

Videografia Aérea Multiespectral em Silvicultura Urbana

Aerial Multispectral Videography in Urban Forestry

Demóstenes Ferreira da Silva Filho¹

Resumo

Admitindo-se como hipótese básica a possibilidade do uso de imagens aéreas multiespectrais para classificação automática em classes de vegetação, objetivou-se, mediante comparações estatísticas entre dados de solo e videografia aérea multiespectral, avaliar a aplicação e uso de imagens multiespectrais de alta resolução para identificação, classificação e quantificação das estruturas urbanas, cobertura vegetal proporcionada pelas árvores. Após sobrevôo e mosaico, foram feitas análises estatísticas (teste t) entre medidas de terrenos e ruas e as mesmas medições obtidas do mosaico corrigido. Foram feitas classificações automáticas supervisionadas com treinadores e auditores em alvos intra-urbanos da cidade de Piracicaba nas imagens de videografia. Foram obtidos resultados estatísticos para a videografia (Kappa acima de 80% e exatidão geral acima de 88%) que demonstram a efetividade do mapeamento temático e viabilidade do uso da videografia para caracterização da estrutura intra-urbana em classificações supervisionadas. Foi avaliada a possibilidade de identificação de espécies arbóreas usando classificadores em imagem multiespectral com a possibilidade desse uso, principalmente quando existe uma ampliação da resolução temporal.

Palavras-chave: silvicultura urbana; sensoriamento remoto; classificação semi-automática de espécies.

Abstract

Considering the possible use of aerial multispectral images for automatic classification within different kind of vegetation as a basic hypothesis, this work aimed to evaluate the application and use of high resolution multispectral

¹ Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”; Av. Pádua Dias, 11 – Caixa Postal 9; CEP: 13.418-900 – Piracicaba, SP. dfsilva@esalq.usp.br

images for identification, classification and quantification of urban structures, and woody cover. The evaluation was carried out by means of statistics, comparing field data and aerial multispectral videography. After the images acquisition, through over fly and mosaicking, statistical analyses (test t) were made for comparisons between measures of lands and streets and the mensurations obtained over the mosaic image. Automatic supervised classifications of the videography images were elaborated within urban surfaces of Piracicaba City. The statistical results from videography processing (kappa index greater than 80% and general accuracy greater than 88%) demonstrated the effectiveness of thematic mapping and viability of aerial multispectral videography for characterization of within urban structure. The possibility of tree species identification was evaluated using supervised classifiers in multispectral image whose results indicate the possibility of that use, mainly when a temporal resolution increase exists.

Keywords: urban forestry; remote sensing; arboreal species semi-automatic classification.

Introdução

A urbanização cria mudanças significativas no uso e cobertura do solo, afetando a estrutura, padrão e função do ecossistema. A opinião pública está cada vez mais consciente de que esses processos influenciam a vida diária e a sustentabilidade da qualidade de vida para as futuras gerações. A estrutura e função do ecossistema urbano podem ser estudadas usando-se os mesmos métodos dos ambientes naturais (XIAO et al. 1999).

Segundo ainda estes, a cobertura verde, pavimentos e construções são os três mais importantes tipos de cobertura do solo que afetam o desenvolvimento do ecossistema urbano. As árvores urbanas desempenham importante função na beleza da paisagem, na redução da poluição atmosférica e na moderação do balanço energético urbano e escoamento superficial da água de chuva. Muitos problemas de manejo do ecossistema urbano estão ligados a esses fatores, por exemplo, os efeitos das ilhas de calor e o aumento do escoamento superficial em tempestades relacionado com superfícies impermeáveis e construções. A qualidade do ar e uso da água são relacionados com a densidade de copa e densidade arbórea. Esses processos, no ecossistema urbano, dependem do conhecimento das espécies arbóreas, área de cobertura de copa, dimensão das árvores, percentagem de superfície pavimentada e construída, entre outras. Para entender como funciona a floresta urbana e estimar o valor de seus serviços ambientais deve-se primeiramente identificar as propriedades relacionadas a sua estrutura. O entendimento da estrutura da floresta urbana fornecerá subsídios para planejadores urbanos, tais como programação de podas, limpeza e controle de pragas e doenças.

A informação básica necessária para descrever a estrutura da floresta urbana inclui a quantidade de árvores, distribuição espacial, composição de espécies, dimensão, e condições de crescimento. Normalmente essas informações são originadas de pesquisas de campo. Entretanto, inventários de campo são demorados, caros e requerem uma curta periodicidade para serem eficazes. Informações de fotografias aéreas podem ser usadas com sucesso, mas são difíceis de serem obtidas. As novas técnicas de imagens de sensoriamento suborbital de alta resolução espacial e espectral podem ser usadas como alternativa eficaz para se obterem informações relativas à visualização e quantificação da floresta urbana e sua estrutura. Também, podem prover informações sobre o desenvolvimento das árvores por meio da repetição programada da aquisição de dados (XIAO et al. 1999).

Segundo Moreira (2003), sistemas de sensores multiespectrais têm sido usados para obter uma quantidade significativa de informações. Tais sensores são operados de aviões ou de satélites. Dentre os satelitários podem ser citados a série Landsat, SPOT, IKONOS e QUICKBIRD. Esses sistemas gravam o fluxo radiante existente da superfície terrestre em regiões espectrais específicas.

No caso pancromático, o SPOT possui somente uma banda operando de 510 a 730 nm. Essas bandas espectrais relativamente amplas não foram projetadas para aplicações ótimas em áreas urbanas, ao contrário do Ikonos e Quickbird, que possuem resolução espacial, no modo pancromático de 1 e 0,61 metros, respectivamente. Estudos têm sido realizados empregando-se composições coloridas com 3 (três) ou mais bandas espectrais. Dessa forma, a sua aplicação é no monitoramento da quantidade de biomassa disponível em função da sua abrangência (área) e mudanças temporais (KIRCHNER et al., 1990; MOREIRA, 2003).

Além desses sensores orbitais, existem sensores montados em plataformas suborbitais, como as aeronaves tripuladas, que podem sobrevoar a superfície terrestre em altitudes diversas produzindo imagens de diferentes resoluções espaciais. Um desses sistemas é o AVIRIS (*Airbone Visible Infrared Spectroradiometer*), sensor hiperespectral, desenvolvido pela NASA em 1983, operando em 224 bandas espectrais entre 400 a 2500 nm (MOREIRA, 2003; UNDERWOOD et al. 2003).

Outro sistema sensor suborbital multiespectral são as câmeras de videografia multiespectrais, que operam com quatro bandas entre 450 a 1100 nm, como a câmera DuncaTech MS 3100. A grande vantagem desses sistemas é a alta resolução espacial aliada a resolução espectral, possibilitando a obtenção de imagens digitais e a caracterização de alvos urbanos.

Pode-se investigar a possibilidade de identificação das espécies, caracterização e monitoramento das copas das árvores. Um aspecto importante é a exatidão dessas análises tanto do ponto de vista do mapeamento temático como da identificação

de padrões espectrais particulares de cada espécie vegetal. Áreas urbanas são diferentes de áreas rurais; existem mais árvores isoladas e, muitas vezes, com tamanhos e condições diferentes; as superfícies urbanas são variadas e possuem diferentes assinaturas espectrais; estes são problemas que tornam, provavelmente, a caracterização das árvores mais difícil (XIAO et al. ,1999).

Congalton (2001) descreveu as fontes de acumulação de erro em um projeto de sensoriamento remoto, que vão desde problemas com a plataforma até a apresentação final do mapeamento. Salienta a importância da validação estatística e descreve métodos para avaliação da exatidão do mapeamento temático e espacial, discutindo cada método e indicando aplicações para cada um deles.

Xiao et al. (1999), para caracterizar a arborização de parte da cidade de Modesto na Califórnia, usaram imagens do sensor AVIRIS obtidas em altitude de 3.810 metros acima do nível do mar, usando avião NOAA Twin Otter como plataforma suborbital, com boa resolução espacial de 3,5 metros e excelente resolução hiperespectral de 224 bandas. Avaliaram 648 espécimes de 22 espécies, das quais 340 estavam incluídas nas imagens do AVIRIS. Obtiveram sucesso na identificação do aspecto fisionômico (decíduas, não decíduas e coníferas) e obtiveram resultados que comprovaram excelente classificação de gênero.

Considerando todos os problemas de implantar, manter, adequar e replanejar as áreas florestadas urbanas, este trabalho objetiva verificar a viabilidade do emprego da videografia aérea multiespectral como sensor remoto suborbital para classificação e quantificação das superfícies urbanas e reconhecimento da cobertura vegetal arbórea, em cenas da cidade de Piracicaba, SP.

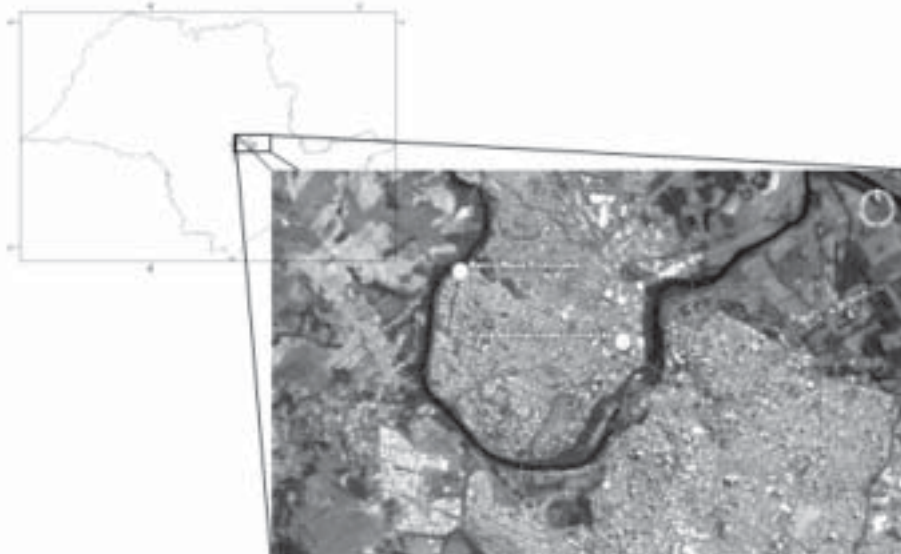
Material e Métodos

Área de Estudo

Segundo o IBGE (2002), o Município de Piracicaba (SP) situa-se entre as coordenadas geográficas 22°42' de latitude sul e 47°38' de longitude oeste de Greenwich. Fica, em linha reta da capital do Estado, São Paulo, 138 km e está a 540 m de altitude, possui 92% da população, cerca de 308 mil habitantes, vivendo na área urbana.

O clima é subtropical úmido com estiagem no inverno, em julho e agosto, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C. A área de estudo está caracterizada graficamente na figura 1.

Figura 1. Localização das áreas de aplicação do estudo na cidade de Piracicaba, SP



Fonte: IBGE, 2001 e GOOGLE EARTH, 2006

Descrição dos Métodos

Videografia Aérea

Como método de trabalho, executou-se a coleta de dados por meio de videografia aérea com câmera digital multiespectral em alvos intra-urbanos correspondentes a 400 cenas, cobrindo aproximadamente 570 x 421 metros cada uma, referente à região central da cidade de Piracicaba, SP.

O sensor passivo que proporcionou a obtenção das imagens foi a câmera multiespectral DuncanTech modelo MS 3100, colorida, com qualidade de imagem de 1384 x 1036 pixels, apta para captar a faixa do espectro visível e infravermelho próximo (400-1100 nm), gerando imagens compostas contendo o azul e verde em uma banda e o vermelho e infravermelho próximo em outras duas bandas, respectivamente.

Para a fixação de todos os equipamentos, foi usado um suporte em uma abertura do piso da plataforma, avião CESSNA, modelo 180. É indicado o avião porque ele se alinha horizontalmente em relação ao solo quando em sobrevôo, o que foi necessário para a obtenção das imagens verticais dos alvos. Os sobrevôos sobre a cidade de Piracicaba foram realizados em dias sem nuvens e com boa visibilidade, dias 15 (vinte minutos de sobrevôo), 17 de maio (1h30min de sobrevôo) e 19 de julho de 2003 (trinta minutos de sobrevôo), entre 10h40 e 12h00. O tempo total dos sobrevôos foi de 2 horas e vinte minutos.

Foi usada como base a pista do aeroclube de Piracicaba. Nela, foram efetuadas a calibração final da câmera e a montagem dos equipamentos. A câmera foi ligada a um monitor, que exibia o alvo filmado durante a passagem, possibilitando, com isso, a detecção e a correção de desvios na rota do avião ou regulagem dos equipamentos.

As imagens da cidade, provenientes da câmera DuncanTech MS 3100 foram digitalizadas para computador assim que obtidas, em tempo real, por meio de placa de captura Nation Instrument's PCI-1424, instalada no computador.

Georreferenciamento e confecção do mosaico

Buscando-se maior precisão, foi utilizado aparelho GPS topográfico, marca Trimble, modelo ProXR, para captura de pontos de controle para o georreferenciamento. O *Datum* utilizado foi o *World Geodetic System 84* (WGS84), sistemas de coordenadas geográficas (latitude-longitude). Todas as coordenadas obtidas foram marcadas em fotografia digitalizada de alta resolução da empresa Base aerofotogrametria, corrigidas pelos dados da antena de posicionamento, localizada na Universidade de São Paulo, Campus de Piracicaba, pertencente ao CIAGRI - Centro de Informática do Campus "Luiz de Queiroz".

Para a correção geométrica e registro das imagens, foram inseridas coordenadas geográficas obtidas do GPS por meio de processo conhecido como registro imagem-imagem, usando a imagem digitalizada de Piracicaba, corrigida com 35 pontos de controle. Concomitantemente, procedeu-se a escolha das melhores cenas de videografia buscando-se uma maior abrangência do espaço imageado para a confecção do mosaico. As operações com correções geométricas, registro e confecção do mosaico foram elaborados usando as ferramentas de processamento de imagens do programa TNT Mips 6.6 utilizando interpolação bilinear (SMITH, 2000).

Tratamento das imagens

Análises de *pixel* do mosaico de parte do bairro Nova Piracicaba, extraído do mosaico maior, foram elaboradas para determinação da resolução radiométrica. Os valores de *pixel* foram desmembrados e estudados nos espectros "R" (infravermelho próximo), "G" (vermelho) e "B" (parte do azul e todo o verde), utilizando-se o processador de imagens TNT Mips 6.6, objetivando um erro mínimo na classificação e mensuração das áreas intra-urbanas e seus componentes. Além do mosaico, foi avaliado o uso de duas cenas da Praça da Imaculada Conceição, bairro Vila Rezende, provenientes dos sobrevôos de maio e julho, para averiguar a possibilidade de reconhecimento das espécies dominantes pelas características espectrais de suas copas. As duas cenas foram recortadas para extração do espaço da praça, usando o programa Adobe Photoshop versão 5 registradas

com 20 pontos de controle e desmembradas por meio do TNT Mips 6.6, conforme descrito anteriormente.

Elaboração de classificação automática supervisionada

Como verdade terrestre para classificação supervisionada utilizou-se ortofoto, foto corrigida, digitalizada dos bairros e fornecida pela Prefeitura de Piracicaba, elaborada pela empresa Base Aerofotogrametria no ano 2000. Essa ortofoto possui alta qualidade do ponto de vista fotogramétrico e ótima resolução espacial, possibilitando a identificação visual dos alvos intra-urbanos (verdade terrestre) para a confecção de áreas de treinamento e classificação final.

Para dirimir dúvidas de alguns alvos foram feitas averiguações de campo nos locais imageados para verificação da classificação. Além disso, foram feitas duas avaliações de campo para o reconhecimento de todas as espécies arbóreas dominantes da Praça da Imaculada Conceição para a confecção das áreas de treinamento e classificação.

Classificação de imagens e sua validação estatística

Classificação com o uso de treinadores

Foram elaboradas classificações supervisionadas do mosaico e das imagens da praça usando o algoritmo da máxima verossimilhança. Foram confeccionadas as áreas de treinamento e classificação para o mosaico do Bairro Nova Piracicaba e um único conjunto de áreas de treinamento e classificação para as duas imagens da Praça da Imaculada Conceição. Após esta etapa, procedeu-se a classificação do mosaico. As imagens da praça foram classificadas juntas e depois separadas para que se pudesse avaliar o efeito da sobreposição temporal sobre a classificação. Para averiguação da exatidão dos mapeamentos temáticos foram confeccionadas matrizes de erro e foi usado o índice de precisão Kappa.

Resultados e Discussão

Imagens

A aferição métrica do mapeamento demonstrou coincidência entre os valores obtidos nas vias públicas da cidade e diretamente da imagem, confirmadas pela ausência de diferenças estatísticas significativas entre as médias. Esse resultado mostra que os procedimentos adotados, uso de GPS e registro das imagens, resultaram na correção das

distorções proporcionadas por vários fatores, como a vibração do avião, do suporte de metal, variação da altitude de vôo, inclinação da plataforma e variações causadas por deriva que deslocam a plataforma da faixa de vôo (figura 2 e tabela 1).

Além disso, obtiveram-se duas imagens da Praça Imaculada Conceição no bairro Vila Rezende. A primeira foi obtida no sobrevôo do dia 15 de maio de 2003 e a segunda, no dia 19 de julho do mesmo ano (figura 3).

Figura 2. Diagrama de dispersão mostrando a correlação entre as medições de campo, feitas em metros, e na imagem e a equação de regressão estimada

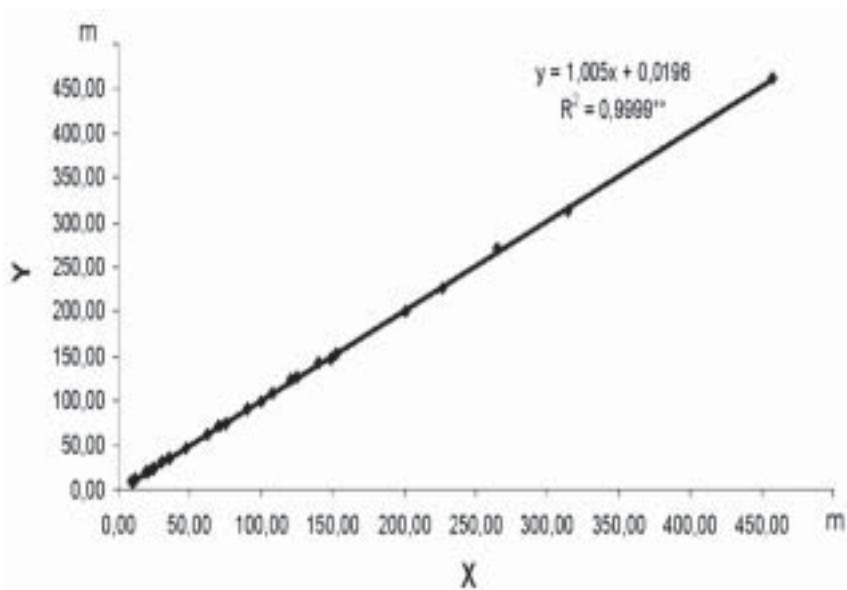


Tabela 1. Comparação, usando o Teste “t” pareado, entre médias de medições nas vias públicas e medições feitas na imagem do mosaico do bairro Nova Piracicaba, Piracicaba, SP

<i>Item</i>	<i>Medições nas vias públicas</i>	<i>Medições na imagem</i>
Média	59,71	60,03
Variancia	7305,31	7379,61
Quantidade de medições	59	59
Valor de “t”	-2,19	ns ¹
“t” tabelado	2,66	

¹ valor não significativo ($P > 0,05$)

Figura 3. Imagens de videografia da Praça Imaculada Conceição no sobrevôo do dia 15 de maio de 2003 e 19 de julho de 2003

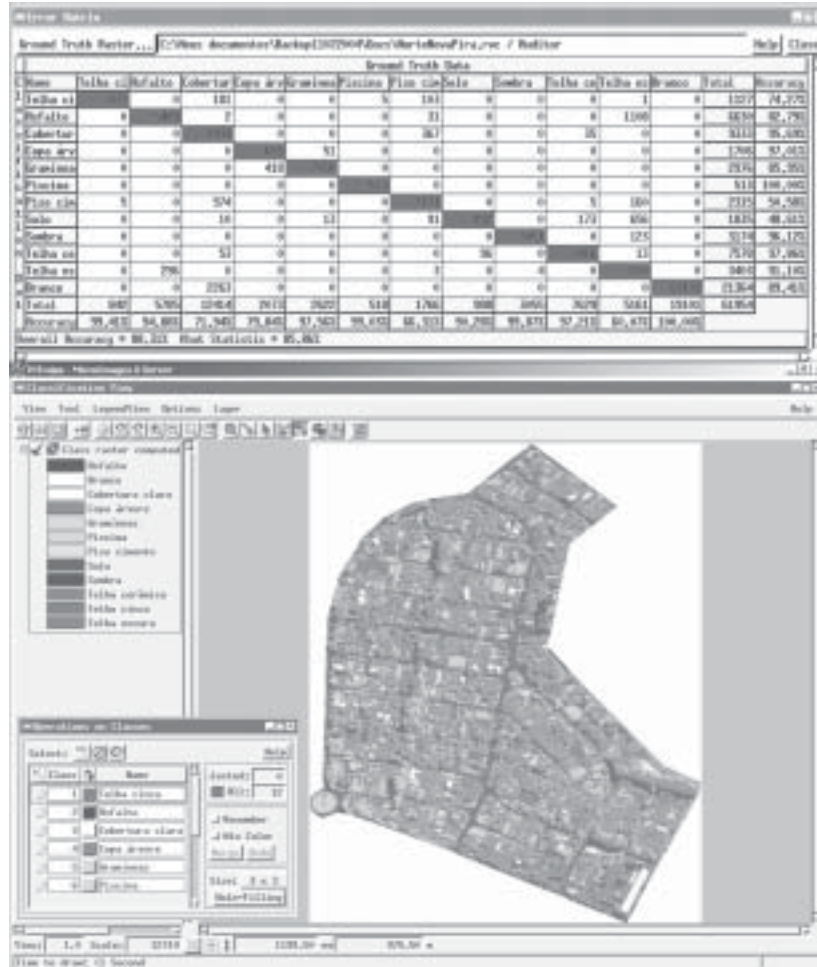


Classificação das Imagens

Caracterização dos Alvos Urbanos

Quanto à classificação automática supervisionada do mosaico de parte do bairro Nova Piracicaba, ocorreram algumas confusões entre classes devido a existência de alvos urbanos com assinaturas espectrais semelhantes. A classe piscina obteve os melhores valores de exatidão, contudo, problemas maiores ocorreram entre solo e telha cerâmica e asfalto com telha escura que apresentaram menores exatidões. Quanto à cobertura verde proporcionada por árvores e gramíneas, os valores estão adequados, embora existam algumas confusões com parte das árvores confundidas com grama. Esse resultado, obtido do mosaico de apenas um sobrevôo, indica a possibilidade de avaliação da estrutura urbana e floresta urbana pelas imagens de videografia, pois o índice Kappa está acima de 85% (figura 4).

Figura 4. Matriz de erro da classificação supervisionada de parte do bairro Nova Piracicaba e imagem temática, na tela do programa TNT Mips 6.6



Classificação Semi-Automática de Espécies Arbóreas

No reconhecimento das espécies arbóreas pela classificação supervisionada das imagens de videografia, quando a classificação foi feita separadamente, uma de cada vez, notam-se confusões na matriz de erro e índices de exatidão Kappa de menor precisão, abaixo de 80% (tabela 2). Porém, quando as imagens são sobrepostas e classificadas pelo mesmo conjunto de treinamento a classificação é mais precisa com reconhecimento das espécies presentes no dossel da Praça e índice de exatidão Kappa de 87,81% (tabela 2).

Na imagem do dia 15 de maio de 2003, as árvores e gramado estavam ainda em uma situação adequada, ou seja, estavam bem supridas de água, pois o solo e suas próprias reservas ainda permitiam transporte adequado de água para as folhas que estavam, do ponto de vista fisiológico, mais ativas e as copas cobriam a superfície da praça.

Tabela 2. Indicadores de exatidão, em porcentagem, para as matrizes de erro das imagens dos dias 15 de maio, 19 de julho e da sobreposição destas para a Praça da Imaculada Conceição

N°	Classe	Nome Científico	Nome Vulgar	Imagem 15/05/2003		Imagem 19/07/2003		Sobreposição	
				Exatidão ¹ (+i) (omissão)	Exatidão (i+) (inclusão)	Exatidão ¹ (+i) (omissão)	Exatidão (i+) (inclusão)	Exatidão ¹ (+i) (omissão)	Exatidão (i+) (inclusão)
1	Água			100,00	100,00	93,22	60,44	100,00	100,00
2	Asfalto			80,24	96,57	93,28	96,83	93,28	97,86
3	Cobertura Cerâmica			98,90	97,13	74,59	91,89	99,63	97,50
4	Cobertura clara			100,00	98,84	64,13	92,19	100,00	97,87
5	Cobertura escura			92,56	55,45	90,08	74,66	94,21	80,28
6	Mosaico português (Pedra portuguesa)			95,52	100,00	87,06	98,87	98,01	100,00
7	Paralelepípedo			95,76	96,93	93,94	87,57	95,15	100,00
8	Sombra			97,33	97,33	86,67	70,65	98,67	97,37
9	<i>Ligustrum lucidum</i> Ait		Alfeneiro	69,81	45,12	58,49	34,44	81,13	58,11
10	<i>Annona muricata</i> L.		Annona	100,00	28,21	0,00	22,73	100,00	73,33
11	<i>Dypteris latifolia</i> (H. Wendl)		Arecá	0,00	47,12	0,00	26,19	85,71	46,15
12	<i>Schefflera actinophylla</i> Hamra		Brassaiá	27,16	46,81	41,98	46,94	54,32	78,57
13	<i>Cordia fistula</i> L.		Chuva-de-ouro	36,81	40,74	42,33	64,00	42,07	81,18
14	<i>Terminalia catappa</i> L.		Chapéu-de-sol	69,31	71,43	51,49	44,14	94,06	94,06
15	<i>Delonix regia</i> (Boj.) Raf.		Flamboyan	0,00	50,00	0,00	40,00	51,75	57,84
16	<i>Paspalum notatum</i> Flagge		Gramá	64,15	68,69	93,40	94,29	98,11	100,00
17	<i>Tabebeia corymbosa</i> (Mart. Ex DC.) Standl.		Ipê-amarelo	75,00	31,91	0,00	18,18	95,00	60,32
18	<i>Tabebeia pentaphylla</i> Hemsl.		Ipê-rosa	73,47	34,95	32,65	20,51	85,71	71,19
19	<i>Tabebeia ariflora</i> Loef. ex Griseb.		Ipê-roxo	92,08	93,17	91,25	72,78	95,41	99,35
20	<i>Myrciaria trunciflora</i> Berg.		Jabuticabeira	0,00	19,51	0,00	50,00	100,00	81,25
21	<i>Strychnos amara</i> L.		Jambolão	68,48	70,51	50,00	80,49	81,52	85,23
22	<i>Hymenoclea soubirai</i> L.		Jatobá	74,47	54,69	51,06	35,56	84,04	73,83
23	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman.		Jerivá	11,43	42,11	20,00	51,85	50,00	53,03
24	<i>Mangifera indica</i> L.		Mangueira	47,83	22,00	0,00	25,42	86,96	55,56
25	<i>Lafosmia glyptocarpa</i> Kuhn		Mirindiba	0,00	41,11	0,00	28,90	80,33	77,78
26	<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. var. <i>leostachya</i>		Pau-ferro	82,41	71,77	46,30	31,65	88,89	83,48
27	<i>Schinus molle</i> Radl.		Pimenteira	0,00	84,95	0,00	25,00	100,00	81,82
28	<i>Sapindus saponaria</i> L.		Saboneteira	97,06	80,49	70,59	52,17	100,00	100,00
29	<i>Caesalpinia pedunculata</i> Benth.		Sibipiruna	44,62	54,72	46,15	31,75	84,62	73,33
Kappa geral				73,78%	65,68%	65,68%	65,68%	87,81%	87,81%

¹ Exatidão (+i) (producer's accuracy) é a porcentagem de pixels corretamente classificados de cada classe em cada coluna em uma matriz de erro, indica a probabilidade de erros de **omissão**. A Exatidão (i+) (user's accuracy) é a porcentagem de pixels corretamente classificados de cada classe em cada linha, na mesma matriz, indica a probabilidade de erros de **inclusão**. Ver tabela 3.

No dia 19 de julho de 2003 foi possível encontrar as plantas em outra fenofase. As árvores e o gramado estavam passando por um período de menor atividade metabólica, resultantes da estiagem de inverno característica do clima da região de Piracicaba. Muitas árvores na praça já haviam perdido folhas e as que restavam não estavam em seu ótimo vigor fotossintético, resultando possivelmente em valores mais baixos no infravermelho-próximo. Além dessas características, muitas árvores passaram a exibir galhos, ramos e demais estruturas de sustentação, formadoras de sua singular arquitetura, constituintes das copas das árvores que absorvem e refletem radiação de modo particular, criando uma textura característica de cada espécie e captada pelas imagens de videografia multiespectral. Quando as imagens são analisadas em separado, algumas semelhanças entre as árvores ocorrem, pois as espécies caducifólias estão bem verdes no mês de maio e a reflectância no infravermelho-próximo é alta, os galhos estão encobertos pelas folhas e as diferenças entre as espécies aparecem no dossel apenas entre texturas, caracterizadas por diferentes tamanhos das folhas. Isto é devido a sutis diferenças no metabolismo fotossintético de cada espécie, na proporção relativa de pigmentos fotossintetizantes, materiais da parede celular, concentração de água e a ocorrência de “sombrias” ocasionadas pela inclinação dos raios solares. Para a imagem do dia 19 de julho, o stresse causado pelo clima seco diferencia as árvores caducifólias das sempre verdes, expondo galhos e demais estruturas, um exemplo foi o ipê-roxo que havia perdido suas folhas nessa época para florir. Nota-se que o ipê-roxo apresentou semelhanças com asfalto e telhado escuro. Algumas árvores não puderam ser diferenciadas e agrupadas corretamente (tabela 2).

No momento em que a classificação é feita com todas as imagens sobrepostas, ocorre uma ampliação das resoluções espectrais, pois existem dois valores de *pixel* para cada banda captada, aliando altos valores característicos de cada espécie, em uma época e baixos valores igualmente característicos, em outra. Essa ampliação, pela capacidade de analisar cada espécie nos dois “tempos”, é conhecida como resolução temporal e foi fundamental para a melhoria dos índices de exatidão na classificação supervisionada. Outros trabalhos devem ser elaborados com objetivo de averiguar até que ponto a resolução temporal pode ser usada para avaliação das árvores urbanas.

Esses dados são semelhantes aos obtidos por Xiao et al. (1999) com métodos, procedimentos e equipamentos distintos e um sensor com resolução espectral bem superior (224 bandas espectrais). Obtiveram excelente classificação de gênero, sem usar a resolução temporal, com caracterização de gêneros e aspectos fisionômicos em valores específicos de reflectância, dispostos em histogramas.

É possível visualizar que para sensores multiespectrais, como a câmera DucanTech MS 3100, de resolução espectral inferior quando comparado aos sensores hiperspectrais, como o AVIRIS, podem-se adquirir imagens do local a ser estudado em várias épocas, com condições climáticas distintas para promover melhor distinção entre as copas das espécies arbóreas pela captação de suas particularidades de fenofase.

Conclusão

Por meio dos métodos usados e resultados encontrados, é possível afirmar que:

- as análises demonstraram ser possível separar a superfície urbana em diferentes tipos de cobertura do solo por meio do uso da videografia multiespectral;
- foi possível quantificar os diferentes tipos de cobertura do solo urbano;
- a videografia multiespectral aliada ao geoprocessamento pode ser utilizada para avaliação das condições urbanas, em especial a cobertura de vegetação das cidades;
- por meio da ampliação da resolução temporal e técnicas de classificação supervisionada existe possibilidade de reconhecer espécies e quantificar suas áreas de cobertura, possibilitando a melhoria da eficiência no manejo da arborização urbana por meio de uma rápida estimativa de diversidade;
- os resultados obtidos permitem a indicação de mais pesquisas com objetivo de ampliar os usos da videografia multiespectral como alternativa para subsidiar o manejo do ecossistema urbano.

Referências

- CONGALTON, R.G. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International Journal of Wildland Fire*, Manitoba, v. 10, p. 321-328, 2001.
- GOOGLE EARTH – *Versão 4.0.1693(beta)*, 2006. Disponível em: <http://earth.google.com/support/bin/answer.py?answer=40901>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *STATCART - Base de informações por setor censitário, Piracicaba, SP – Censo Demográfico 2000*, Rio de Janeiro, RJ, 2002. 1 CD-ROM.
- KIRCHNER, F.F.; DETZEL, V.A.; MITISHITA, E.A. Mapeamento da vegetação urbana. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3, 1990. Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR/FUPEF, 1990. p. 72-85.
- MOREIRA, M.A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 2 ed. Viçosa, UFV, 2003. 307 p.
- SMITH, R.B. *Getting Started: Image Classification with TNT mips*. Lincoln, Nebraska, Microimages, Inc, 2000. 36 p.
- UNDERWOOD, E.; USTIN, S.; DIPIETRO, D. Mapping nonnative plants using hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, v.86, Minnesota, n.2, p. 150–161, 2003.

XIAO, Q.; USTIN, S.; MCPHERSON, E.G.; PEPER, P. Characterization of the structure and species composition of urban trees using high resolution AVIRIS data. In: GREEN, R. (Ed.) *Summaries of the Eight JPL Airborne Earth Science Workshop, 8., 1999, Pasadena. Proceedings...* Pasadena: California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory, 1999. p. 451-460.