral.

Na Rua Alcebíades Plaisant 25 árvores que compunham a arborização da rua não foram delineadas na imagem, denotando nesta amostra a maior diferença de quantidade de árvores entre o inventário convencional e o método de coleta SIG.

As diferenças obtidas na quantidade de árvores, através da análise de variância, atestaram que entre o método convencional, MCA e a coleta em ambiente SIG, não houve diferenças estatisticamente significativas, indicando que qualquer um dos métodos podem ser usados para detectar o número de árvores na rua (Tabela 4.5).

TABELA 4.5 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA ÁGUA VERDE

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste <i>f</i>	Valor de <i>p</i>
Entre os grupos	2	788,42	394,21	0,76	0,48
Dentro dos grupos	30	15.634,50	521,15		

O valor de *p* do teste *f* foi maior que 0,05, mostrando que não há diferença estatisticamente significativa entre a média dos tratamentos ao nível de significância de 5%.

Os resultados dos testes de comparação de médias dos dados analisados, para cada um dos métodos são apresentados na Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA ÁGUA VERDE

Tratamentos	Nº de Ruas	Média da quantidade de árvores	Desvio Padrão da Média
T1 – Método Convencional	11	33,00 A	± 24,18
T2 – MCA	11	34,18 A	± 20,47
T3 – Coleta em ambiente SIG	11	43,90 A	± 23,65

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de SNK ao nível de 5% de significância.

Na comparação de médias, a aplicação do Teste SNK indicou que os tratamentos não são estatisticamente diferentes a 5% de significância. As diferenças entre os tratamentos foram maiores entre os tratamentos T1 e T2 e menores quando comparados os tratamentos T2 e T3 (Tabela 4.7).

TABELA 4.7 – DIFERENÇA ENTRE OS MÉTODOS AVALIADOS, NA AMOSTRA ÁGUA VERDE, CURITIBA-PR

Contraste	Diferenças
T1 – T2 (Método Convencional X MCA)	10,91
T1 – T3 (Método Convencional X Coleta em ambiente SIG)	9,73
T2 – T3 (MCA X Coleta em ambiente SIG)	-1,18

Contudo, apesar das diferenças não serem estatisticamente significativas a 5% de significância, observa-se que entre o método de inventário convencional e a coleta em ambiente SIG as diferenças foram intermediárias (9,73).

O resultado da diferença entre o MCA e o método de inventário convencional. Esta diferença indica que existem mais árvores jovens nesta amostra e que embora existam restrições quanto ao porte das árvores, a coleta em ambiente SIG ainda consegue detectá-las.

#### 4.2.3 Unidade Amostral Jardim Social

Na checagem de campo identificaram-se 437 árvores, sendo que destas, 08 tinham CAP menor que 0,10 metros. Com a utilização da coleta em ambiente SIG foram delineadas 87,41% das árvores encontradas em campo, esse percentual é aceitável e indica acurácia na detecção de árvores por meio de imagens.

Em pesquisa de delineamento e contagem de copas de araucária utilizando fotografias aéreas coloridas em floresta natural na área urbana de Curitiba obteve-se resultado de 62,3 % das árvores delineadas (DISPERATI, *et al.*, 2002). Ainda segundo os autores, esses valores poderiam ter sido mais altos se fossem excluídas as copas dos estratos co-dominantes e intermediários.

As ruas Des. Joaquim P. Monteiro e Tobias de Barreto apresentaram o mesmo número de indivíduos em todos os métodos de contagem (Figura 4.3).

Na Avenida Nossa Senhora da Luz vinte e quatro árvores e dez na Rua Dr. João E. Espínola não foram delineadas na imagem. Portanto, observaram-se as maiores diferenças entre a detecção de árvores pelo método convencional e SIG nessas ruas.

A seleção de árvores com CAP maior que 0,10 metros (MCA) resultaram na redução da diferença entre a quantidade de árvores delineadas quando comparadas com aquelas delineadas em ambiente SIG. A Rua Manoel C. de Freitas apresentou o mesmo número de indivíduos arbóreos na coleta em ambiente SIG e no MCA.

Na Rua Joaquim Américo Guimarães e Major Claro Américo Guimarães apenas 02 árvores que não foram delineadas nas fotografias aéreas.

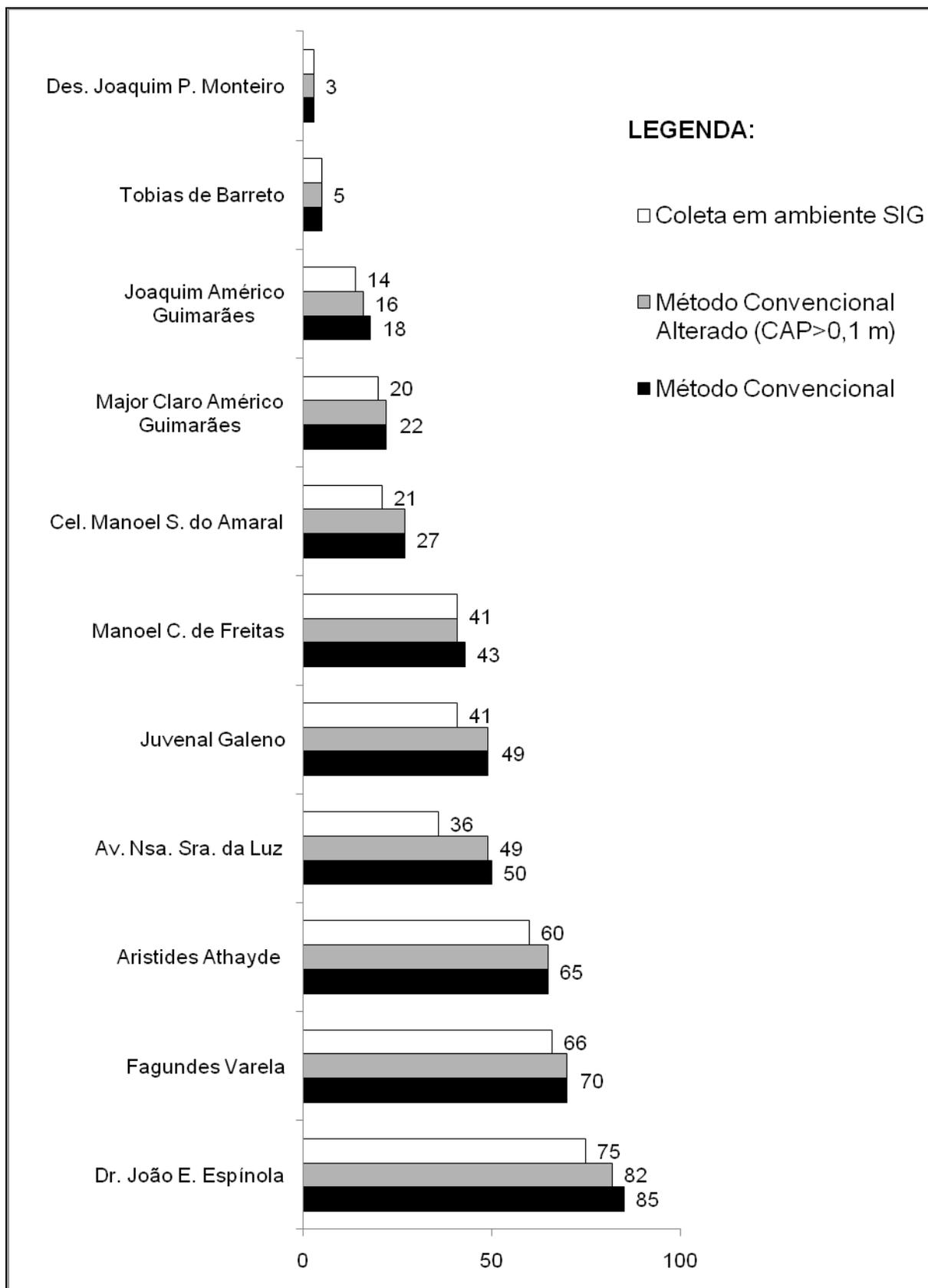


FIGURA 4.3 – APLICAÇÃO DOS TRÊS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ÁRVORES NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL, CURITIBA-PR

Percebeu-se que o delineamento em ambiente SIG resultou em números de árvores inferior aos métodos analisados.

Geralmente, na arborização de ruas, os plantios são esparsos e ocorre facilidade na detecção das árvores. Observaram-se altos percentuais de acerto, quando se comparou a detecção de árvores pela coleta em ambiente SIG na arborização viária com os encontrados em áreas de florestas nativas ou plantadas.

Pode-se afirmar que o resultado encontrado foi devido à densidade da arborização viária ser moderada. (GOUGEON<sup>2</sup> (2000) citado por DISPERATI *et al.*, 2007), ao pesquisar sobre a identificação de árvores individuais em florestas, com imagens de alta resolução, afirmou que se deve “pensar” em árvores individuais ao invés de em talhão florestal, sendo factível o traçado ou o delineamento das respectivas copas.

De acordo com Disperati *et al.* (2007), na utilização de fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii*, o baixo valor de erro obtido deve-se principalmente a uma moderada densidade de árvores e ao reflorestamento ter uma idade de plantio adulto, com suas árvores sobressaindo-se no dossel em relação àquelas que compõem a regeneração natural existente no local.

Aplicando os testes estatísticos, observou-se que os resultados da análise de variância revelaram que não há diferença estatisticamente significativa entre o método convencional, MCA e a coleta em ambiente SIG, indicando que quaisquer um destes podem ser usados para detecção de árvores na arborização viária (Tabela 4.8).

TABELA 4.8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste <i>f</i>	Valor de <i>p</i>
Entre os grupos	2	160,55	80,27	0,12	0,89
Dentro dos grupos	30	20.458,40	681,95		

O valor de *p* do teste *f* foi maior que 0,05, significou que não há diferença estatisticamente significativa entre a média dos tratamentos ao nível de significância

<sup>2</sup> GOUGEON, F.A. Towards semi-automatic forest inventories using individual tree crown (ITC) recognition. **Technology Transfer Note**, Victoria, n.22, p.1-6, 2000.

de 5%. Os resultados dos testes de comparação de médias dos dados analisados, para cada um dos métodos, são apresentados na Tabela 4.9.

TABELA 4.9 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS TRÊS MÉTODOS NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL

Tratamentos	Nº de Ruas	Média da quantidade de árvores	Desvio Padrão da Média
T1 – Método Convencional	11	39,73 A	± 27,04
T2 – MCA	11	39,00 A	± 26,65
T3 – Coleta em ambiente SIG	11	34,72 A	± 24,58

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente a 5% de significância

A comparação de médias múltiplas segundo o teste Student-Newman-Keuls (SNK) indicou que não existe diferenças estatisticamente significativas a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

TABELA 4.10 – DIFERENÇA ENTRE OS MÉTODOS AVALIADOS, NA AMOSTRA. JARDIM SOCIAL, CURITIBA-PR

Contraste	Diferenças
T1 – T2 (Método Convencional X MCA)	0,73
T1 – T3 (Método Convencional X Coleta em ambiente SIG)	5,00
T2 – T3 (MCA X Coleta em ambiente SIG)	4,27

De acordo com a Tabela 4.10 observa-se que as diferenças foram maiores entre o método de inventário convencional (T1) e a coleta em ambiente SIG (T3). Da mesma forma, a diferença entre o método convencional alterado (T2) e a coleta em ambiente SIG (T3) também foi alta, revelando que a eficiência na detecção de árvores em ambiente SIG foi reduzida nas ruas desta amostra.

A menor diferença entre os tratamentos foi em T1 – T2, equivalente a 0,73. Isto indica que não existem árvores jovens ou mudas nas ruas. Sendo assim, o método convencional alterado poderia ser descartado na comparação dos tratamentos.

#### 4.2.4 Limitações na Detecção das Árvores na Rua

As limitações na detecção de árvores podem ter diversas origens, sendo que nesta pesquisa foram observadas três. A primeira se refere as sombras dos edifícios sobre as ruas que geram perda de informações dos geo-objetos de análise. Essas sombras dificultam e/ou impossibilitam a visualização das árvores (Figura 4.4 – A).

Jensen (2009) ressalta que em fotografias, o sombreamento é provocado pelo tamanho dos objetos em relação à topografia ao seu redor, como montanhas e construções altas. As sombras podem escurecer outros objetos dificultando a sua detecção e identificação. Ainda que as áreas sombreadas apareçam em tons relativamente escuros, elas podem conter alguma luz espalhada das áreas da vizinhança, suficiente para iluminar o terreno, em diferentes graus, permitindo que se obtenha alguma informação a respeito da área sombreada (Figura 4.4 – B).

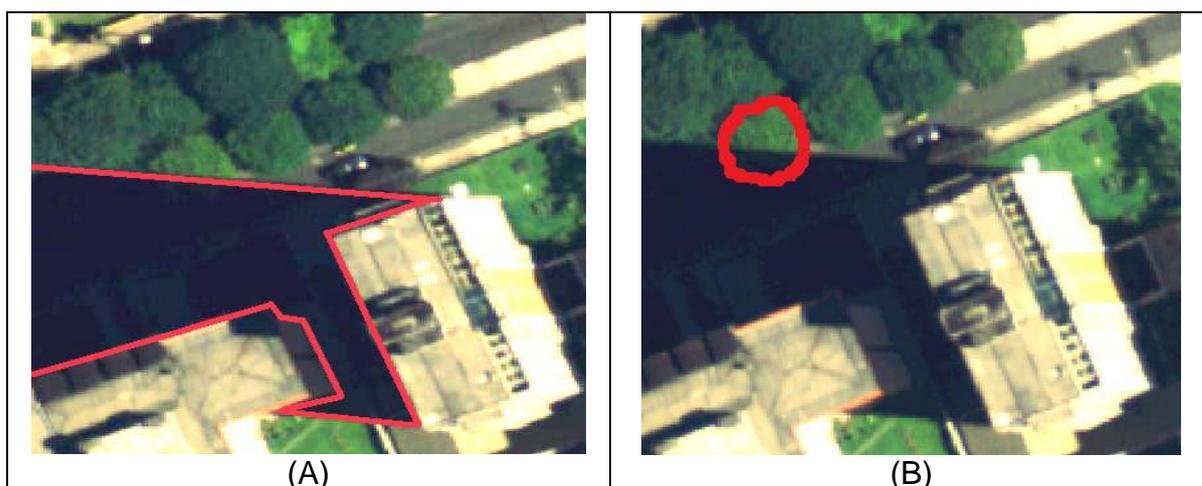


FIGURA 4.4 – EFEITOS DA SOMBRA NA DETECÇÃO DAS ÁRVORES NA RUA

NOTA: (A) – Sombra do edifício. (B) – Polígono detectado a partir da área iluminada da copa que possibilita o delineamento da árvore.

A segunda limitação ocorre devido à idade das árvores. Uma arborização recém plantada não apresenta copa expressiva e não pode ser enxergada pelo fotointérprete. Essa dificuldade de delineamento pode ser eliminada quando o cadastro da arborização através do inventário convencional é feita concomitante ao tratamento das imagens. Sendo assim, a localização de novos plantios e demais informações obtidas em campo podem ser incorporadas ao SIG integrando dados da arborização em análise.

A terceira limitação é a estação do ano na qual ocorreu a aquisição da imagem. Algumas espécies são caducifólias apresentando dificuldades no processo de formação de poligonais que representam a arborização de ruas (Figura 4.5 – A).



FIGURA 4.5 – EFEITOS DA FENOLOGIA NA DETECÇÃO DA ÁRVORE

NOTA: (A) – Árvore detectada pela sombra dos galhos, não apresenta folhas. (B) – Polígono da árvore detectado a partir das sombras.

Esta dificuldade pode ser contornada com o conhecimento dos hábitos das espécies (perene ou caduca) e o estágio fenológico em que se encontra a época do ano que a imagem foi capturada.

De acordo com Disperati, Amaral e Schuler (2007), na análise da vegetação é importante conhecer as alterações fenológicas que ocorrem nas árvores. Esse conhecimento facilita a tomada de decisão sobre qual a melhor época do ano para o aerocobrimento tendo em vista o mapeamento de determinada espécie ou diversas espécies.

Na Figura 4.5 – B foi possível detectar a árvore (polígono) e fazer a projeção de sua copa dando *zoom* na imagem em ambiente SIG. Este tratamento não pôde ser realizado em todas as espécies com característica caducifólia devido à inexistência de sombras na imagem que permitissem o delineamento da copa. Nesses casos, a árvore foi somente detectada através do método convencional.

#### 4.3 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO CONVENCIONAL E MÉTODO DE COLETA EM AMBIENTE SIG NA AFERIÇÃO DA VARIÁVEL DENDROMÉTRICA ÁREA DE COPA, EM UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR

Na presente pesquisa os resultados processados em ambiente SIG e conferidos junto aos inventários convencionais contaram com a representação vetorial para cada rua em cada uma das unidades amostrais apresentados nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8.

##### 4.3.1 Unidade Amostral Bigorrilho

Na amostra Bigorrilho, o percentual de acerto que a área de copa das árvores mensuradas em ambiente SIG representou com relação aos dados coletados no inventário convencional foi de 92,42%.

Estatisticamente, na comparação de média entre os métodos em ambiente SIG e Inventário Convencional, observou-se que não há diferença significativa entre as médias das duas amostras no nível de confiança de 95% (Tabela 4.11).

TABELA 4.11 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE A COLETA EM AMBIENTE SIG E INVENTÁRIO CONVENCIONAL

Unidade Amostral	Coleta em ambiente SIG	Método Convencional	Teste <i>t</i>	Valor de <i>p</i>
Bigorrilho	2.338,11	2.160,97	-0,152	0,88

Os resultados apresentados na Tabela 4.11 mostram que o valor de *p* obtidos do teste *t* é superior a 0,05. Assim, não se pode rejeitar a hipótese nula, de que o método de coleta processada em ambiente SIG é igual ao Método Convencional.

Na Rua Martin Afonso (Tabela 4.12), foi registrada a maior diferença da área de copa das árvores, sendo que, a coleta em ambiente SIG ultrapassou em 56,6% a medida realizada em campo. Esta diferença pode estar associada à época de coleta do inventário convencional ou da aquisição de imagem. Além disso, o tipo predominante de edificação na rua pode ter gerado sombras ocasionando confusão na definição das áreas de copa pelo fotointérprete.

TABELA 4.12 – VALORES DA VARIÁVEL ÁREA DE COPA PARA OS MÉTODOS CONVENCIONAL E COLETA EM AMBIENTE SIG NA AMOSTRA BIGORRILHO

Ruas	Método Convencional (m <sup>2</sup> )	Coleta em ambiente SIG (m <sup>2</sup> )	Diferença entre os métodos analisados (%)	Área de Copa média (m <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
Fernando Simas	9.195,97	9.538,34	3,59	405,89	± 239,12
Pres. Taunay	1.411,19	1.565,15	9,84	76,35	± 123,36
Ângelo Sampaio	2.582,34	2.207,47	16,98	210,24	± 118,18
Des. Mota	1.778,52	1.518,95	17,09	253,16	± 102,38
Cândido Hartman	287,64	240,65	19,53	30,08	± 23,56
Júlia Costa	1.556,12	2.007,65	22,49	125,48	± 142,10
Princesa Isabel	819,66	1.062,92	22,89	163,53	± 99,97
Padre Anchieta	4.294,65	5.828,01	26,31	164,17	± 103,59
Padre Agostinho	1.486,97	1.061,49	40,08	92,30	± 147,12
Fernando Moreira	84,00	58,67	43,17	163,53	± 99,97
Martin Afonso	273,61	629,87	56,56	74,10	± 79,67

As diferenças entre os métodos também foram altas nas ruas Fernando Moreira (43,17%) e Padre Agostinho (40,08%). No entanto, os valores médios da área de copa das árvores destas ruas pelo método convencional foram maiores.

A menor diferença com relação à área de copa entre os métodos foi registrada na Rua Fernando Simas (3,59%). Possivelmente essas diferenças foram menores porque a quantidade de árvores detectadas na imagem foi apenas de um indivíduo a menos que no método convencional.

Observou-se que das 11 ruas da amostra Bigorriho, seis apresentaram área de copa obtida pelo método de coleta em SIG maior que no inventário convencional.

A partir das médias de área de copa e os seus desvios, apresentados na Tabela 4.12, observou-se que as árvores plantadas apresentam diferentes tamanhos de copa em cada uma das ruas. O porte arbóreo está relacionado com a área de copa, isto é, árvores com maior porte apresentam maior área de copa. De acordo com Silva, Paiva e Gonçalves (2007) a área de copa é uma medida útil para se ter idéia do porte da árvore.

Na Figura 4.6 é possível perceber que as maiores copas das árvores se concentram na Rua Fernando Simas e as árvores com menor porte na Rua Cândido

Hartman. Esta constatação pode ser comprovada pela tabela 4.12, a qual discrimina o processamento das áreas de copa média em ambiente SIG.

As representações espaciais das amostras facilitam a ida às ruas para efetuar os inventários e plantios em locais com menores quantidades de árvores. Godfrey (2001) associou cadastros da arborização urbana com sistemas de informações geográficas, resultando em representações espaciais e conseqüentemente, melhor manejo da arborização urbana.

Oliveira Filho e Silva (2010) ao implantar e utilizar um sistema de informações geográficas direcionado para a gestão da arborização urbana no município de Guarapuava-PR, afirmou que em caso de implantação da arborização em novas áreas, os dados espaciais disponíveis no sistema têm grande importância e devem ser considerados no planejamento.

Dessa forma, a elaboração de cartas temáticas demonstra sua utilidade no controle operacional das atividades para dar suporte às decisões no manejo da arborização de ruas. Silva Filho, *et al.* (2002) ao criar um banco de dados relacional para auxiliar no cadastro informatizado, na avaliação e no manejo da arborização de vias públicas destacou a necessidade de incorporar aplicativos de geoprocessamento, possibilitando visualização espacial.



FIGURA 4.6 – CONFIGURAÇÃO DE ÁRVORES EM CADA RUA DA AMOSTRA BIGORRILHO, CURITIBA/PR

A variação que ocorre entre as médias da área de copa evidenciam árvores em diferentes estágios de desenvolvimento. Para arborização viária o ideal é que se tenham árvores de mesma espécie e idade compondo uma rua. Isto facilita as práticas de manutenção da arborização, tornando-as menos onerosas aos cofres públicos.

No entanto, não é possível prever a existência de fatores que impedem o desenvolvimento das árvores, podendo ser: tempestades, vendavais, chuva de granizo, seca prolongada, vandalismo, incidência de pragas e doenças (BIONDI; ALTHAUS, 2005). Existem fatores que ainda não constam no planejamento, tais como: insuficiência de área de canteiro para crescimento da árvore, fertilização do solo e adequada rustificação de mudas. Estas causas interferem diretamente na permanência das árvores nas ruas e fazem com que as mesmas necessitem ser re-arborizadas. Conseqüentemente, as vias onde se pratica o replantio, irão apresentar árvores com diferentes idades e áreas de copa.

#### 4.3.2 Unidade Amostral Água Verde

Na unidade amostral Água Verde, a área de copa das árvores coletadas em ambiente SIG representou 81,29% do inventário convencional. As diferenças de valores na área de copa obtidos nos dois métodos para esta amostra foi em média de 30,99%.

O resultado da comparação de médias entre os métodos comprovou que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias dos dois métodos a 95% de confiança (Tabela 4.13).

TABELA 4.13 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE O MÉTODO DE COLETA EM AMBIENTE SIG E INVENTÁRIO CONVENCIONAL

Unidade Amostral	Coleta em ambiente SIG	Método Convencional	Teste <i>t</i>	Valor de <i>p</i>
Água Verde	1.249,78	1.537,42	0,72	0,48

Como o valor de  $p$  é superior a 0,05, se aceita a hipótese que o método de coleta em ambiente SIG é igual ao Método Convencional.

Foi observado que no método convencional de inventário, as áreas de copa foram maiores em todas as ruas da amostra (Tabela 4.14).

TABELA 4.14 – VALORES DA VARIÁVEL ÁREA DE COPA PARA OS MÉTODOS DE COLETA EM AMBIENTE SIG E CONVENCIONAL NA UNIDADE AMOSTRAL ÁGUA VERDE

Ruas	Método Convencional (m <sup>2</sup> )	Coleta em ambiente SIG (m <sup>2</sup> )	Diferença entre os métodos analisados (%)	Área de Copa média (m <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
Assis Gonçalves	869,75	866,78	0,34	36,12	± 42,13
Mon. Manoel Vicente	2.092,31	2.042,35	2,45	28,77	± 26,80
Dom Pedro I	368,68	345,95	6,57	21,62	± 19,73
Profº Luiz Cesar	2.024,75	1.891,83	7,03	171,98	± 124,74
Murilo do Amaral	1.869,7	1.679,60	11,32	25,07	± 19,57
Santa Catarina	857,02	766,32	11,84	23,22	± 19,23
Palmeiras	2.419,27	1.946,13	24,31	29,05	± 20,54
Marquês do Paraná	342,67	266,95	28,36	14,83	± 8,21
Alcebíades Plaisant	3.762,19	2.690,08	39,85	67,25	± 65,80
Av. dos Estados	1.469,67	914,84	60,65	48,15	± 26,21
Rio Grande do Sul	835,64	336,71	148,18	33,67	± 25,61

A maior diferença entre os métodos foi registrada na Rua Rio Grande do Sul, em que o método convencional apresentou uma área de copa 148,18% maior que o obtido pela coleta em ambiente SIG. Este alto percentual de diferença obtida nas áreas de copa entre os dois métodos pode ter sido proveniente do número de árvores não detectadas na imagem, pois em ambiente SIG não foram delineadas 05 árvores que estavam presentes no inventário convencional.

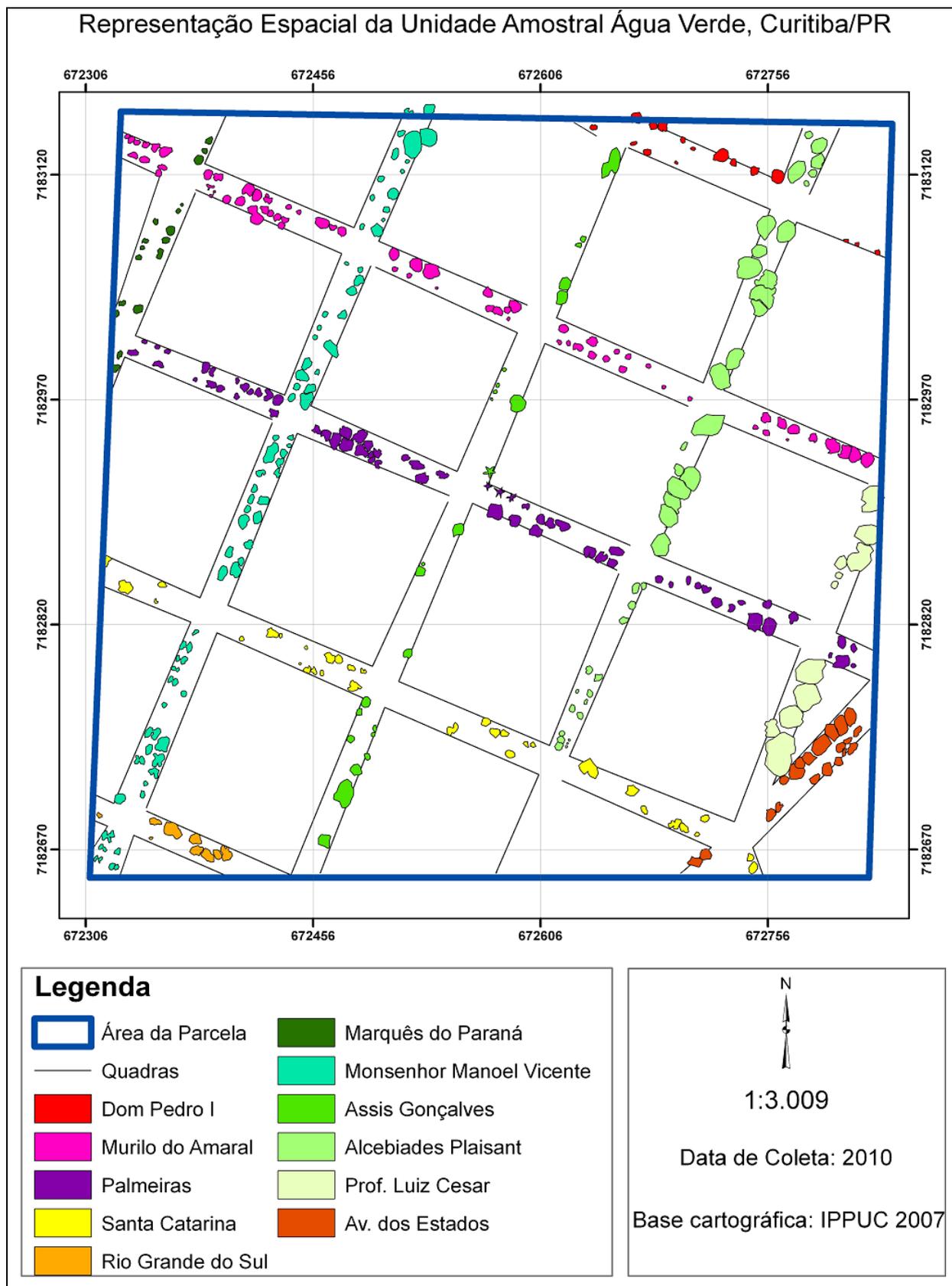
A Avenida dos Estados também apresentou alto percentual de diferença entre os dois métodos (60,65%). A não detecção das copas, conforme anteriormente citado, pode ser originada do entrelaçamento de copas, estado fenológico das árvores ou sombra das edificações sobre o geo-objeto (árvore).

Em contraponto, a menor diferença entre as áreas de copa foi de 0,34%, observada na Rua Assis Gonçalves. Cabe ressaltar que nesta rua foi detectada a mesma quantidade de árvores coletadas em ambiente SIG e método convencional.

De acordo com a Tabela 4.14, a menor área de copa está na Rua Marquês do Paraná, o menor desvio padrão indica árvores com menor porte na amostra. O desvio padrão com o valor mais alto indica que as árvores desta rua apresentam portes ou idades diferentes.

As árvores com maior porte podem ser observadas na Rua Prof<sup>o</sup> Luiz Cesar (Figura 4.7).

Além da Tabela 4.14 a Figura 4.7 também demonstra que o porte ou tamanho dos indivíduos arbóreos na amostra é desigual. Isto pode estar indicando a presença de árvores com tamanhos, idades e espécies diferentes. Além disso, a imagem pode ainda estar demonstrando a remoção de copas por práticas de podas drásticas.



**FIGURA 4.7 – CONFIGURAÇÃO DE ÁRVORES EM CADA RUA DA AMOSTRA ÁGUA VERDE, CURITIBA/PR**

#### 4.3.3 Unidade Amostral Jardim Social

Na unidade amostral Jardim Social, observou-se que a área de copa das árvores obtidas em ambiente SIG correspondeu a 88,01% das coletas realizadas no inventário convencional.

A média da diferença percentual entre os dois tratamentos (SIG e Inventário Convencional) foi 16,18%.

A análise estatística entre a mensuração pelo método convencional e a coleta em ambiente SIG constatou que o valor de  $p$  (0,10) sendo maior que 0,05, não há diferença estatisticamente significativa a 5% de significância (Tabela 4.15).

TABELA 4.15 – COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE A COLETA EM AMBIENTE SIG E INVENTÁRIO CONVENCIONAL

Unidade Amostral	Coleta em ambiente SIG	Método Convencional	Teste t	Valor de $p$
Jardim Social	1.778,99	1.084,42	1,70	0,10

Na tabela 4.15 observa-se que a maior diferença entre os métodos foi na Rua Cel. Manoel S. do Amaral (37,49%). Possivelmente essa diferença foi causada pela diferença de quantidade de árvores detectadas na ortoimagem, que foi de 06 árvores a menos que na coleta de campo.

Nas ruas Aristides Athayde, Fagundes Varela, Major Claro A. Guimarães, Joaquim Américo Guimarães foi registrado a diferença percentual entre 20 e 30%, sendo que, na Rua Major Claro Américo Guimarães as medições dos polígonos (área de copa) em ambiente SIG foram maiores que no outro método.

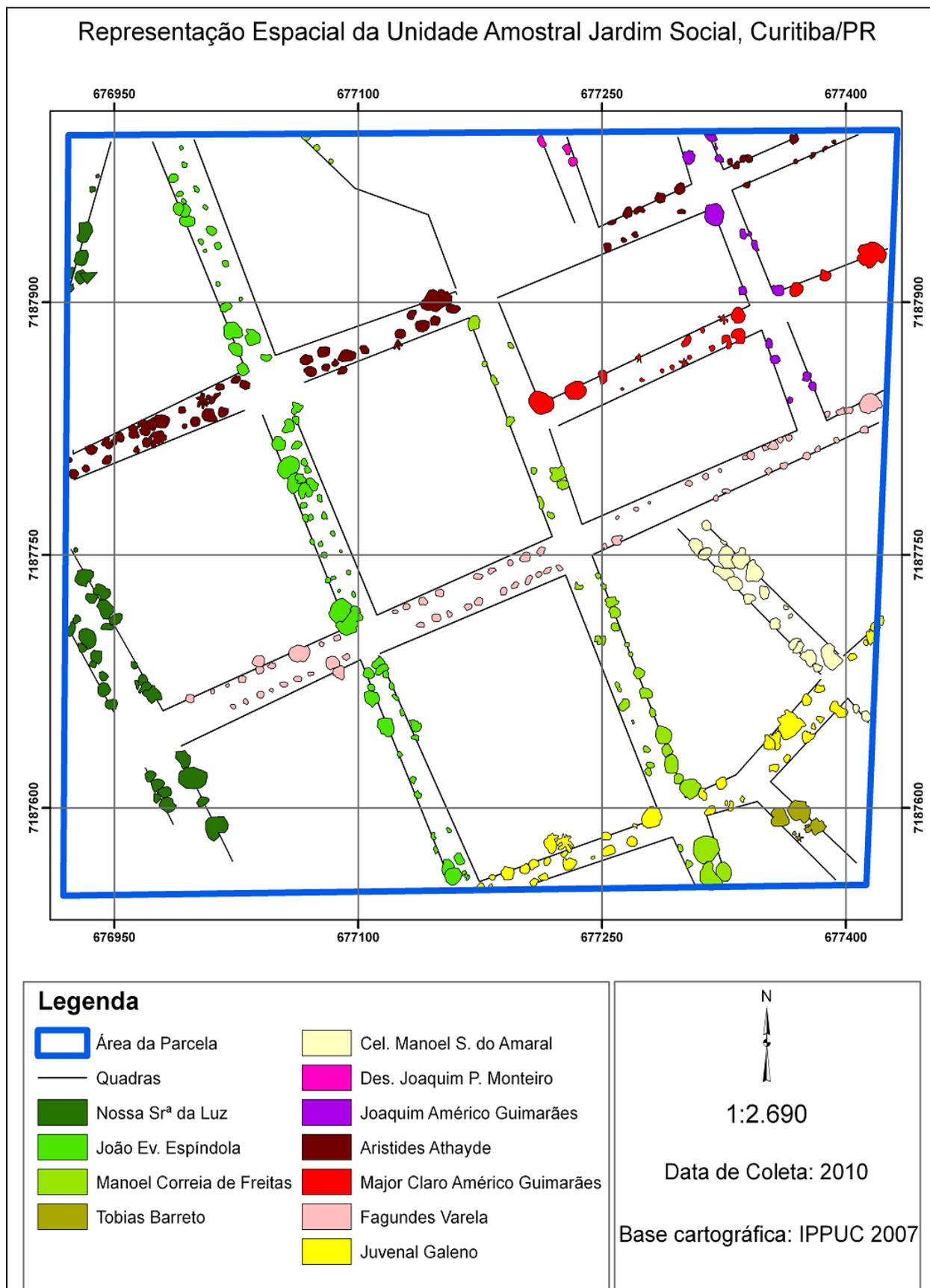
A influência do padrão de construções nesta amostra, sendo ZR-1 de acordo com IPPUC (2010) que não gerou sombras que dificultassem o delineamento. O maior espaçamento entre as árvores resultou em um melhor contorno das copas.

TABELA 4.16 – VALORES DA VARIÁVEL ÁREA DE COPA PARA OS MÉTODOS DE COLETA EM AMBIENTE SIG E CONVENCIONAL NA AMOSTRA JARDIM SOCIAL

Ruas	Método Convencional (m <sup>2</sup> )	Coleta em ambiente SIG (m <sup>2</sup> )	Diferença entre os métodos analisados (%)	Área de Copa média (m <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
Joaquim Américo Guimarães	1.239,28	1.260,65	1,70	45,43	± 43,89
Manoel C. de Freitas	2.193,82	2.135,41	2,74	52,08	± 61,29
Des. Joaquim P. Monteiro	74,64	70,52	5,83	23,51	± 0,55
Dr. João E. Espinola	3.384,06	3.147,92	7,50	41,97	± 47,79
Tobias Barreto	524,17	482,91	8,54	96,58	± 86,65
Av. Nsa. Sra. da Luz	2.984,65	2.595,41	15,00	70,15	± 55,87
Aristides Athayde	2.949,9	2.448,68	20,47	40,81	± 37,51
Fagundes Varela	2.095,32	1.671,38	25,36	25,32	± 28,32
Juvenal Galeno	2.444,45	1.939,35	26,04	47,30	± 48,61
Major Claro A. Guimarães	611,18	840,43	27,28	63,03	± 81,58
Cel. Manoel S. do Amaral	2.020,47	1.469,5	37,49	69,98	± 51,14

As menores diferenças foram verificadas na Rua Joaquim Américo Guimarães (1,70%) e Manoel C. de Freitas (2,74%), ambas com diferença de 02 árvores não detectadas a partir de sua copa, com uso de SIG. Na primeira rua, a área de copa em ambiente SIG foi maior que no método convencional.

Pode-se observar na Figura 4.8, que os polígonos representativos das maiores médias de área de copa foram nas ruas Tobias Barreto e Joaquim Américo, enquanto os menores foram nas ruas Fagundes Varela e Des. Joaquim P Monteiro. As demais ruas também apresentaram árvores com áreas de copas menores, mas como os desvios foram altos (Tabela 4.16), as médias mascararam os reais valores das árvores. Pode ser devido ao porte ou tamanho das árvores serem heterogêneos, provavelmente as espécies plantadas não são as mesmas, ou ainda, que existem plantios novos (Tabela 4.16). Já a Rua Des. Joaquim P. Monteiro apresentou um baixo desvio padrão, indicando uma maior homogeneidade no porte ou tamanho das árvores.



**FIGURA 4.8 – CONFIGURAÇÃO DE ÁRVORES EM CADA RUA DA AMOSTRA JARDIM SOCIAL, CURITIBA/PR**

#### 4.3.4 Restrições na Detecção da Área de Copa

Para analisar as diferenças entre os métodos apresentados nesta pesquisa é necessário considerar os erros de medição e observação que existem na realização dos inventários. Para os métodos SIG e método convencional podem incorrer erros que não configuram uma satisfatória medição e os valores podem se tornar precisos.

Soares, Paula Neto e Souza (2006) afirmam que existem sempre erros associados ao ato de medir um objeto. Com a realização de um inventário florestal são realizadas diversas medições das árvores e estas medições podem estar em maior ou menor grau, afetadas por erros.

Os objetos medidos em um inventário florestal não têm forma geométrica regular definida, o que dificulta a medição exata. Outros erros são provenientes dos aparelhos de medição, que se não forem calibrados adequadamente podem apresentar alta amplitude de erros (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2006).

Da mesma forma, Silva (2003) afirma que em projetos desenvolvidos com SIG, é muito importante medir a representatividade dos dados. Entre os dados espaciais, sempre existe incerteza e o erro. Para garantir a qualidade dos dados em um SIG é indispensável que sejam realizados testes para garantir a acurácia dos dados, uma vez que é praticamente impossível o SIG trabalhar com dados exatos.

Mesmo com os erros existentes, a aplicação de técnicas de Geoprocessamento para delineamento de geo-objetos em imagens apresenta melhor desempenho que as áreas medidas em campo (OLIVEIRA, 1980; LOBÃO, 1996; DISPERATI; OLIVEIRA FILHO, 2002; DISPERATI *et al.* 2007; DISPERATI; AMARAL; SCHULER, 2007).

No delineamento visual de copas de árvores e sua integração em um SIG, Oliveira Filho e Picheth (2004) afirmam que resultados satisfatórios podem ser obtidos e vai depender das características estruturais das florestas. O mapeamento de copas individuais pode ser vetorizado em um Sistema de Informações Geográficas junto com os dados alfanuméricos e atributos espaciais, proporcionando consultas e visualização dos resultados com maior acurácia.

Em áreas de floresta, a dificuldade na detecção de copa está no adensamento do povoamento florestal, presença de sombras periféricas e aos diferentes estratos arbóreos (componentes da estrutura da floresta).

Para arborização de ruas devem ser consideradas as limitações no delineamento das copas como sombras, pois nas ortofotos existe um efeito de deslocamento devido à altura da edificação. Este problema é agravado em áreas urbanas densas pela existência de sombras projetadas pelos edifícios, que encobrem os geo-objetos (árvores) existentes.

As sombras indicam áreas na superfície do solo não iluminadas e exibem uma tonalidade muito escura na imagem impedindo o perfeito delineamento das árvores, conseqüentemente altera a área de copa (LIMA NETO; BIONDI; ARAKI, 2010). Além disso, o entrelaçamento de copas na arborização dificulta a definição dos limites de contorno das árvores durante o processamento da imagem.

A hora do dia adequada para obter fotografias aéreas influencia na qualidade da imagem e interpretação visual. O ângulo solar menor que 30° pode não fornecer suficiente iluminação ou reflectância adequada da cena. Além disso, fotos aéreas tiradas com ângulo solar muito baixo em estudos urbanos são normalmente inaceitáveis em estudos urbanos, devido às grandes sombras projetadas por árvores e edificações que podem obscurecer informações importantes da cena (JENSEN, 2009).

Outra característica restritiva no delineamento de copas e detecção de árvores de rua é o limite das construções. Quando não se tem informações a respeito dos limites da rua e das construções é impossível distinguir quais árvores pertencem às residências ou à arborização de rua (Figura 4.9).

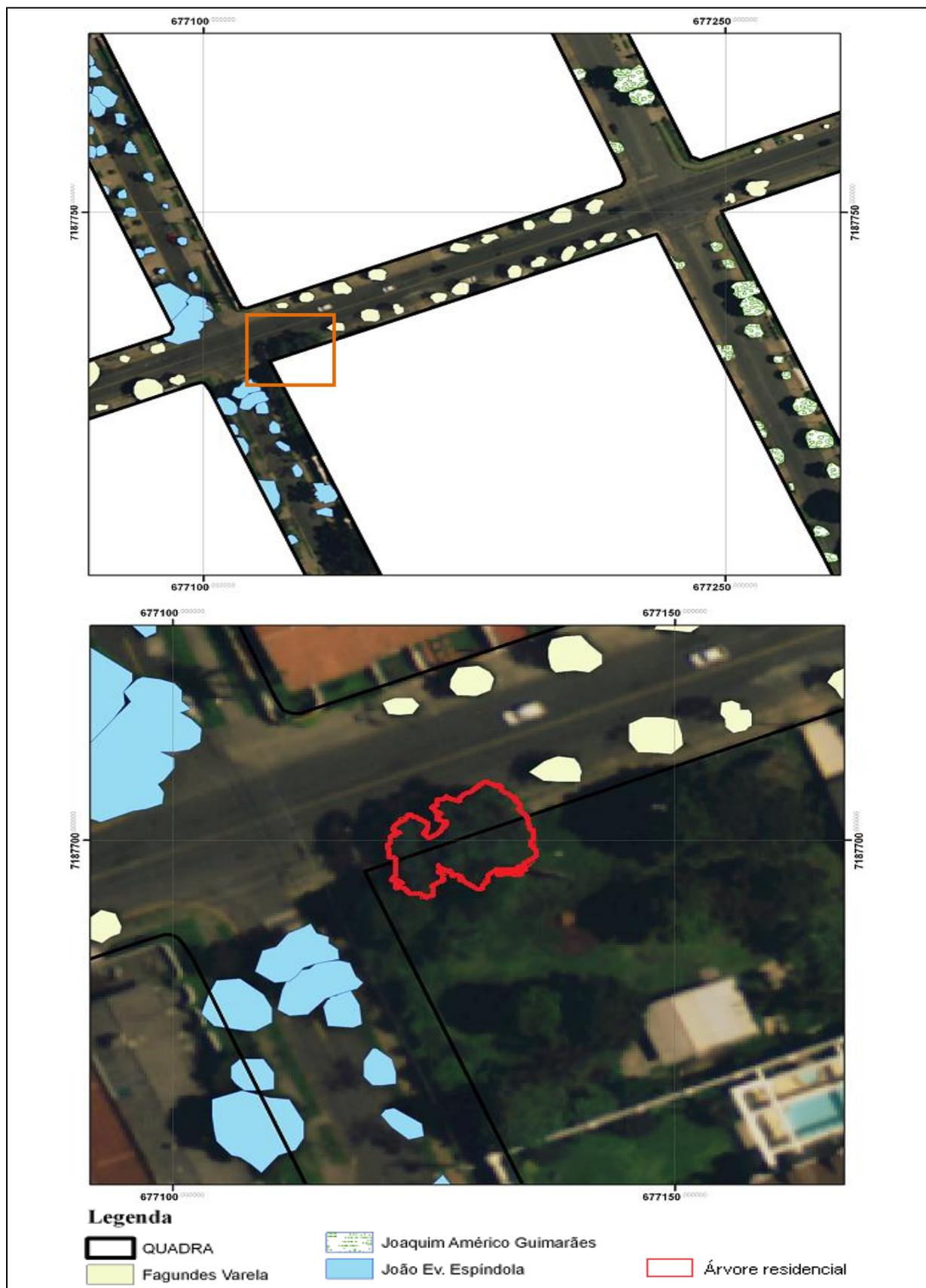


FIGURA 4.9 – COPA DE ÁRVORE DE RESIDÊNCIAS DIFICULTANDO A DETECÇÃO DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS

É importante conferir os dados do inventário convencional com aqueles obtidos com uso de SIG a fim de constatar se o geo-objeto está sendo relacionado à sua real localização em campo. Para tanto, são exigidas técnicas de fotointerpretação e imagens adquiridas com qualidade.

#### 4.4 DIFERENÇAS ENTRE MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE COPAS DAS ÁRVORES DE RUA, EM UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR

O espaçamento entre as copas é uma variável importante na coleta de dados da arborização, já que um pequeno espaçamento entre as copas das árvores pode influenciar benéficamente a amenização do clima urbano e o grande espaçamento pode detectar áreas propícias para novos plantios.

Foi observado que a aferição da variável espaçamento entre copas a partir da aplicação dos métodos de coleta em ambiente SIG e método Convencional apresentaram diferenças métricas. Na Tabela 4.17 encontram-se as diferenças entre os dois métodos em que foram mensurados os espaçamentos de copa, distribuídas em classes.

TABELA 4.17 – DIFERENÇAS ENTRE COLETA EM AMBIENTE SIG E CONVENCIONAL NA AFERIÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE COPAS

Nº	Classes de Diferença (m)	Frequência de Árvores por Amostra		
		Bigorriho	Água Verde	Jardim Social
1	>15,00	1,84%	3,66%	0,34%
2	10,0 - 14,99	5,07%	3,30%	0,34%
3	5,0 - 9,99	9,22%	9,89%	1,36%
4	1,0 - 4,99	20,74%	21,98%	19,05%
5	0,0 – 0,99	27,65%	27,47%	45,24%
6	Entrelaçamento de copas	35,48%	33,70%	33,67%

Observou-se que nas três amostras analisadas 27,65% das árvores apresentaram uma variação de 0,0 a 0,99 metros, entre os métodos testados (Tabela 4.17). Sendo assim, observou-se que a maior frequência de arvores foi na menor classe de diferença (0 – 0,99 metros), ou seja, a maior quantidade de árvores apresentou variação menor que 1,00 metro, entre os métodos analisados. É

necessário ter melhor definição de que método pode ser usado a fim de que os erros sejam minimizados na mensuração desta variável.

Quanto menor as diferenças entre os métodos melhor é o resultado de análise da variável e maior eficácia dos métodos testados. As diferenças entre os métodos podem resultar em erros de superestimação ou subestimação de áreas que nas ruas (realidade) não possuem copas.

Na realização de inventários florestais, ocorrem erros sistemáticos de observação e medição originando desvios mais graves em relação ao valor correto. O enviesamento, que são os tipos de desvios sistemáticos em relação a esse valor correto pode ser causado por erros humanos e utilização de um método de estimação inconsistente (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2006). Isto faz com que não se rejeite completamente a utilização tanto da coleta em ambiente SIG quanto do método convencional.

Foram observadas que as diferenças de mensuração do espaçamento de copas eram maiores que 15,00 metros em 1,84%, 3,36% e 2,66% das árvores das amostras Bigorriho, Água Verde e Jardim Social, respectivamente (Tabela 4.17).

Os métodos apresentaram as diferenças de espaçamento de copas na classe de 1,0 a 4,99 metros (nº 4) com altas frequências, sendo Bigorriho com 20,74%, Água Verde com 21,98% e Jardim Social com 19,05% (Tabela 4.17). À medida que as diferenças entre os métodos de coleta aumentam, a frequência de árvores diminui, demonstrando que as maiores diferenças entre os métodos testados ocorrem em poucas árvores das amostras.

A diferença entre os métodos pode resultar em erros de localização das árvores. Esses erros são maiores que os diâmetros médios de copa, o que ocasiona uma superestimação de valores. Dessa forma, as diferenças entre os dois métodos de medição indicam a inconsistência de um deles para o planejamento da arborização. Uma diferença menor que 1,00 metro entre métodos aplicados pode ser tolerável, tendo em vista que Silva, Paiva e Gonçalves (2007) afirmam que para esta variável não é necessária alta precisão.

Vale ressaltar que o delineamento de copas e o efeito de sombras na imagem interferem diretamente no espaçamento entre copas, e isto ocasiona distorções na localização das árvores que foram mensuradas. Observou-se que essas diferenças foram oriundas das ortofotos que não apresentaram correções das informações que estavam acima da superfície, como por exemplo, as edificações e

as árvores. Isto dificultou o fotointérprete para a localização exata, resultando em diferenças de localização espacial do geo-objeto (árvore).

O deslocamento dos objetos na superfície é comum quando se faz uso das cenas obtidas nas partes periféricas das fotografias aéreas. É recomendado que as imagens sejam utilizadas na posição central, evitando os erros da geometria da visada. A geometria da visada posiciona objetos da superfície com distorções, ora devido à topografia, ora devido retificação.

De acordo com Jensen (2009) é arriscado fazer medições precisas em fotografias aéreas não-retificadas. O ideal é que os dados da fotografia aérea estejam retificados e corrigidos geometricamente para se tornarem, de fato, uma ortomagem, onde todos os objetos estão em sua real localização planimétrica em coordenadas (x, y).

#### 4.4.1 Entrelaçamento de Copas

No cálculo do espaçamento entre copas foi observada a ocorrência de entrelaçamento de copas das árvores, que implicou na dimensão das somas dos raios da árvore ser maior que a distância entre as mesmas, considerando a medição de fuste a fuste, no sentido longilíneo da rua.

No método convencional foram observados dois tipos de entrelaçamento de copa das árvores. O primeiro em árvores do mesmo alinhamento da calçada e o segundo foi um entrelaçamento de copas irreal, pois as árvores não se tocaram, apenas estavam em alinhamento diferente nas calçadas.

Observou-se que as amostras Bigorriho (35,48%), Água Verde (33,70%) e Jardim Social (33,67%) apresentaram entrelaçamento de copas ou copas que se tocavam. O maior percentual de entrelaçamento encontrado foi na Amostra Bigorriho (Figura 4.10), sendo possível a visualização de corredores ou túneis de árvores nas ruas.

O entrelaçamento pode ser obtido como objetivo da arborização à medida que se deseja formar túneis ou corredores microclimáticos e beneficiar a avifauna (BIONDI; ALTHAUS, 2005).



FIGURA 4.10 – COBERTURA ARBÓREA DA AMOSTRA BIGORRILHO, COM DESTAQUE PARA OS CORREDORES DA ARBORIZAÇÃO DE RUAS

Cabe ressaltar que na aferição de copas entrelaçadas através da coleta em ambiente SIG foram observadas dificuldades no delineamento de copas, pois a interpretação visual é prejudicada quando não há diferença de textura e forma.

Segundo Jensen (2009), como elemento de interpretação da imagem, a textura é a disposição e o arranjo de tons de cinza ou cores que se repetem em uma

imagem. Em fotografia aérea a textura é criada pela repetição das tonalidades de grupos de objetos, que podem ser muito pequenos para serem discernidos individualmente.

Quando ocorre o entrelaçamento, a forma das copas das árvores tornam-se amorfas, ou seja, sem uma forma clara na imagem. O delineamento da copa de uma árvore em ambiente SIG tende a mensurar o espaçamento entre as árvores bem menor que o obtido em campo devido a uma aproximação feita pelo fotointérprete, que considera as sombras periféricas que existem entre as árvores entrelaçadas.

A forma assumida por objetos dificulta a interpretação e o reconhecimento do mesmo em fotografias aéreas ou outro tipo de imagem (JENSEN, 2009).

Nesse sentido, com utilização de fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento, Disperati *et al.* (2007) afirmou que foi possível delimitar o perímetro da maioria das copas das árvores e a marcação do correspondente topo das árvores. No entanto, o espaçamento entre as árvores não era uniforme em toda a área, pois havia alguns agrupamentos de árvores cujas copas se tocavam, dificultando a delimitação individual da copa e mesmo a marcação do topo da árvore, ensejando nessas condições interpretativas, subjetividade por parte do fotointérprete.

Da mesma forma que em ambiente florestal, na arborização de ruas a delimitação do contorno também ficou a critério do fotointérprete, que não tem informação suficiente das copas que estão entrelaçadas na imagem. Na realidade, os galhos e folhas das árvores podem estar se cruzando em diversas alturas, sentidos e direções, então isto só pode ser observado com a realização das atividades em campo.

Os trabalhos de campo, no entanto, também têm suas limitações, uma vez que não é observado pela equipe de medição o dossel superior das árvores, que termina proporcionando uma estimativa do entrelaçamento de copas com grande variação métrica.

Em povoamentos abertos e não muito densos, onde as copas são separadas e distintas, é fácil de efetuar a contagem utilizando fotografias aéreas (DISPERATI *et al.*, 2007). Este fato evidencia que onde a arborização apresentou o entrelaçamento de copas são consideradas áreas densas gerando diferenças entre os métodos de coleta em ambiente SIG e Convencional na aferição desta variável.

## 4.5 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES ESPACIAIS DA ARBORIZAÇÃO URBANA

### 4.5.1 Índice de Cobertura Arbórea (ICA)

Um dos produtos da cobertura arbórea é a espacialização da cobertura da arborização viária. Na presente pesquisa a Figura 4.11 representa essa espacialização nas ruas das amostras Bigorrilho, Água Verde e Jardim Social.

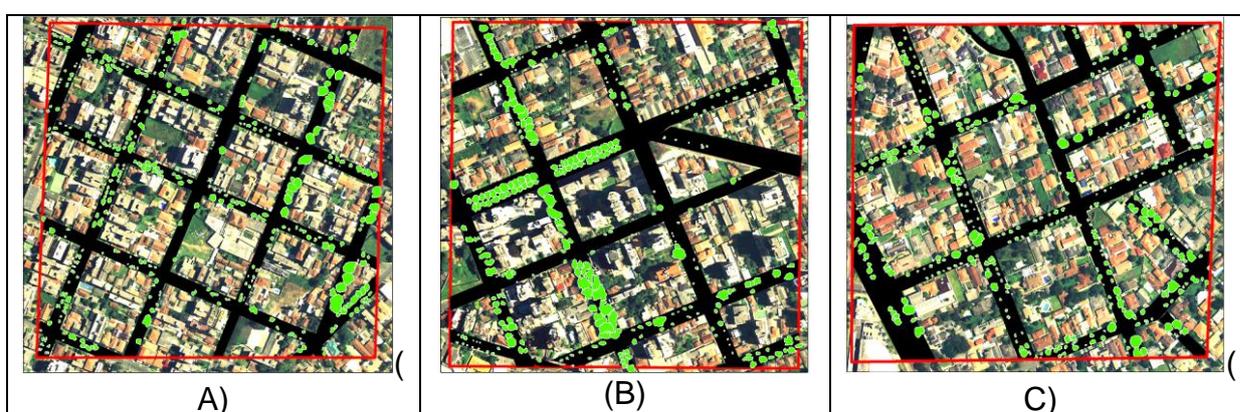


FIGURA 4.11– REPRESENTAÇÃO DA COBERTURA ARBÓREA, NAS UNIDADES AMOSTRAIS ÁGUA VERDE (A), BIGORRILHO (B) E JARDIM SOCIAL (C)

A análise espacial da arborização de ruas auxilia no planejamento urbano e indica o percentual da cobertura arbórea, pois a arborização de ruas configura um intenso canal para que haja a interligação ecológica entre os parques, praças e remanescentes florestais no espaço intra-urbano. De acordo com Kurihara e Encinas (2003), as árvores urbanas além de estarem relacionadas com a qualidade de vida das pessoas, alteram decididamente o microclima e tendem a formar corredores ecológicos urbanos muito úteis principalmente para a avifauna, tornando-se necessário o conhecimento do potencial da vegetação urbana.

Para Carrara (1992) o conhecimento da cobertura vegetal permite aos planejadores monitorarem e estabelecem medidas decisivas para estudos ecológicos urbanos.

A cobertura vegetal urbana passou a ser um objeto interessante de estudo, o que pode ser explicado pelos inúmeros motivos que a sua falta causa como o aumento da formação de ilhas de calor, das temperaturas, da poluição do ar,

redução da umidade relativa e deterioração da estética urbana (MOURA; NUCCI, 2008).

A Tabela 4.18 apresenta o resultado da análise espacial de cobertura arbórea nas amostras Água Verde, Bigorriho e Jardim Social.

TABELA 4.18 – ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA NAS UNIDADES AMOSTRAIS, CURITIBA-PR

Unidades Amostrais	Área da Rua (m <sup>2</sup> )	Área de Copa na Amostra (m <sup>2</sup> )	ICA
Água Verde	73.570,75	13.747,54	18,69%
Bigorriho	119.957,93	25.719,17	21,44%
Jardim Social	97.080,55	18.097,42	18,64%

De acordo com a metodologia desenvolvida por Simões *et al.* (2001), o índice de sombreamento arbóreo (ISA) foi definido pela área de copa das árvores e considerando este procedimento, tanto o ISA quanto o ICA são equivalentes.

As amostras analisadas apresentaram os seguintes Índices de Cobertura Arbórea (ICA): Água Verde (18,69%), Bigorriho (21,44%) e Jardim Social (18,64%) (Tabela 4.18).

Todos ICA estão abaixo de 50% ressaltando que as áreas amostradas são zonas residenciais. Considerando isto, Simões *et al.* (2001) ao estudarem a estrutura da arborização urbana no bairro Vila Isabel do Rio de Janeiro afirmou que nos bairros onde predominam as atividades comerciais é recomendável que se obtenha um ISA mínimo de 30%, e nos bairros com função predominantemente residencial é recomendável dispor de no mínimo 50%.

Em pesquisa desenvolvida em áreas verdes públicas de Aracaju-SE, Lima Neto e Melo e Souza (2009) aplicaram o ISA e obtiveram valores superiores a 50% em áreas verdes de 10 dos 33 bairros da cidade. Constataram que é possível selecionar os bairros para o planejamento, no tocante a implantação e manutenção das áreas verdes, e equilibrar a distribuição da vegetação na cidade.

Observou-se que nenhuma das amostras do presente apresentou o percentual considerado ideal para o índice de cobertura arbórea (ICA), mostrando que atividades como plantio de árvores devem ser realizadas a fim de atender o percentual proposto na literatura.

#### 4.5.2 Índice de Densidade Arbórea (IDA)

Quanto ao IDA, os resultados evidenciam a presença do número de árvores a cada 100 m<sup>2</sup> (Tabela 4.19). Observou-se que a Amostra Água Verde apresentou o melhor índice (0,51 árvores em cada 100m<sup>2</sup>), indicando que para cada 196 m<sup>2</sup> nas ruas da amostra existe uma árvore. Nas unidades amostrais: Jardim Social (0,39) e Bigorriho (0,25), uma árvore está presente em respectivos, 254m<sup>2</sup> e 404 m<sup>2</sup> na rua das amostras.

TABELA 4.19 – ÍNDICE DE DENSIDADE ARBÓREA EM UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR

Unidades Amostrais	Quantidade de Árvores	Área de Copa Média (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup> /árvore	IDA
Água Verde	376	45,43± 27,47	196	0,51
Bigorriho	297	73,67± 41,85	404	0,25
Jardim Social	382	56,69 ± 18,67	254	0,39

A área média de copa de cada rua é um parâmetro para quantificar a cobertura total de uma área. Para atender o recomendado pela literatura (50% de ISA em áreas residenciais) seriam necessárias 891 árvores na amostra Bigorriho, 752 árvores na u.a. Bigorriho e 764 árvores na u.a. Jardim Social.

A quantidade de árvores pode ser utilizada para planejar plantios nas ruas com déficit desse índice, no entanto, os objetivos da arborização e a compatibilização com a estrutura urbana devem ser priorizados. Sendo assim, quando se desejar formar túneis de árvores na rua, recomenda-se que o espaçamento seja menor que a projeção da copa. Caso se deseje uma rua mais clara e menos fechada com árvores deve-se adotar espaçamento maior que a projeção da copa (BIONDI; ALTHAUS, 2005). Este fato atenta para o tipo de densidade arbórea que a rua deverá apresentar no planejamento.

Nem sempre os objetivos da arborização para cada rua são os mesmos. Deve-se levar em consideração a estrutura urbana e equipamentos presentes, tais como: fiações, postes de iluminação, redes de esgoto, placas de sinalização, entre outros. Os equipamentos são fatores que limitam o espaço físico disponível para os portes de árvores a serem implantadas em ruas com urbanização consolidada.

O IDA denuncia a situação da rua quando há carência ou abundância de arborização, tornando-se importante adotá-lo na concepção de projetos de arborização urbana (LIMA NETO, 2008).

#### 4.5.3 Índice de Árvores por Quilômetros de Calçadas Arborizadas (IAQC)

Em inventário, o Índice de Quilômetros de Calçadas Arborizadas pode ser usado para calcular o número de amostras a serem coletadas. Permite estimar, a partir da variância do total de ruas de uma cidade, a quantidade de árvores existentes.

Este índice foi aplicado por outros autores como Milano (1984), Biondi (1985), Milano, (1987), Lima (1993) e Brasil (1994), nos primeiros inventários da arborização urbana no Brasil para definir o método de amostragem e o número de u.a. a serem inventariadas, levando em consideração a homogeneidade do inventário piloto.

A aplicação deste índice permitiu analisar a quantidade de árvores urbanas, estabelecendo quantas árvores existe em cada quilômetro na amostra. A figura 4.12 demonstra a representação vetorial dos quilômetros de calçadas arborizadas nas amostras Água Verde (A), Bigorriho (B) e Jardim Social (C).

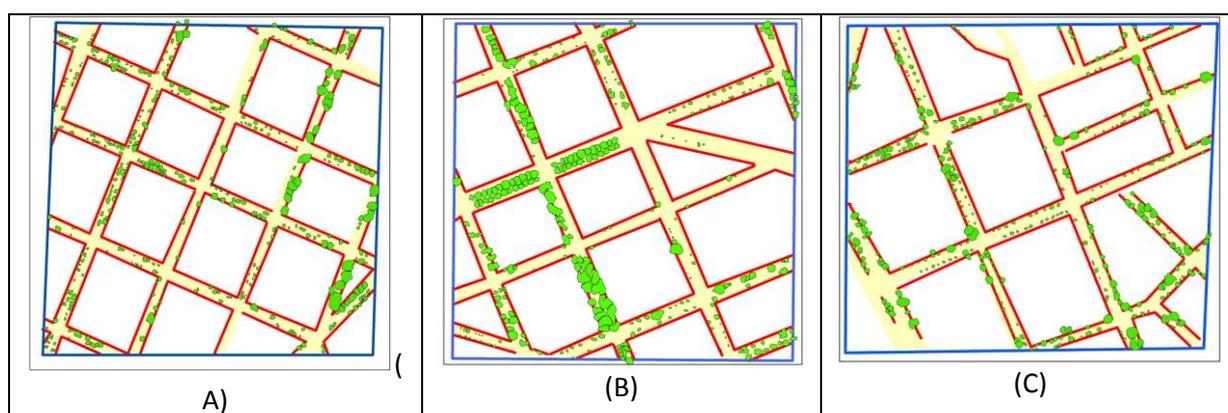


FIGURA 4.12 – QUILOMETRO DE CALÇADAS PARA OBTENÇÃO DO ÍNDICE ÁRVORES POR QUILOMETROS DE CALÇADAS ARBORIZADAS NAS UNIDADES AMOSTRAIS ÁGUA VERDE (A), BIGORRILHO (B) E JARDIM SOCIAL (C)

A representação considerou apenas as calçadas que existiam árvores plantadas. Para a análise do IAQC observou-se que se fossem mensuradas as

extensões das ruas, os valores de quilometragem seriam maiores, pois englobariam os cruzamentos entre as ruas.

A comparação temporal deste índice, levando em conta, a pesquisa realizada por Milano (1984) e a quantidade atual existente está apresentada na figura 4.14.

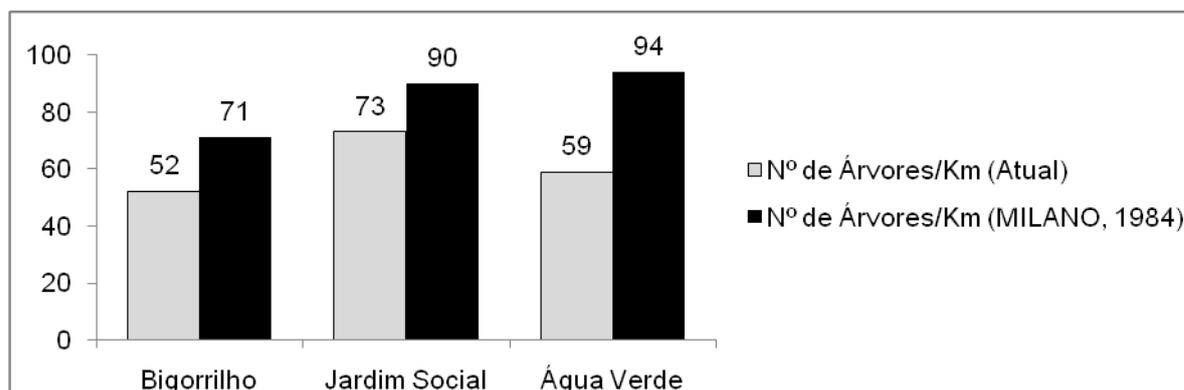


FIGURA 4.13 – COMPARAÇÃO TEMPORAL DO ÍNDICE DE QUANTIDADE DE ÁRVORES EXISTENTES POR QUILOMETRO DE CALÇADA ARBORIZADA

No resultado expresso na figura 4.13 observa-se que o número de árvores por quilômetro de calçada arborizada foi reduzido. A menor diferença temporal foi de aproximadamente 17 árvores por quilômetro de calçada (Amostra Jardim Social) e a maior diferença foi registrada na u.a. Água Verde com 35 árvores por quilômetro de calçada arborizada.

A causa da redução pode ser devido ao fato que no inventário realizado em 1984 consideraram-se muitas espécies arbustivas enquanto no presente levantamento através do uso de SIG foram consideradas apenas árvores de rua.

Além disso, a coleta em ambiente SIG resulta em número menor de árvores detectadas quando comparado ao método convencional. Isto também pode ser considerado um motivo de redução na comparação temporal. Outro motivo para essa redução pode ter surgido do intenso processo de urbanização que a cidade sofreu, ocasionando modificações nas áreas urbanizadas, tais como: alterações do tamanho de calçadas e pista de rolamento, para ampliação, instalação de equipamentos e dar lugar as infra-estruturas urbanas.

Contudo, outros fatores podem ter causado essas reduções entre elas e a falta de um inventário contínuo impossibilita prever as mudanças que ocorrem na arborização ao longo do tempo.

#### 4.5.4 Índice de Plena Ocupação (IPO)

Este índice está associado ao número de árvores por quilômetro de rua ou de calçada. Para a plena ocupação de uma rua é necessário estabelecer o espaçamento entre as árvores. O espaçamento entre árvores em uma rua pode ser considerado como o diâmetro médio de copa das árvores, e assim, estimar o número de árvores potenciais que cabem em uma rua, bairro ou cidade para que as calçadas estejam plenamente ocupadas. A aplicação do Índice de Plena Ocupação determinado para a amostra indica a escassez ou abundância de árvores na rua (Tabela 4.20).

TABELA 4.20 – ÍNDICE DE PLENA OCUPAÇÃO NAS UNIDADES AMOSTRAIS DE CURITIBA-PR

Amostra	Nº de Árv./Km	Diâmetro médio de Copa (m)	Nº de árvores potenciais	Índice de Plena Ocupação (IPO)
Bigorriho	52	7,06 ± 3,28	142	37,02%
Água Verde	59	5,00 ± 3,55	200	29,35%
Jardim Social	73	6,45 ± 3,70	155	46,74%

Na amostra Bigorriho observou-se que 37,02% das ruas estão plenamente ocupadas por árvores, significando um déficit de 62,98% na sua arborização.

O maior número de árvores que poderiam estar nas calçadas foi na amostra Água Verde que significa que se forem adotados a média do Diâmetro de Copa (5,00 metros) em 1,00 quilômetro de calçada caberiam 200 árvores, com calçada plenamente ocupada, este valor exprime que 29,35% das ruas da amostra água verde está ocupada por árvores.

A amostra Jardim Social apresentou o melhor IPO. O espaçamento entre as árvores estipulado com o diâmetro médio de copa (6,45 metros) resultou na quantidade de árvores igual a 155, ou seja, número de árvores que caberiam ruas

da amostra. A relação entre o número existente e o número ideal para plena ocupação indicou que 46,74% da amostra está plenamente ocupada.

Silva, Paiva e Gonçalves (2007) ressaltam que pode-se ter uma idéia espacializada de onde estão as concentrações e as ausências da arborização e que, há de se considerar que nem toda calçada tem condições para implantação de uma arborização. Assim, para se ter mais exatidão deve-se considerar apenas as calçadas passíveis de serem arborizadas.

Como esta análise é proveniente de uma amostra, se forem consideradas as ruas da amostra pode-se localizar pontos de plantios para cada uma delas e definir locais para o plantio a partir da aplicação deste índice.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados alcançados foi possível obter as seguintes conclusões:

### I. Quanto aos métodos testados

O número de unidades amostrais analisadas, definido em função da disponibilidade de imagens, possibilitou que a amostragem fosse compatível com a necessidade de comparar as variáveis coletadas nos métodos de coleta em ambiente SIG e no inventário convencional.

A comparação entre os métodos convencional e a coleta em ambiente SIG mostraram que as diferenças não são estatisticamente significativas.

A obtenção das variáveis dendrométricas em ambiente SIG, pela disponibilidade de bases cartográficas municipais, mostrou ser um método aplicável atualmente, para as características da arborização de ruas de Curitiba.

Constatou-se a eficácia da coleta em ambiente SIG na aferição das variáveis, considerando uma forma de coleta que auxilia o inventário convencional. Vale ressaltar que um método não substitui o outro, apenas apóia a execução e elimina variáveis mensuradas em campo que apresentam alto custo de aferição.

A mensuração de variáveis é apenas uma das inúmeras contribuições de um sistema de informações geográficas à gestão da arborização urbana.

### II. Quanto às variáveis analisadas

A quantidade de árvores detectadas a partir da ortoimagem foi estatisticamente representativa, possibilitando afirmar que junto ao inventário convencional essas informações podem ser aplicadas e alocadas em um banco de dados geo-referenciado. Outra fonte de informações recomendada é a estereoscopia que pode auxiliar na contagem de árvores em fotos aéreas.

Na detecção, a seleção de árvores com CAP maior que 0,10 metros permitiram melhor discriminação nas imagens, representando numericamente, menores diferenças das quantidades de árvores encontradas na realidade terrestre.

As áreas de copa delineadas nas ortoimagens permitiram visualizar a distribuição espacial da arborização de ruas de Curitiba, fornecendo informações necessárias ao planejamento da arborização na cidade.

Para o espaçamento entre copas é necessário utilizar imagens ortoretificadas que os objetos da superfície estão na mesma localização planimétrica (x,y). O entrelaçamento de copas processado em ambiente SIG gerou grandes variações métricas quando comparadas ao método convencional.

A baixa densidade da arborização permite melhor aplicação do processamento de imagens para delineamento individual da árvore.

São necessários outros estudos que utilize a metodologia aplicada nesta pesquisa. Além disso, recomenda-se que os inventários da arborização urbana contêm com o apoio das geotecnologias para mensurar variáveis e cadastrar espacialmente a arborização viária, com intuito de minimizar os custos e obter maior praticidade na execução de inventários contínuos.

### III. Quanto aos fatores limitantes na detecção

As diferenças entre os valores obtidos nos métodos de coleta e os fatores limitantes na detecção estão relacionadas com a qualidade das bases cartográficas utilizadas e/ou erros de observação e medição em inventários convencionais. O período e época da aquisição da imagem, a altura das edificações (sombras) e o aspecto fenológico das espécies foram limitantes para o processo de delineamento das árvores.

As mudas e/ou árvores de menor porte não são detectadas com facilidade na arborização viária, necessitando de um cadastro prévio em banco de dados relacional, para que não seja omitida a existência das mesmas durante o processamento da imagem.

A arborização de propriedades particulares (ex. jardins das casas) é de difícil separabilidade quando estão muito próximas às ruas e suas copas atingem os limites da calçada, tornando necessário que se faça o inventário convencional localizando as árvores por suas coordenadas geográficas. Os plantios de diferente porte ou tamanho, encontrados nas ruas das amostras, resultaram em dificuldades de detecção da árvore.

Recomenda-se a produção e uso de bases cartográficas de qualidade para aplicação em estudos de arborização urbana.

#### IV. Quanto à análise espacial

A representação espacial a partir das imagens permite direcionar atividades de planejamento da arborização urbana. A aplicação do Índice de Cobertura Arbórea (ICA) mostrou que as unidades amostrais analisadas não obtiveram percentuais aceitáveis, carecendo de mais plantios para melhorar a cobertura arbórea nas amostras estudadas.

O Índice de Densidade Arbórea (IDA) confirmou o que já tinha sido atestado pelo ICA, que há carência de árvores nas unidades amostrais. Já o Índice de Árvores por Quilômetros de Calçadas Arborizadas (IAQC) medidos em ambiente SIG, mostrou que o intenso processo de urbanização resultou na diminuição de calçadas arborizadas nas amostras, em 25 anos. Este índice pode ser usado no planejamento dos inventários para calcular o número de amostras a serem coletadas.

As variáveis dendrométricas podem ser usadas para fornecer dados sobre a mudança da arborização nas cidades, a partir de imagens obtidas em diversas escalas temporais. Nesse sentido, o Índice de Plena Ocupação (IPO) constatou numericamente o déficit de árvores nas amostras, podendo ser usado como referência na indicação do número de árvores a serem plantadas e para avaliação quantitativa da arborização de ruas junto ao IDA e ICA.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT**. Rede de Referência Cadastral Municipal. Norma NBR 14.166, 31.08.1998. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1998.

ABREU, L. P. *et al.* Arborização urbana x equipamentos urbanos: um estudo de caso da Avenida Barão de Gurguéia, Teresina-PI. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 3, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CEFET, 2008.

ADAM, E.; GUEDES JÚNIOR, A.; HOCHHEIM, N. Geoprocessamento para o inventário das espécies arbóreas na região de Florianópolis. GISBRASIL 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Fator GIS, 2001.

ARAÚJO, R. M. **Natureza na Cidade**: reflexões de visões de natureza sobre modelos urbanos. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2006.

ASSAD, E. D.; SANO E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília. EMBRAPA-SPI/ EMBRAPA-CPAC, 1998.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores cultivadas no sul do Brasil**: Guia de identificação e interesse paisagístico das principais espécies exóticas. Porto Alegre: Paisagem do sul, 2004.

BATTY, M. *et al.* Geographical information system and urban design. In: Stillwell, J.; Geertman, S; Openshaw, S. **Geographical Information and Planning**. Berlin, Springer. p.43-65; 1999.

BIONDI, D. **Arborização Urbana aplicada à educação ambiental nas escolas**. Curitiba, Ed. A autora, 2008.

BIONDI, D. **Curso de arborização urbana**. Curitiba: [s.n.], 2000.

BIONDI, D. **Diagnóstico da Arborização de Ruas da Cidade do Recife**. Curitiba, 1985. 167 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, 1985.

BIONDI, D.; ALTHAUS, M. **Árvores de rua de Curitiba**: cultivo e manejo. Curitiba: FUPEF, 2005.

BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P R A. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados à análise de recursos florestais. Santa Maria, **Ciência Rural**, vol.34, n. 1, 2004.

BORROUGH, P. **Principles of geography information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press. 1998.

BORTOLETO, S. **Inventário quali-quantitativo da arborização viária da Estância de Águas de São Pedro**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BRANCO, S. G. **Ecologia da cidade**. São Paulo: Ed. Moderna, 1991.

BRASIL, H. M. S. **Caracterização De Arborização Urbana: O Caso De Belém**. Dissertação (Mestrado em), Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.

CAMARA, G. et al. **Fundamentos de Geoprocessamento**. INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.INPE.br/gilberto>>. Acesso em: 18 de agosto 2009.

CARRARA, A. L. R. **Análise Comparativa dos Índices de Vegetação em Áreas Urbanas obtidos de dados TM-Landsat E HRV-Spot: Cidade de Taubaté**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE, São Jose dos Campos, SP, 1992.

CARVALHO, P. F. Repensando as áreas verdes urbanas. **Território & Cidadania**. Ano III, n. 2, 2003.

CARVER, A. J. **Fotografia Aérea para Planejadores de Uso de Terra**. Brasília. MA/SNAP/SRN/CCSA. 1985.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. Botucatu, 2001. 186 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

DETZEL, V. A. Arborização urbana: importância e avaliação econômica. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 4., Vitória, 1992. **Anais...** Vitória: Prefeitura Municipal de Vitória, 1992. v.1, p.39-52.

DISPERATI, A. A. et al. Aplicação da técnica “filtragem de locais máximas” em fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii*. Piracicaba, **Scientia Forestalis**, n. 76, p. 45-55, 2007.

DISPERATI, A. A. et al. Delineação visual de copas de árvores em fotografias aéreas de alta resolução de uma área com vegetação natural de Araucária: resultados parciais. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2002. p.241- 242.

DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F. DO; SCHULER, C. A. B. **Fotografias aéreas de pequeno formato**: Aplicações ambientais. Guarapuava: UNICENTRO, 2007.

DISPERATI, A. A.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Delineamento de copas de árvores em fotografias aéreas de alta resolução, através de suas sombras periféricas: estudo de caso na Floresta Ombrófila Mista. Viçosa, **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.195-202, 2005.

DISPERATI, A. A.; OLIVEIRA-FILHO, P. C. Delineação automática de copas de árvores em imagens de alta resolução: potencialidades e limitações. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5., 2002. Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2002. p.81- 88.

EASTMAN, J.R. **IDRISI 32 for Windows: guide to GIS and image processing**. Massachusetts: 2v. Clark University, 1999.

FARAH, I.M.C. Arborização urbana e sua inserção no desenho urbano. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. v.7, n.3, p.6, 1999.

FERRARI JÚNIOR, R. **Viagem ao SIG: planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de sistemas de informação geográfica**. Curitiba: Sagres, 1997.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I. Geoprocessamento Ambiental. **Revista Ação Ambiental**, nº 29. p. 23-25, 2004.

FRANCO, V. S. M. **Gerenciamento da arborização na área do campus UFMG utilizando ferramentas SIG**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) Departamento de Cartografia, UFMG. Belo Horizonte. 2006.

FRANKLIN, S.E.. **Remote sensing for sustainable forest management**. CRC Press, Boca Raton, FLA, 2001.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento Remoto: Princípios e interpretação de imagens**. São Paulo, Nobel, 1982.

GERHOLD, H. D.; STEINER, K. C.; SACKSTEDER, C. J. Management information system for urban trees. **Journal of Arboriculture**, v. 13, n. 10, p. 243 – 249, 1987.

GODFREY, C. G. GIS & GPS in urban forestry. **City Trees**, v. 37, n. 3, p. 14-16, 2001.

GOMES, P. B. **Análise espacial de espécies arbóreas pertencentes à Floresta Estacional Semidecidual e ao Cerradão baseada em imagens de alta resolução espacial**. Tese (Doutorado em Ciências, Análise Ambiental e Dinâmica Territorial), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2009.

GONÇALVES, W.; STRINGHETA, Â. C. O.; COELHO, L. L. Análise de árvores urbanas para fins de supressão. **Rev. SBAU**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 1-19, dez. 2007.

GRAIGNER, R. D. D.; THOMPSON, P. Computer-assisted street tree management. **Arboricultural Journal**, 1983.

GREEN, N.E. Aerial photographic and human ecology of the city. **Photogrammetric Engineering**, v.23, n.1, p.89-96, 1957.

GREEN, N.E.. R.B. MONIER. Aerial photographic interpretation and human ecology of the city. **Photogrammetric Engineering**, v.25, n.5, pp.773, 1959.

GREY, G. W.; DENEKE, F. J. **Urban Forestry**. 2. ed. New York: John Wiley, 1986. 299 p.

GUZZO, P. **Propostas para Planejamento dos Espaços Livres de Uso Público do Conjunto Habitacional Procópio Ferraz Em Ribeirão Preto/SP**. Monografia (Graduação Biologia), UNESP, Rio Claro, SP, 1991.

HENRIQUE, W. **O Direito à Natureza na Cidade**. Salvador: EDUFBA, 2009. 186p.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA - IPPUC. **Mapas de Arruamento**. Curitiba: IPPUC, jun. 2005. Disponível em: [http://www.ippuc.org.br/informando/index\\_mapasarruamento.htm](http://www.ippuc.org.br/informando/index_mapasarruamento.htm). Acesso em 25 de junho de 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA - IPPUC. **Uso e Ocupação do Solo de Curitiba**. Disponível em: <http://www.ippuc.org.br>. Acesso em 25 de outubro de 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo 2009**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/censo/>. Acesso em novembro de 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS FLORESTAIS – IPEF. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: APLICAÇÕES FLORESTAIS. **IPEF Série Técnica**, Piracicaba, 9(28): 1-18, dez.1993.

IODETA, I. V. CINTRA, J. P. Elaboração de bases cartográficas para projetos de engenharia: a relação entre produtor e usuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 23, **Anais...** Rio de Janeiro – RJ, v. 1 p. 1-10, 2003.

ISA, INTERNATIONAL SOCIETY OF ARBORICULTURE. **A national research agenda for urban forestry in the 1990's**. Urbana Illinois: ISA, 1991.

ISHIKAWA, M. I. **Potencialidades de uso das imagens IKONOS/GEO para aplicações em áreas urbanas**. Presidente Prudente, 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2001.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (Coordenador) [et. al.]. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KONIJNENDIJK, C.L C. *et al.* **Urban Forests and Trees: A Reference Book**. Springer, 2005.

KONTOES, C.C. et al. The potential of kernel classification techniques for land use mapping in urban areas using 5m-spatial resolution IRS-1C imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 21, 2000.

KURIHARA, D. L.; ENCINAS, J. I. Análise da arborização do Campus da Universidade de Brasília através de imagens Ikonos. **Brasil Florestal**, NOTA TÉCNICA, nº 78, 2003.

- KURKDJIAN, M.L.N.O. Integração de dados de importantes sistemas sensores através da técnica de transformação IHS, visando o estudo da estrutura intra-urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6, Manaus, AM, p.24- 269. **Anais...** S.José dos Campos, INPE, v.2, p.331 – 335. 1990.
- LAZZAROTTO, D. R. **Avaliação da qualidade de base cartográfica por meio de indicadores e sistema de inferência fuzzy**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), UFPR. Curitiba, Paraná, 2005.
- LEAL, L. **Custos das Árvores de Rua – Estudo de Caso: Cidade de Curitiba / PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFPR. Curitiba, Paraná, 2007.
- LIMA NETO, E. M. **Índices Espaciais da Arborização Urbana em Áreas Verdes Públicas de Aracaju, Sergipe**. (Monografia de Bacharelado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Sergipe (Núcleo de Engenharia Florestal/ UFS). São Cristóvão, Sergipe, 2008.
- LIMA NETO, E. M. L.; BIONDI, D.; ARAKI, H. Aplicação do SIG na arborização viária – Unidade Amostral em Curitiba-PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFPE – Departamento de Geomática, 2010.
- LIMA NETO, E. M.; MELO E SOUZA, R. Índices de Sombreamento e Densidade arbórea das áreas verdes públicas de Aracaju-SE. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba – SP, v.4, n.4, p.47-62, 2009.
- LIMA NETO, E. M. et. al. Análise das Áreas Verdes das Praças do Bairro Centro e Principais Avenidas da Cidade de Aracaju-SE. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba – SP, Volume 2, Número 1, 2007.
- LIMA, A. M. L. P. de. **Análise Da Arborização Viária Na Área Central E Seu Entorno**. Piracicaba, 238f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1993.
- LIMA, V. **Análise da qualidade ambiental urbana de Osvaldo Cruz/SP**. Presidente Prudente, 146f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007.
- LOBÃO, S. M. F. Entrada de Fotografias Aéreas Coloridas de Médio Formato em SIG. Salvador. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, **Anais...**, INPE, p. 707-710, 1996.
- MAGGIO, R. C. A geographically referenced tree inventory system for microcomputers. **Arboricultural Journal**, 1983.
- MANTOVI, V. **Áreas Verdes: uma percepção paisagística do refúgio biológico Bela Vista no meio urbano de Foz do Iguaçu**. 2006. Monografia. (Especialização em Análise Ambiental e Regional em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Candido Rondon – Paraná, 2006.

MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. 1ª ed. São Paulo: Nobel. 1989.

MARTINS, S.V. Monitoramento da arborização de ruas de Belo Horizonte. In: Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, 2, 1994, São Luis. **Anais...** São Luis/MA: SBAU, 1994. p.421-430.

MASCARO, L. ; MASCARÓ, J. J.. **Ambiência Urbana**. 3. Ed. Porto Alegre: Masquatro, 2009.

MCPHERSON, E.G., *et al.* Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project. **Urban Ecosystems**, 1, 1997.

MENEGHETTI, G. I. P. **Estudo de dois métodos de amostragem para inventário da arborização de ruas dos bairros da orla marítima do município de Santos, SP**. Piracicaba, 100f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.

MENEZES, P. M. L.; CRUZ, C. B. M. Considerações sobre bases cartográficas digitais. In Seminário Estadual de Geoprocessamento. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, Brasil 1996.

MESQUITA, L. B. Memórias do verde urbano do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3., Salvador, 1996. **Anais...** Salvador, 1996. p.60-70.

MILANO, M S. **Avaliação e Análise da Arborização de Ruas de Curitiba-PR**. Curitiba, 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), UFPR, Curitiba, Paraná, 1984.

\_\_\_\_\_. O planejamento da arborização, as necessidades de manejo e tratamentos culturais das árvores de ruas de Curitiba-PR. **Revista do Centro de Pesquisas Florestais**. vol. 17. N. 1, 1987, p.15-21.

\_\_\_\_\_. Métodos de Amostragem para Avaliação da Arborização de Ruas. II Congresso Brasileiro de Arborização Urbana. V Encontro Nacional Sobre Arborização Urbana. **Anais...** São Luís/MA, 1994, p. 163-8.

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

MILANO, M. S.; DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000.

MILLER, R.W. **Urban forestry: planning and managing urban greenspaces**. 2 ed. New Jersey, Prentice Hall, 502p. 1997.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

MOURA, A. R.; NUCCI, J. C. Cobertura Vegetal em Áreas Urbanas – O caso do Bairro de Santa Felicidade – Curitiba – PR. **Geografia. Ensino & Pesquisa (UFSM)**, v. 12, p. 1682-1698, 2008.

MURGAS, J. Tree information planning system (TIPS), **Arboricultural Journal**, 1981.

NOWAK, D. J. *et al.* Effect of Plot and Sample Size on Timing and Precision of Urban Forest Assessments. **Arboriculture & Urban Forestry**, 34(6):386–390, 2008.

NUNES, M. L. Metodologias de avaliação da arborização urbana. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 6., Vitória, 1992. **Anais...** Vitória: Prefeitura Municipal de Vitória, 1992. p. 133-145.

OLIVEIRA, P. J. Base Cartográfica dos municípios litorâneos de Sergipe. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia, **Anais...** INPE, p. 1221-1227, 2005.

OLIVEIRA FILHO, P. C. ; PICHETH, J. A. T. F. Definição de sub-unidades de manejo da erva-mate para a criação de geo-objetos poligonais em um sistema de informações geográficas. **Revista de Ciências Exatas e Naturais Guarapuava**, v. 6, n. 2, p. 223-231, 2004.

OLIVEIRA FILHO, P. C. et al. Um sistema de informações geográficas como suporte a um experimento florestal na FLONA de Irati-PR. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005.

\_\_\_\_\_. Um sistema de informações geográficas para integração dos dados de campo e da fotointerpretação florestal de imagem digital de alta resolução. **Ciência e Natura**, UFSM, 28 (1): 61 - 74, 2006.

OLIVEIRA FILHO, P.C. & SILVA, S.V.K. Um Sistema de Informações para Suporte Espacial e de Decisões à Gestão da Arborização Urbana no Município de Guarapuava, Paraná. **Revista Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba – SP, v.5, n.3, p.82-96, 2010.

OLIVEIRA, Y. M. M. **Correlações entre parâmetros dendrométricos em Araucaria angustifolia, utilizando fotografias aéreas. 1980.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980, 133 p.

PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Florestas Urbanas:** planejamento para melhoria da qualidade de vida. Viçosa – MG::il (Série Arborização Urbana; v.2). Aprenda Fácil, 2002.

PEREIRA, G. C. **Geoprocessamento e urbanismo em Salvador:** uma contribuição cartográfica. Rio Claro. Tese (Doutorado em Geografia). Rio Claro: Universidade Estadual de São Paulo, 1999.

PEPER, P. J.; MCPHERSON, E. G.; MORI, S. M. Predictive equations for dimensions and leaf area of Coastal Southern California street trees. **Journal of Arboriculture**, v.27, n.4, p.169-180, 2001.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA-FILHO D. F. Arborização urbana. **Boletim Acadêmico**. Serie Arborização Urbana, UNESP /FCAV /FUNEP Jaboticabal, SP – 2002.

PRADO, F. A. et.al. Geração de base cartográfica a partir de fotografias aéreas digitalizadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA E V COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 2, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente – SP, p. 291-299, 2007.

RACHID, C.; COUTO, H. T. Z. Estudo da eficiência de dois métodos de amostragem de árvores de rua na cidade de São Carlos – SP. **Scientia Florestalis**, n.56, p.59-68, dez. 1999.

RODERJAN, C. V. et. al. As regiões fitogeográficas do Estado do Paraná. **Revista Ciência e Ambiente**, 24, jan/jun 2002. p. 75-92.

RODRIGUES, C. A. G. et. al. Arborização Urbana e Produção de Mudanças de Essências Florestais Nativas em Corumbá, MS. Corumbá, MS, EMBRAPA PANTANAL, **Documentos**, nº 42, 2002.

ROLLO, F. M. A. et. al. Uso de Cenas Videográficas para Avaliação da Floresta Urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Volume 2, Número 3, 2007.

ROSSETTI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. R. M.; TAVARES, A. R. AS Árvores e suas Interfaces no Ambiente Urbano **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.5, n.1, p.1-24, 2010.

SANCHOTENE, M. C. C. Desenvolvimento e perspectivas da arborização urbana no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2., ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 5., São Luís, 1994. **Anais...** São Luís: SBAU, 1994. p.15-26.

SANQUETTA, C.R. *et al.* **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba: MultiGraphi. 2006.

SANTOS, E. Avaliação monetária de árvores urbanas: uma revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3, **Anais...** Salvador, 1994.

SANTOS, N. R. Z.; TEIXEIRA, I. F. **Arborização de vias públicas: ambiente x vegetação**. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2001.

SANTOS, S. M.; PINA, M. F.; CARVALHO, M. S. **Os Sistemas de Informações Geográficas**. In: CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS, S. M. (org.). Conceitos básicos de Sistemas de Informações Geográficas e cartografia aplicados à saúde. Brasília: Organização Panamericana de Saúde / Ministério da Saúde, 2000. p. 13-39.

SCHREUDER, H. T.; GREGOIRE, T. G.; WOOD, G. B. **Sampling methods for multire-source Forest inventory**. New York: John Wiley & Sons, In., 1993.

SCHUCH, M. I. S. **Arborização Urbana: Uma contribuição à qualidade de vida com o uso de geotecnologias**. Santa Maria, 101 f. Dissertação (Mestrado em Geomática), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

SCHULER, C. A. B. **Avaliação de danos causados por *Dirphiopsis epiolina* R. Felder em povoamentos de Bracatinga – *Mimosa scabrella* Benth., manejadas pelo sistema tradicional, através de fotografias aéreas de pequeno formato**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), UFPR, Curitiba, Paraná, 1995.

SEGAWA, H. **Ao amor do público: jardins no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP, 1996.

SILVA ANTÓNIO, V. V. Os ortofotos como cartografia de base a médias escalas. IN: eSIG , Instituto Geográfico Português. **Anais...** Portugal, 2004.

SILVA FILHO, D. F. **Silvicultura Urbana: O desenho florestal da cidade**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais Disponível em: <<http://ipef.br/silviculturaurbana.html>>, 2003.

\_\_\_\_\_. et al. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.5, p.629-642, 2002.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-Referenciadas**. Campinas, SP. Editora: UNICAMP, 2003.

SILVA, A. G. *et al.* Estudo do tamanho e da forma de unidades de amostra, utilizando a amostragem casual simples para inventariar a arborização urbana viária. **Natureza & Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 59-66, 2005.

SILVA, A. G.; PAIVA, H. N., GONÇALVES, W. **Avaliando a arborização urbana**. Série Arborização Urbana. Coleção Jardinagem e paisagismo, Volume 5. Viçosa – MG : Ed. Aprenda Fácil, 2007.

SIMÕES, L. O. C., *et. al.* Índices de Arborização em espaço urbano: um estudo de caso no bairro de Vila Isabel, Rio de Janeiro, RJ. In: ENCONTRO NACIONAL DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 9 **Anais...** Brasília, 2001.

SMILEY, E. T.; BAKER, F. A. Options in street tree inventories. **Journal of Arboriculture**, v.14, n.2, p.36-42, 1988.

SOARES, V. P. **Eficiência relativa de tamanhos e de formas de unidades de amostra em plantações de *Eucalyptus grandis* de origem híbrida, na região de Bom Despacho, Minas Gerais**. 1980. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1980.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

SOUZA, E.B. **Técnicas de Processamento de Imagens Aplicadas à Localização de Solos Lateríticos**. (Dissertação de mestrado) São José dos Campos: ITA, 1996.

SOUZA, I. M.; *et al.* Mapeamento do Uso do Solo Urbano Através da Classificação por Regiões Baseada em Medidas Texturais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, MG, 2003.

SOUZA, A. A. M. COSTA, S. M. F. O uso de fotografias aéreas para a análise do processo de verticalização na cidade de São José dos Campos – SP. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, Santos, **Anais...** INPE, p. 213-222, 1998.

SPURR, S.H. **Photogrammetry and photo-interpretation with a section on applications to forestry**. 2.ed. New York: The Ronald Press, 1960.

TAKAHASHI, L. Y. Monitoramento e informatização da administração e manejo da arborização urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, Vitória. **Anais...** Vitória - ES, 1992.

THURMAN, P. W. The management of urban street trees using computerized inventory system. **Arboricultural Journal**, 1983.

TOLEDO, M. C. B.; FISH, S. T. V. Bases cartográficas para armazenamento e análise espacial de dados da diversidade de palmeiras em um trecho de Mata Atlântica, Ubatuba-SP. **Biota Neotropica**. v6 (n1), 2006.

VOLPE-FILIK, A.; SILVA, L. F. da; LIMA, A. M. L. P. Avaliação da Arborização de Ruas do bairro de São Dimas na cidade de Piracicaba/SP através de Parâmetros Qualitativos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, vol 2, n.1, p. 34- 43, 2007.

VIEIRA, C. H. S. D. **Estudo da dinâmica da cobertura vegetal de Curitiba / PR com o uso de imagens digitais**. Curitiba, 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2006.

VITÓRIA, E. S. S. *et al.* Inventário da arborização do bairro Jardim Canaã do município de Monte Alto, SP. In: Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, 14. Bento Gonçalves, 2010. **Anais...** Bento Gonçalves-RS, 2010.

WARD, K. T. JOHNSON, G. R. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban Forest information. **Urban Forestry & Urban Greening**. 6, 2007. p. 15–22.