

# FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA MENSURAÇÃO DA ÁREA DE COPA DAS ÁRVORES DE RUAS DE CURITIBA – PR

Everaldo Marques de Lima Neto<sup>1</sup>, Daniela Biondi<sup>2</sup>, Hideo Araki<sup>3</sup>, Rogério Bobrowski<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Florestal, M.Sc., Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - everaldo.limaneto@gmail.com

<sup>2</sup>Eng<sup>a</sup> Florestal, Dr<sup>a</sup>., Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - dbiondi@ufpr.br

<sup>3</sup>Eng. Cartógrafo, Dr., Depto. de Engenharia Cartográfica, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - araki@ufpr.br

<sup>4</sup>Eng. Florestal, Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - bobrowski\_roger@yahoo.com.br

Recebido para publicação: 20/09/2011 – Aceito para publicação: 03/05/2012

---

## Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo mensurar, por meio de fotografias aéreas, as áreas de copa da arborização de ruas de Curitiba (PR), visando subsidiar o monitoramento da arborização. Para a realização desta pesquisa, foram selecionadas três unidades amostrais da arborização de ruas do município de Curitiba. A mensuração foi processada em programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando ortofotos das unidades amostrais. As áreas de copa das árvores foram comparadas estatisticamente com as áreas de copa obtidas através do inventário convencional. Os resultados comprovaram que não houve diferença estatisticamente significativa entre o método convencional e a mensuração realizada em ambiente SIG. As diferenças entre os valores obtidos estão relacionadas com erros de observação e medição em inventários convencionais e com o período e época de aquisição da imagem. Pela eficiência da mensuração em ambiente SIG, considera-se que essa técnica pode complementar as coletas do inventário convencional, reduzindo os altos custos que as coletas em campo demandam.

*Palavras-chave:* Arborização urbana; sistema de informações geográficas; inventário florestal.

## Abstract

*Aerial photographs for measuring of tree crown area in the streets of Curitiba, Paraná.* This research aimed to apply the Geographic Information System (GIS) to measure the canopy area of urban trees of Curitiba - PR, seeking agility to support planning and monitoring of urban tree plantations. For this research three sampling units were selected from urban trees of the city of Curitiba. The measurement of the orthophotos was processed using the GIS software for the sample units. These variables were statistically compared with the same variables obtained by conventional inventory (measured in the field). The results revealed that there was no statistically significant difference between the conventional method and the measurement performed in a GIS environment. The differences between the values obtained by the different methods are related to errors of observation and measurement in conventional inventories, and the period and time of image acquisition. Accordingly to the speed and efficiency of the GIS method, it can be considered that such a method may assist and complement the conventional inventory. It is noteworthy that this method does not replace the conventional method, but can support the implementation of inventory, decreasing the number of variables measured in the field which has a high cost of measurement.

*Keywords:* Urban tree plantations; GIS; forest inventory.

---

## INTRODUÇÃO

A mensuração de variáveis dendrométricas é uma tarefa que demanda altos custos durante a realização de inventários. 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.

Os métodos tradicionais de realização de inventários com coletas de variáveis em campo geralmente contêm muita informação. Para Rollo *et al.* (2007), as constantes coletas de campo implicam investimentos financeiros, o que poderá ser um empecilho para que tais atualizações sejam realizadas com regularidade.

Muitas técnicas têm sido difundidas para mensuração de variáveis a fim de monitorar a arborização, entre elas, a aplicação dos sistemas de geoinformação. O uso desses sistemas ainda é escasso nas atividades da arborização viária e necessitam de pesquisas que destaquem os benefícios de sua utilização no planejamento e execução dos inventários florestais urbanos.

Com a ampliação da silvicultura urbana, a gestão das árvores de rua necessita de informações dinâmicas e abrangentes sobre a qualidade dessas árvores. Por esse 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; JOHNSON, 2007).

A grande vantagem dessas tecnologias é obter dados visuais e poder relacionar com outros dados espaciais, de diferentes gêneros, como os 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).

Disperati *et al.* (2007b) afirmam 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 acordo com Lima Neto (2011), 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 e as informações provenientes do processamento digital das imagens em ambiente SIG podem diminuir os custos obtidos nesses inventários tradicionais, pois a aferição através de imagens pode ser feita de maneira rápida, possibilitando o armazenamento e atualização dessas variáveis.

Para Adam *et al.* (2001), 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.

Sendo assim, o SIG é uma ferramenta complementar que melhora os procedimentos de mapeamento e monitoramento, contribuindo com conhecimentos espaciais para as tarefas de manejo dos recursos florestais (FRANKLIN, 2001). Desse modo, formula-se a seguinte hipótese: a mensuração de variáveis do inventário florestal urbano pode ser realizada por meio de fotografias aéreas.

Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo aplicar o Sistema de Informações Geográficas (SIG), por meio de fotografias aéreas para estimar a área das copas das árvores de ruas de Curitiba (PR), testando a viabilidade do uso do SIG na mensuração de variáveis dos inventários florestais urbanos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **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°25'40" S e longitude 49°16'23" W (marco zero: Praça Tiradentes). 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 (IPPUC), 2009).

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 frequentes e ocasionais precipitações de neve. As médias de temperatura são de 20,87 °C no verão (período de 2000 a 2009) e 14,77 °C no inverno (período de 2000 a 2009). A altitude média é de 934,6 m acima do nível do mar e a área do município é 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 vegetação de ocorrência natural é Floresta Ombrófila Mista e Estepe Gramíneo-Lenhosa (RODERJAN *et al.*, 2002). Em 2004, a cobertura vegetal foi estimada em 12.994,50 ha (VIEIRA; BIONDI, 2008), equivalente a 30% do território municipal.

A divisão político-administrativa do município de Curitiba origina 75 bairros, que estão agrupados em nove regionais administrativas. São elas: 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 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2010).

### **Processamento de imagens em ambiente SIG**

Foram selecionadas as unidades amostrais (UAs) no município de Curitiba com base na análise qualitativa e quantitativa da arborização da cidade realizado por Milano (1984). As UAs têm a dimensão de 500 metros de comprimento e 500 metros de largura, localizadas nos bairros Bigorriho, Água Verde e Jardim Social.

Sequencialmente, através de ortofotos das UAs cedidas pelo IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba), relativas ao ano 2010 e apresentando escala 1:8000, se iniciou o delineamento das copas das árvores nas ruas. No programa de geoprocessamento ArcGIS 9.2, as árvores foram representadas por vetores do tipo polígono. O delineamento dos limites das copas das árvores foi executado pelo fotointérprete, que delimitou o contorno, originando um polígono representativo para cada uma delas.

Cada polígono permitiu a localização espacial e quantificação da área das árvores individuais que compõem a cobertura arbórea nas diferentes UAs.

A mensuração da área dos polígonos que representaram as copas das árvores deu-se com o uso do aplicativo *Xtools Pro*. Esse aplicativo possui ferramentas para cálculos espaciais das representações vetoriais, isto é, fornece o cálculo da área e perímetro dos polígonos.

Através do SIG, a coleta de dados nas imagens gerou uma tabela de atributos com colunas que representaram a feição geográfica, ou seja, os dados referentes às árvores. Com a representação vetorial das parcelas e das árvores de rua na área amostrada, obteve-se a representação espacial nas amostras.

### **Processamento do inventário convencional**

O método convencional ou tradicional de coleta da variável área de copa do inventário da arborização teve início em 2010 e término em 2011, sendo registrado por meio de planilhas de campo. O raio de copa, que resultou na área de copa, foi mensurado nas ruas medindo-se do ponto central do fuste até a última linha de projeção da copa para cada lado da rua, nos sentidos:  $R_1$  = 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 à calçada);  $R_4$  = fuste-direita (medido do centro do fuste até a última projeção da copa no lado direito, paralelo à calçada).

### **Processamento estatístico dos métodos de coleta**

O delineamento das árvores em ambiente SIG e a medição das áreas de copa nas ruas foi submetido à estatística descritiva: média e desvio padrão. Na análise estatística, a variável coletada área de copa recebeu dois tratamentos: T1 – método de coleta convencional, e T2 – método de delineamento em ambiente SIG. Destes, foram comparadas as médias quanto a sua homogeneidade, pelo teste *f* ao nível de significância de 95%.

## **RESULTADOS**

Os resultados processados em ambiente SIG e conferidos junto aos inventários convencionais para cada rua em cada uma das unidades amostrais encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3.

### **Unidade amostral Bigorriho**

Na amostra Bigorriho, o percentual da área de copa das árvores mensuradas em ambiente SIG representou, com relação aos dados coletados no inventário convencional, 92,42%.

As diferenças das áreas de copa entre os métodos SIG e convencional foram altas nas ruas Fernando Moreira (43,17%) e Padre Agostinho (40,08%). Nessas ruas, os valores médios da área de copa das árvores 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%). 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.

Tabela 1. Valores da variável área de copa para os métodos convencional e coleta em ambiente SIG na unidade amostral Bigorriho.

Table 1. Values of the canopy area for the collection methods in GIS environment and conventional sampling in the Bigorriho unit.

| 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> /arv) | 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. Motta       | 1.778,52                              | 1.518,95                                 | 17,09                                     | 253,16                                   | ± 102,38      |
| Cândido Hartmann | 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       |

### 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 essa amostra foi em média de 30,99%. Foi observado que, no método convencional de inventário, as áreas de copa foram maiores em todas as ruas da amostra (Tabela 2).

Tabela 2. Valores da variável área de copa para os métodos de coleta em ambiente SIG e convencional na unidade amostral Água Verde.

Table 2. Values of the canopy area for the collection methods in GIS environment and conventional sampling in the Água Verde unit.

| 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> /arv) | 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       |
| Prof <sup>o</sup> 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. Esse alto percentual de diferença obtido 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 delimitadas cinco árvores que estavam presentes no inventário convencional.

A Avenida dos Estados também apresentou alto percentual de diferença entre os dois métodos (60,65%). O não delimitamento das copas, conforme anteriormente citado, pode ser originado 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, nessa rua, foi detectada a mesma quantidade de árvores coletadas em ambiente SIG e método convencional.

#### Unidade amostral Jardim Social

Na tabela 3 observa-se que a maior diferença entre os métodos foi na rua Cel. Manoel S. do Amaral (37,49%), possivelmente causada pela diferença na quantidade de árvores detectadas na ortofoto, que foi de seis árvores a menos que na coleta de campo.

Nas ruas Aristides Athayde, Fagundes Varela, Major Claro A. Guimarães e Joaquim Américo Guimarães foi registrada uma 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.

Tabela 3. Valores da variável área de copa para os métodos de coleta em ambiente SIG e convencional na unidade amostral Jardim Social.

Table 3. Values of the canopy area for the collection methods in GIS environment and conventional sampling in the Jardim Social unit.

| 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> /arv) | 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. Espínola      | 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. Nossa 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 nas ruas Joaquim Américo Guimarães (1,70%) e Manoel C. de Freitas (2,74%), ambas com diferença de duas 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 que as maiores médias de área de copa foram nas ruas Tobias Barreto e Joaquim Américo, enquanto as 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 3), as médias mascararam os valores das árvores. Isso pode ter ocorrido devido ao porte ou tamanho das árvores serem diferentes nas ruas – provavelmente as espécies plantadas nas ruas não são as mesmas, ou, ainda, existem plantios novos. Entretanto, na Rua Des. Joaquim P. Monteiro, observou-se um baixo desvio padrão, indicando uma maior homogeneidade no porte ou tamanho das árvores.

#### Análise estatística

Estatisticamente, na comparação da média entre os métodos em ambiente SIG e inventário convencional (Tabela 4), observou-se que não há diferença significativa entre as médias das duas amostras no nível de confiança de 95%.

Tabela 4. Comparação de médias entre a coleta em ambiente SIG e inventário convencional.

Table 4. Averages comparison between the samples in GIS and conventional inventory.

| Unidade amostral | Coleta em ambiente SIG (m <sup>2</sup> ) | Método convencional (m <sup>2</sup> ) | Teste <i>f</i> | Valor de <i>p</i> |
|------------------|--|---------------------------------------|----------------|-------------------|
| Bigorriho        | 2.338,11                                 | 2.160,97                              | -0,152         | 0,88              |
| Água Verde       | 1.249,78                                 | 1.537,42                              | 0,72           | 0,48              |
| Jardim Social    | 1.778,99                                 | 1.084,42                              | 1,70           | 0,10              |

## DISCUSSÃO

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

Conforme os resultados na unidade amostral Bigorriho, a rua Martin Afonso (Tabela 1) registrou a maior diferença da área de copa das árvores entre os métodos, sendo que a coleta em ambiente SIG ultrapassou em 56,6% a medida realizada em campo. Essa diferença pode estar associada à época de coleta do inventário convencional ou da aquisição da imagem. Além disso, o tipo predominante de edificação na rua pode ter gerado sombras, ocasionando confusão no delineamento das áreas de copa pelo fotointérprete (LIMA NETO, 2011).

A partir das médias de área de copa e os seus desvios, observou-se que as árvores 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 *et al.* (2007), a área de copa é uma medida útil para se estimar o porte da árvore.

Nas unidades amostrais, 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 dessa rua apresentam portes ou idades diferentes. 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. Isso 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, como tempestades, vendavais, chuva de granizo, seca prolongada, vandalismo, incidência de pragas e doenças (BIONDI; ALTHAUS, 2005). Além disso, a falta de planejamento conta com fatores como insuficiência de área de canteiro para crescimento da árvore, fertilização do solo e adequada rustificação de mudas. Esses fatores interferem diretamente na permanência das árvores nas ruas e fazem com que elas necessitem ser rearborizadas. Conseqüentemente, as vias onde se pratica o replantio irão apresentar árvores com diferentes idades e áreas de copa.

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 de 16,18%. A influência do padrão de construções residenciais de no máximo três pavimentos na UA Jardim Social não permitiu a geração de sombras que dificultassem o delineamento. O maior espaçamento entre as árvores resultou em menores erros de delineamento. Portanto, o método convencional e em SIG são mais propensos à correspondência,

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que o valor de  $p$  obtido no teste  $f$  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.

### Restrições no delineamento 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. O método SIG e o método convencional podem incorrer em erros que não configuram uma satisfatória medição, de modo que os valores podem se tornar imprecisos.

Soares *et al.* (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 *et al.*, 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 trabalhar em um SIG 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, 2005; DISPERATI *et al.*, 2007a).

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, o que vai depender das características estruturais das florestas. O mapeamento de copas individuais pode ser vetorizado em um SIG junto com os dados alfanuméricos e atributos espaciais, proporcionando consultas e visualização dos resultados com maior acurácia.

Em áreas de floresta, a dificuldade no delineamento de copa está no adensamento do povoamento florestal, na presença de sombras periféricas e nos 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. Esse problema é agravado em áreas urbanas densas, devido à 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, alterando consequentemente a área de copa (LIMA NETO *et al.*, 2010). Além disso, o entrelaçamento de copas na arborização dificulta a definição dos limites de contorno das árvores durante o processamento da imagem.

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 1).

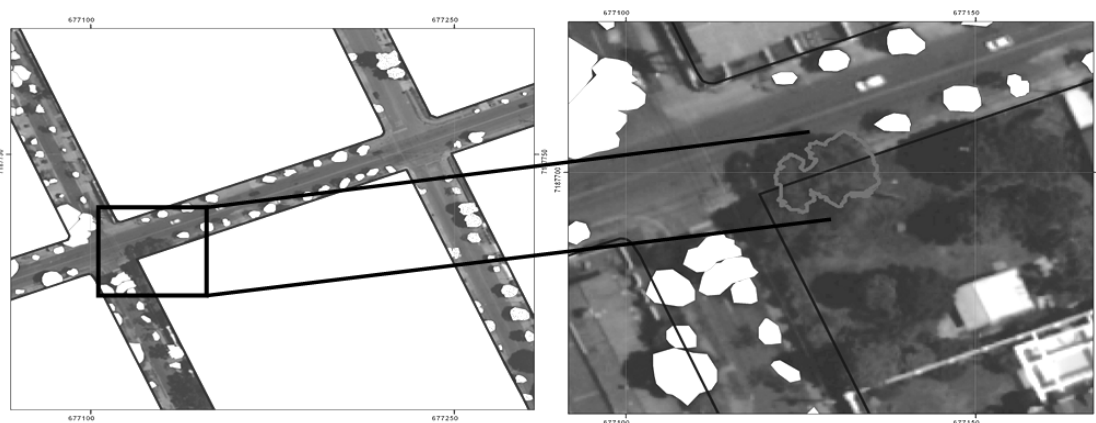


Figura 1. Copa de árvore em áreas particulares, dificultando o delineamento das árvores de rua.

Figure 1. Tree crowns in particular areas hindering the design of street trees.

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.

## CONCLUSÕES

- As áreas de copa delineadas nas ortofotos permitiram visualizar a distribuição espacial da arborização de ruas de Curitiba, fornecendo informações necessárias ao planejamento da arborização na cidade.
- As diferenças entre os valores obtidos nos métodos de coleta e os fatores limitantes no delineamento estão relacionadas a erros de observação e medição em inventários convencionais.
- As mudas e/ou árvores de menor porte não são delineadas 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, as sombras dos edifícios, a fenofase da árvore no momento de aquisição da imagem, encontrados nas ruas das amostras, resultaram em dificuldades de delineamento das copas das árvores.
- Recomenda-se o uso do geoprocessamento para cadastrar espacialmente a arborização viária, a fim de se obter maior praticidade na execução de inventários contínuos.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, que subsidiou financeiramente esta pesquisa. Ao IPPUC, por ceder as fotografias aéreas.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, E.; GUEDES JÚNIOR, A.; HOCHHEIM, N. Geoprocessamento para o inventário das espécies arbóreas na região de Florianópolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS. 4, 2001, Curitiba. **Anais do...** Curitiba: Fator GIS, 2001. CD-ROM.
- BIONDI, D.; ALTHAUS, M. **Árvores de rua de Curitiba**: cultivo e manejo. Curitiba: FUPEF, 2005. 182 p.
- DISPERATI, A. A.; SANTOS, J. R.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; NEEFF, T. Aplicação da técnica “filtragem de locais máximas” em fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba - SP, n. 76, 2007a.
- DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F.; SCHULER, C. A. B. **Fotografias aéreas de pequeno formato**: aplicações ambientais. Guarapuava: UNICENTRO, 2007b. 195 p.
- 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. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 29, n. 2, p.195 - 202, 2005.
- FRANKLIN, S. E. **Remote sensing for sustainable forest management**. Boca Raton: CRC Press; Boca Raton, USA: 2001. 407 p.
- GODFREY, C. G. GIS & GPS in urban forestry. **City Trees**, Redwood, USA: v. 37, n. 3, p. 14 - 16, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em 13/02/2011.
- INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). **Mapas de arruamento**. Disponível em: <[http://www.ippuc.org.br/informando/index\\_mapasarruamento.htm](http://www.ippuc.org.br/informando/index_mapasarruamento.htm)>. Acesso em 25/06/2009.
- KONTOES, C. C.; RAPTIS, V.; LAUTNER, M.; OBERSTADLER, R. 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**, Philadelphia, USA: v. 21, 2000.
- LIMA NETO, E. M. **Aplicação do sistema de informações geográficas para o inventário da arborização de ruas de Curitiba, PR**. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- 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 do...** Recife: UFPE, 2010. CD-ROM.



- LOBÃO, S. M. F. Entrada de fotografias aéreas coloridas de médio formato em SIG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais do...** Salvador: INPE, 1996. 1 CD-ROM.
- McPHERSON, E. G.; NOWAK, D.; HEISLER, G.; GRIMMOND, S.; SOUCH, C.; GRANT, R.; ROWTREE, R. Quantifying urban forest structure, function and value: the Chicago urban forest climate project. **Urban Ecosystems**, Duluth, USA: v. 1, p. 49 - 61, 1997.
- MILANO, M. S. **Avaliação e análise da arborização de ruas de Curitiba - PR**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.
- OLIVEIRA FILHO, P. C.; PICHETH, J. A. T. F. Definição de subunidades 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, Y. M. M. **Correlações entre parâmetros dendrométricos em *Araucaria angustifolia*, utilizando fotografias aéreas**. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.
- RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As regiões fitogeográficas do estado do Paraná. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria-RS, n. 24, v. 1, p. 75 - 92, 2002.
- ROLLO, F. M. A.; SILVA FILHO, D. F.; COUTO, H. T. Z.; POLIZEL, J. L. Uso de cenas videográficas para avaliação da floresta urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba - SP. v. 2, n. 3, 2007.
- SILVA, A. B. **Sistemas de informações georreferenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas – SP: Ed. UNICAMP, 2003. 240 p.
- SILVA FILHO, D. F. **Silvicultura urbana: o desenho florestal da cidade**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/silviculturaurbana.html>>. Acesso em 04/01/2011.
- SILVA, A. G.; PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Avaliando a arborização urbana**. Viçosa - MG: Ed. Aprenda Fácil, Série Arborização Urbana. Coleção Jardinagem e paisagismo, v. 5, 2007. 346 p.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2006.
- VIEIRA, C. H. S. D.; BIONDI, D. Análise da dinâmica da cobertura vegetal de Curitiba, PR (de 1986 a 2004), utilizando imagens Landsat TM. **Revista Árvore**. Viçosa - MG, v. 32, n. 3, p. 479 - 487, 2008.
- WARD, K. T.; JOHNSON, G. R. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information. **Urban Forestry & Urban Greening**, Elsevier: v. 6, 2007. p. 15 - 22.

