Revista do Departamento de Geografia, 14 (2001) 47-58

IDENTIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM ÁREAS URBANAS POR MEIO DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.*

Ailton Luchiari**

Resumo: O objetivo deste estudo é identificar a cobertura vegetal em áreas urbanas. A área de estudo é a microbacia do Ribeirão das Pedras, localizada no setor norte do município de Campinas (SP). Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados dados cartográficos e imagens obtidas pelos sensores TM LANDSAT (bandas 3, 4 e 5) e SPOT (banda pancromática). Os dados orbitais foram submetidos às rotinas de fusão de imagens e classificação de padrões e, posteriormente, combinados com os mapas da área urbana. Os resultados demonstram um estreito relacionamento entre a densidade de cobertura vegetal e a renda familiar da população residente na área.

Palavras-chave: SIG; Cobertura vegetal; Sensoriamento remoto; Área urbana

Introdução

Ao longo de sua história, uma cidade guarda configurações espaciais do período de seu surgimento, dos períodos pelos quais passou e de suas transformações recentes. Cada período socioeconômico determina uma configuração espacial na cidade, que está vinculada à estratificação social e às suas organizações econômicas (CARLOS, 1994).

CORRÊA (1995) define quatro características fundamentais do espaço urbano contemporâneo. De acordo com a primeira, o espaço urbano constitui um conjunto de usos diferenciados, tais como o industrial, comercial, residencial, de serviços e gestão. A segunda característica relaciona os usos, ficando claro que esses espaços não são estáticos, mas relacionados por meio de fluxos de mercadorias, de pessoas e de veículos. Nesse caso, é preciso considerar ainda a circulação de decisões e de investimentos de capital. De acordo com a terceira, o espaço urbano reflete a sociedade que o constrói, revelando sua estrutura social em classes, por meio de áreas residenciais segregadas. Além disso, sendo dinâmica, a sociedade confere ao espaço urbano a condição de mutabilidade. Por fim, segundo a quarta característica, o espaço urbano condiciona a sociedade que nele vive por meio das obras fixadas pelo homem.

O espaço urbano, uma forma artificial construída pelo homem, constitui-se de espaços menores e diferenciados, sendo, portanto, heterogêneo. Carregado de heterogeneidade e artificialidade, consiste na maior alteração da natureza promovida pelo homem.

As áreas residenciais ocupam a maior porção do espaço urbano e guardam diferenciações entre elas. Essas áreas diferenciam-se por estarem próximas ou por permitirem fácil acesso aos serviços essenciais básicos, como sistema de água e esgoto, sistema de transporte, serviços educacionais, bem como ao lazer e às áreas verdes (CAMPOS FILHO, 1992). As áreas residenciais são, então, qualificadas e valorizadas pelos conjuntos moldados com diferentes graus de presença ou desses elementos.

Um dos elementos diferenciadores das áreas

* Pesquisa subvencionada pela FAPESP processo 98/3504-8 ** LASERE/Departamento de Geografia USP, C.P. 2530,01060-970 São Paulo (SP), Brasil.

residenciais é a porção de espaço destinado à cobertura vegetal. Essa vegetação pode estar situada em áreas públicas ou privadas e constitui um indicador da qualidade ambiental desses espaços.

NUCCI & CAVALHEIRO (1999) definem cobertura vegetal como qualquer área provida de vegetação dentro do espaço urbano, compreendendo a vegetação herbácea, arbustiva e arbórea. Os jardins, os quintais, as praças, os parques, os canteiros em vias de circulação, as áreas preservadas, dentre outras formas de cobertura vegetal estão compreendidas dentro dessa categoria. Essas áreas podem estar situadas tanto em terrenos públicos, quanto em terrenos privados.

Nas áreas residenciais, a quantidade de cobertura vegetal está em estreita relação com a qualidade de vida de seus habitantes. Está também diretamente atrelada à qualidade e ao tamanho das edificações presentes nesses espaços. As mansões destinadas à moradia da classe alta são adornadas por grandes jardins em que as árvores possuem um papel de destaque. Contrariamente, é difícil presenciar alguma cobertura vegetal entre um conjunto de casas edificadas pelo processo de autoconstrução e entre o conjunto de moradias de uma favela. Nesse sentido, pode-se dizer que existe uma associação entre qualidade de vida, nível sócio - econômico, nível de renda das populações presentes no ambiente urbano e a cobertura vegetal do local em que elas residem. Algumas exceções existem, mas são raras.

Vários são os procedimentos para realizar o levantamento da cobertura vegetal em áreas urbanas: por meio dos trabalhos de campo, pela análise de cartas e plantas topográficas em escala grande, pela interpretação de fotografias aéreas, e até mesmo, pela análise de imagens obtidas no nível orbital.

Atualmente, existe uma variedade de sistemas sensores projetados para o fornecimento de dados referentes às porções da superfície terrestre. Esses sistemas, entre os quais estão os sensores fotográficos, os sensores de varredura (*scanners*) e os radares, idealizados para a produção de imagens do terreno, utilizam a radiação eletromagnética como fonte de energia.

O sistema LANDSAT e o sistema SPOT, colocados no nível orbital para a geração de imagens, merecem destaque porque proveram uma série histórica de dados. Essas imagens, além de permitirem a representação do terreno em uma determinada época, possibilitam o acompanhamento da dinâmica de um fenômeno em intervalos anuais, ou intervalos maiores que um ano. Esses monitoramentos estão relacionados às transformações na utilização da terra, à expansão urbana, aos desmatamentos de áreas florestais, dentre outros. A análise de imagens de uma série histórica subsidia a elaboração de prognósticos, de cenários futuros e de tendências para uma determinada área.

As imagens geradas pelos sistemas orbitais são úteis para o estudo da distribuição da vegetação natural e das culturas agrícolas. Nos estudos das formações vegetais naturais, os dados subsidiam os mapeamentos, os estudos sobre a exploração madeireira, os diagnósticos sobre as infestações de pragas e doenças e os estudos sobre o comportamento da vegetação em períodos secos e períodos chuvosos. No campo da agricultura, os produtos são utilizados no monitoramento de culturas agrícolas específicas, na detecção de pragas e de doenças, e na previsão de safras (CAMPBELL, 1987).

O comportamento da vegetação ao longo do ano e a maneira como ela se distribui numa determinada área são indícios que possibilitam a identificação de outras feições e aspectos do terreno. Assim, a análise da vegetação, por meio de imagens, possibilita inferências sobre o embasamento litológico e os tipos de solo de uma área. Nas áreas urbanas, a maneira como a vegetação é distribuída revela aspectos da qualidade ambiental, podendo indicar a qualidade de vida da população presente nesses espaços.

É necessário entender o comportamento espectral da vegetação para a aplicação das técnicas do sensoriamento remoto aos estudos relacionados à cobertura vegetal. Os resultados das análises dos dados provenientes dos sensores não imageadores, como os radiômetros e os espectrorradiômetros, suprem o embasamento inicial para a compreensão do comportamento espectral da vegetação. As coletas, realizadas em campo ou em laboratório, são efetuadas a partir de folhas individuais de espécies vegetais, ou de parcelas experimentais de culturas agrícolas.

Em relação à aplicação de dados de sensoriamento remoto, FORESTI & PEREIRA (1987) comentam que o ambiente urbano é composto de vários materiais como o concreto, o asfalto, as coberturas cerâmicas e metálicas dos edifícios, as áreas desnudas e os vários tipos de vegetação. Em relação a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto o conjunto desses materiais, ocorrendo em pequenas áreas, resulta em texturas, variações de tonalidades e padrões bastante complexos. A composição química e a estrutura física desses materiais fazem com que cada um possua uma

maneira característica de interação com a energia eletromagnética, revelando respostas espectrais diferentes. Considerando as variações climáticas sazonais, a maioria desses materiais revela um comportamento espectral mais ou menos constante, não existindo grandes variações no mecanismo de interação com a energia eletromagnética durante o ano. A vegetação, por sua vez, possui um mecanismo de interação muito mais dinâmico; sua resposta espectral é altamente influenciada pelas variações climáticas, pela poluição atmosférica, pelo ataque de pragas e doenças e pela deficiência de água em períodos secos prolongados.

A interpretação das imagens de sensoriamento remoto sofreu uma grande contribuição oferecida com os avanços da informática, principalmente os relacionados com o advento e vulgarização do microcomputador pessoal. O uso do computador passou a ser um instrumento indispensável no processo de análise dessas imagens. Por meio das técnicas de processamento digital de imagens, é possível aplicar uma série de rotinas computacionais aos dados, de modo a permitir a extração de informações específicas sobre determinadas feições de interesse do pesquisador. Esse procedimento reduz a subjetividade inerente ao processo de interpretação visual em que o conhecimento do intérprete tem um papel relevante. Com o objetivo de identificar e estudar o comportamento da vegetação, as rotinas de classificação de padrões e as que visam obter índices de vegetação são aplicadas às imagens.

Outra contribuição, não só para a Geografia, decorrente do avanço e da disseminação da informática foi a difusão dos Sistemas de Informação Geográfica. Isso não quer dizer que esses sistemas só existam devido ao aparecimento do computador; pelo contrário, são muito conhecidos pelos geógrafos na confecção de cartas de síntese. BURROUGH (1986) define um Sistema de Informação Geográfica como um poderoso conjunto de instrumentos para coletar, armazenar, recuperar e, posteriormente, transformar e representar dados referenciados da superfície terrestre para um conjunto de propósitos particulares. A sua principal operação de tratamento de dados georreferenciados reside na capacidade que tem combinar mapas de maneira rápida e com um alto grau de precisão.

O presente artigo tem como objetivo fornecer subsídios aos estudos da cobertura vegetal em áreas urbanas, considerando as técnicas do sensoriamento remoto como fonte e procedimento de análise de dados. Para tanto, a primeira parte deste trabalho fornece um exemplo da aplicação das rotinas de tratamento de imagens orbitais, fusão de imagens e classificação de padrões, para a identificação da cobertura vegetal urbana. A segunda toma os resultados provenientes do tratamento das imagens e os combina com dados cartográficos em um sistema de informação geográfica. O objetivo de efetuar tais operações foi analisar a relação entre a quantidade de vegetação e o adensamento de edificações em áreas urbanizadas.

A microbacia do Ribeirão das Pedras.

A microbacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, situada na porção norte do município de Campinas, foi a localidade selecionada para a realização desse estudo. O seu canal principal desenvolve um trajeto no sentido sul - norte, tendo suas nascentes localizadas em área urbana e sua foz em área com características rurais.

As nascentes estão situadas em um loteamento residencial de alto padrão, classe média alta. Alguns quilômetros à jusante, o canal corta uma área ocupada pela cultura canavieira. Depois suas águas voltam a atravessar uma área urbanizada, com residências de classe média, pertencentes ao distrito de Barão Geraldo. Na área do baixo curso existem algumas chácaras, e outras propriedades destinadas à produção de hortaliças e flores.

O processo de expansão urbana apresenta um alto grau de dinamismo. As residências antigas situam-se no centro do distrito. Os condomínios fechados - uma forma contemporânea de urbanização - são freqüentes nessa área apresentando-se de duas formas: a primeira com lotes individuais com dimensões entre 600 a 1000 metros quadrados cada um; a segunda consistindo em várias edificações que, em conjunto, fracionam terrenos entre 5 000 a 10 000 metros quadrados. Os loteamentos destinados às habitações individuais localizam-se no médio curso.

Na porção oeste de Barão Geraldo está localizado o distrito industrial, ao redor deste encontram-se residências destinadas à população de baixa renda. Nesta área encontra-se um pequeno centro comercial destinado ao atendimento dessa população, além de pequenas lojas e supermercados, são encontrados estabelecimentos comerciais de materiais de construção.

Os principais eixos de circulação posicionam-se paralelamente, ou transversalmente, ao canal principal. Nesses eixos situam-se inúmeras casas comerciais, oficinas, pequenas indústrias e algumas escolas privadas, que oferecem cursos de curta duração.

As inundações ocorrem ao longo do canal principal, nas

intersecções do canal com o sistema viário. No verão essas inundações são mais freqüentes.

Tratamento dos dados cartográficos e de sensores orbitais

Para o desenvolvimento da pesquisa, os dados contidos nas cartas topográficas, nas cartas temáticas e nas imagens obtidas pelos sistemas LANDSAT e SPOT foram implementados e tratados no programa ILWIS. O Integrated Land and Water Information System (ILWIS), um sistema de informação geográfica desenvolvido pelo International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), da Holanda, possui as funções básicas de um SIG e um módulo específico para o tratamento de dados digitais obtidos por meio das técnicas de Sensoriamento Remoto (VAN WESTEN & FARIFTEH, 1997).

Inicialmente, os dados contidos nas cartas topográficas, nas escalas 1:10 000 e 1:2000, publicadas pelo IGC-SP e pela Prefeitura Municipal de Campinas foram implementados no sistema. Os dados referentes à rede de drenagem e aos limites das quadras foram implementados no sistema utilizando-se uma mesa digitalizadora.

Os dados foram considerados como um plano de informação contendo linhas ou segmentos. Cada um desses segmentos consiste em uma linha formada por um conjunto de pontos, um nó inicial e um nó final compreendem os pontos extremos do segmento. Dessa forma, cada canal da rede de drenagem é representado por um arco contendo um nó inicial e um nó final e, entre eles, os pontos intermediários.

A representação das quadras também é obtida por meio de segmentos, ou arcos, que são conectados de um modo que formem um polígono. Cada quadra pode ser representada por um ou mais arcos, os nós desses arcos são conectados de modo que o nó inicial do primeiro arco junta-se ao nó final do último arco encerrando um polígono. Para a poligonalização é necessário gerar um mapa de pontos, em que cada ponto contém um código de identificação de cada quadra, que pode ser um número, um caracter alfanumérico ou uma associação destes. Após a geração dos dois planos de informação, com o mapa de segmentos contendo os limites das quadras e com o mapa de pontos com os seus identificadores, procede-se à operação de poligonalização. Essa operação tem como resultado um outro mapa, o plano de informação das quadras que são identificadas por um código.

Em associação com o mapa de quadras foi elaborada uma tabela contendo os atributos de cada uma das quadras. A primeira coluna, necessariamente, contém os identificadores de cada quadra. Os demais atributos das quadras, ordenados em colunas, consistem na área ocupada por cada quadra, o bairro a que elas pertencem e a qualidade de suas edificações, etc.

O programa possibilita a associação de atributos da tabela e o mapa das quadras para a geração de um novo mapa, ou tratar os dados da tabela de modo a obter um novo atributo resultante e associar este atributo ao mapa. A operação efetuada neste trabalho resultou no mapa de bairros (Fig. 1) e em uma nova tabela contendo os atributos de cada bairro. Essa nova tabela de bairros contém os identificadores dos 50 bairros presentes na área de estudo. A essa nova tabela foram acrescentados novos atributos como a renda familiar média, em classes de salários mínimos, e uso do solo predominante para cada bairro.

Figura1 Microbacia do Ribeirão das Pedras: Principais bairros

As imagens do TM LANDSAT, órbita 219 ponto 76, bandas 3, 4 e 5, de 20 de agosto de 1997, e a imagem do SPOT, órbita 715, ponto 395, banda pancromática, de 26 de janeiro de 1998, foram submetidas às operações de correção geométrica e fusão. Posteriormente, essas novas bandas foram submetidas à classificação de padrões.

Para a correção geométrica das imagens foram utilizados como base cartográfica o mapa de drenagem e o de quadras. O objetivo dessa fase foi a geração de imagens corrigidas geometricamente, contendo o mesmo número de linhas e colunas e a mesma resolução espacial de 10 metros.

As imagens orbitais, contendo a mesma resolução espacial e a mesma referência cartográfica, foram submetidas a um processo de fusão. A fusão de imagens tem por objetivo combinar dados produzidos por sistemas sensores com características diferentes, de modo a aproveitar as qualidades inerentes a cada produto. Nesse caso, foram associadas as características espectrais do sistema TM LANDSAT com a resolução espacial do SPOT para a geração de três novas bandas espectrais com resolução espacial de 10 metros. A operação de fusão é simples pois utiliza apenas operadores aritméticos para a geração de novas bandas espectrais.

Inicialmente, deve ser gerada uma banda que consiste nos valores médios de intensidade de nível de cinza das bandas multiespectrais (VAN WESTEN & FARIFTEH, 1997). Nesse caso, a nova banda consiste na média dos valores de intensidade de nível de cinza das bandas 3, 4 e 5 do TM LANDSAT. A combinação que resulta na nova banda é dada pela fórmula:

INT = (TM3 + TM4 + TM5) / 3

em que,

INT = nova banda que contém os valores médios de intensidade de nível de cinza;

TM3 = banda 3 do sensor TM LANDSAT, as outras correspondem as bandas 4 e 5.

O segundo passo do processo de fusão consiste na geração de três novas bandas, onde se combinam a imagem contendo os valores médios de nível de cinza, as imagens originais do TM LANDSAT e a imagem do SPOT. As novas bandas são resultantes da aplicação das fórmulas:

FB3 = TM3 / INT * SPOTPAN

FB4 = TM4 / INT * SPOTPAN

FB5 = TM5 / INT * SPOTPAN

em que,

FB3 – imagem fusão correspondente à banda 3 do TM LANDSAT; as FB4 e FB5 correspondem às bandas 4 e 5 do TM LANDSAT, respectivamente;

TM3 – imagem original correspondendo à banda 3 do TM LANDSAT; da mesma maneira, TM4 e TM5 correspondem às bandas 4 e 5, respectivamente;

INT – imagem que contém os valores médios de intensidade de nível de cinza, obtida na operação anterior;

SPOTPAN – imagem original correspondendo à banda pancromática do sistema SPOT.

As novas imagens possibilitaram a geração de uma composição colorida que possui estreita semelhança com uma imagem colorida composta pela associação das bandas originais do TM LANDSAT, só que a nova composição possui uma resolução espacial mais refinada. A análise visual proporciona a identificação de detalhes importantes para os estudos urbanos. Esta composição foi utilizada como referência para a seleção de amostras de treinamento para a operação de classificação de padrões.

A análise visual preliminar da composição colorida e das fotografias aéreas do levantamento de 1994 possibilitou a seleção de cinco classes de cobertura, a saber: água, solo exposto, urbana, vegetação arbustiva e vegetação arbórea.

A classe *água* corresponde aos lagos e reservatórios artificiais, são feições que possuem expressão em área e são passíveis de identificação nas imagens. Esses corpos de água ocorrem tanto na área urbana quanto em locais vizinhos da zona rural.

Solo exposto compreende terrenos desprovidos de vegetação, como áreas preparadas para o plantio, ou submetidas à terraplenagem e às cavas de mineração.

A *classe urbana* corresponde às áreas edificadas destinadas ao uso residencial, composto pela aglomeração de formas isoladas. As grandes construções destinadas às indústrias, aos armazéns de estocagem, às casas comerciais e aos usos institucionais estão compreendidas nesta categoria. O grau de adensamento das edificações isoladas gera padrões específicos na composição colorida quando se considera a cor e a textura como elementos diferenciadores. As grandes construções são identificadas por apresentarem cores claras e formas geométricas regulares.

Os terrenos baldios, as praças, os parques, as áreas alagadiças providas de vegetação herbácea e arbustiva, que ocorrem no ambiente urbano, e as áreas destinadas às pastagem e os terrenos em pousio com vegetação herbácea e arbustos, que ocorrem em meio rural, foram considerados como pertencentes à classe *vegetação herbácea*. Em agosto, mês da tomada das imagens, considerado um período seco, a

vegetação herbácea apresentou uma grande quantidade de biomassa seca. A resposta espectral da biomassa seca é semelhante a outros elementos do ambiente urbano, podendo causar confusão na classificação final.

A *vegetação arbórea* refere-se aos remanescentes florestais, encontrados na forma de manchas nas estreitas faixas ao longo dos canais de drenagem, e aos pequenos bosques formados por essências exóticas, principalmente o eucalipto. Essa classe é facilmente identificável na área rural devido a sua extensão, sua ocorrência em meio às quadras que compõem o espaço urbano é limitada aos pequenos espaços nem sempre perceptíveis nas imagens.

Após o estabelecimento das classes, procedeu-se a fase de treinamento que consiste na extração de amostras de

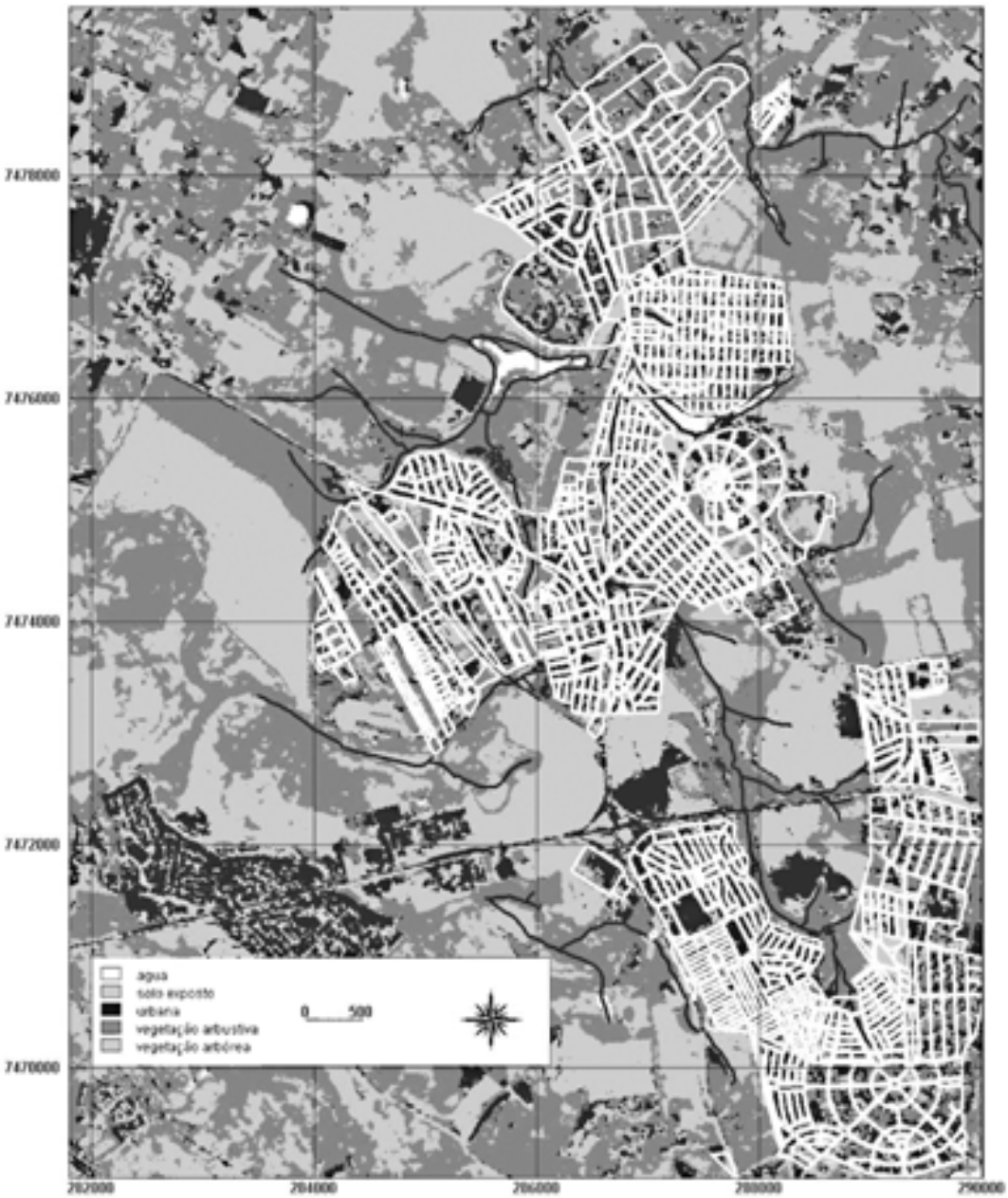

Figura2. Microbacia do Ribeirão das pedras Imagens Classificadas

pixels. Para esta fase foi utilizada a composição colorida como referência para a seleção de amostras. Para cada conjunto de pixels é exibida uma tabela contendo dados estatísticos associados às bandas FB3, FB4 e FB5, permitindo avaliar o grau de diferenciação da amostra em relação ao conjunto de amostras já coletadas. As fotografias aéreas serviram para auxiliar a aquisição de amostras. Visando diminuir a confusão entre as classes, toda a área coberta pela imagem foi utilizada para aquisição de amostras, não havendo restrição apenas ao limite do perímetro urbano.

Efetuada a aquisição das amostras de treinamento e verificada a consistência de cada uma em relação às outras, aplicou-se a rotina de classificação de padrões às imagens. O algoritmo de máxima verossimilhança (*maxlike*), tendo como limiar 100%, possibilitou a geração da imagem classificada (Fig. 2). A verificação da exatidão de classificação foi efetuada mediante a comparação visual dessa imagem classificada com as fotografias aéreas e com alguns locais visitados em trabalho de campo. Houve uma ligeira confusão entre as classes *solo exposto e vegetação arbustiva.* Essa confusão pode ser atribuída à época da tomada das imagens, agosto de 1997. Nesse período do ano a vegetação herbácea apresenta uma grande quantidade de biomassa seca e possui um comportamento espectral semelhante àquele do solo exposto.

A imagem classificada, contendo categorias de uso da terra, e o mapa de bairros, obtido a partir da associação entre a tabela e o mapa de quadras, foram submetidos à operação de tabulação cruzada (*cross tabulation*). Esta operação combina as categorias de um mapa com as categorias de outro mapa e pode ter como resultado uma tabela e/ou um novo mapa. O resultado dessa operação foi a opção pela geração de uma tabela contendo as classes de uso da terra e os bairros em que cada uma ocorre.

Os dados tabulares, resultado da operação anterior, foram transferidos para a tabela contendo atributos sobre os bairros. Dessa forma, foram adicionados a essa última tabela novos atributos que consistem em valores de área por metro quadrado de cada categoria de uso da terra. No processo de transferência de dados para tabela foram adicionadas as colunas correspondentes às classes *solo exposto, urbana, vegetação arbustiva e vegetação arbórea.*

A manipulação dos dados da tabela *bairros* possibilitou a geração de novos atributos. Inicialmente foi gerado o atributo *cobertura vegetal*, que consiste na soma dos valores das classes vegetação arbustiva e vegetação arbórea. A densidade de cobertura vegetal consiste na relação percentual entre a área ocupada pela classe *cobertura vegetal* e a área total de cada bairro. Esses dados foram dispostos em ordem crescente e agrupados em quatro classes, em conformidade com o método estatístico do quartil.

O atributo correspondente aos grupos subdivididos em quartis, ou à nova classificação do atributo densidade de vegetação da tabela *bairros*, foi associado ao mapa de bairros tendo como resultado o mapa de densidade de vegetação (Fig. 3). Esse cartograma apresenta quatro classes de densidade de cobertura vegetal para cada bairro.

Resultados

O procedimento para a detecção da cobertura vegetal considerou apenas o espaço interno ocupado de cada quadra que compõe cada bairro. O arruamento e, consequentemente, sua arborização não foram considerados para efeito de cálculo. Em geral, essas áreas públicas ocupam aproximadamente 30% da área total de um bairro ou de um loteamento (CLAWSON, 1973). A razão de se desconsiderar tais áreas públicas na análise baseia-se em dois motivos: o primeiro reside na capacidade de o sistema sensor apresentar dificuldades para detectar tais áreas; o segundo é que, consideradas tais áreas, haveria uma superestimação da densidade de cobertura vegetal para cada bairro. Apesar de essas áreas apresentarem cobertura vegetal das copas das árvores, o pavimento asfáltico é predominante. A cobertura vegetal presente em cada quadra, tendo ela um caráter público, como parques e praças, ou um caráter privado, como chácaras e mansões, destinadas a população de renda alta, foi considerada na pesquisa.

A análise dos resultados considera a distribuição da vegetação na bacia do Ribeirão das Pedras subdividida em duas sub-áreas: a que corresponde aos limites da porção urbanizada da cidade de Campinas, alto curso do Ribeirão das Pedras, e a que compreende o perímetro urbano do Distrito de Barão de Geraldo, médio e baixo curso do referido curso de água.

De modo geral, a distribuição da densidade de cobertura vegetal relativa a cada bairro, representada pela figura 3, demonstra uma relação com a distribuição da renda familiar por bairro, apresentada na figura 4.

A classe de densidade de cobertura vegetal que apresenta os menores índices, compreendidos entre 0 e 14% da área total de cada bairro, distribui-se na porção leste da bacia. No alto curso essa categoria é delimitada pelos bairros

Santa Genebra I e Vila Costa e Silva, cujas áreas residenciais são caracterizadas como populares, sendo que a Vila Costa e Silva constitui um conjunto habitacional implantado no início da década de 70 (PMC, 1991). As residências são modestas e ocupam lotes com 250 metros quadrados, em média, e, devido às ampliações ocorridas nessas residências, as áreas livres ficaram reduzidas a pequenos espaços em relação ao lote. Uma grande parte das quadras do bairro Santa Genebra I abriga indústrias metalúrgicas, alimentícias e armazéns de empresas transportadoras compreendendo grandes edificações e ocupando a maior parte dos lotes.

No distrito a classe *cobertura vegetal* tem sua área de ocorrência nas imediações do centro comercial, nos bairros de Santa Izabel e Jardim América, e nas proximidades do distrito industrial, que compreende os loteamentos destinados a população de baixa renda do Real Parque, do Parque Ceasa e do Residencial Terra Nova. O centro é o local mais antigo do distrito, ocupado por residências antigas de padrão médio que sofreram reformas ou ampliações. Grandes edifícios são destinados às atividades comerciais e de serviços, como

Figura 3 Microbacia do Ribeirão das Pedras Densidade de Vegetação.

supermercados, vendas de hortifrutigranjeiros, bancos, oficinas, pequenas indústrias, pequenos centros comerciais e residências multifamiliares. O bairro Santa Izabel abriga um conjunto residencial implantado na década de 70, com casas de padrão popular já modificadas por reformas e ampliações.

Algumas casas comerciais, supermercados e edifícios destinados à prestação de serviços têm predominância em uma faixa que compreende a antiga rodovia Campinas-Paulínia. Nas proximidades do distrito industrial, Real Parque, Parque CEASA e Residencial Terra Nova, situam-se os loteamentos recentes destinados à população de baixa renda, sendo que um desses loteamentos encontra-se em processo de legalização. As habitações dessa área são edificadas mediante o processo de auto-construção e existe um agrupamento de edificações que caracteriza uma favela e ocupa a maior porção dos lotes, não existindo espaço disponível para a implantação de vegetação. Como as demais áreas dessa classe de densidade de vegetação dentro do distrito, essa área também abriga um sub-centro comercial.

A classe correspondente aos índices que variam entre

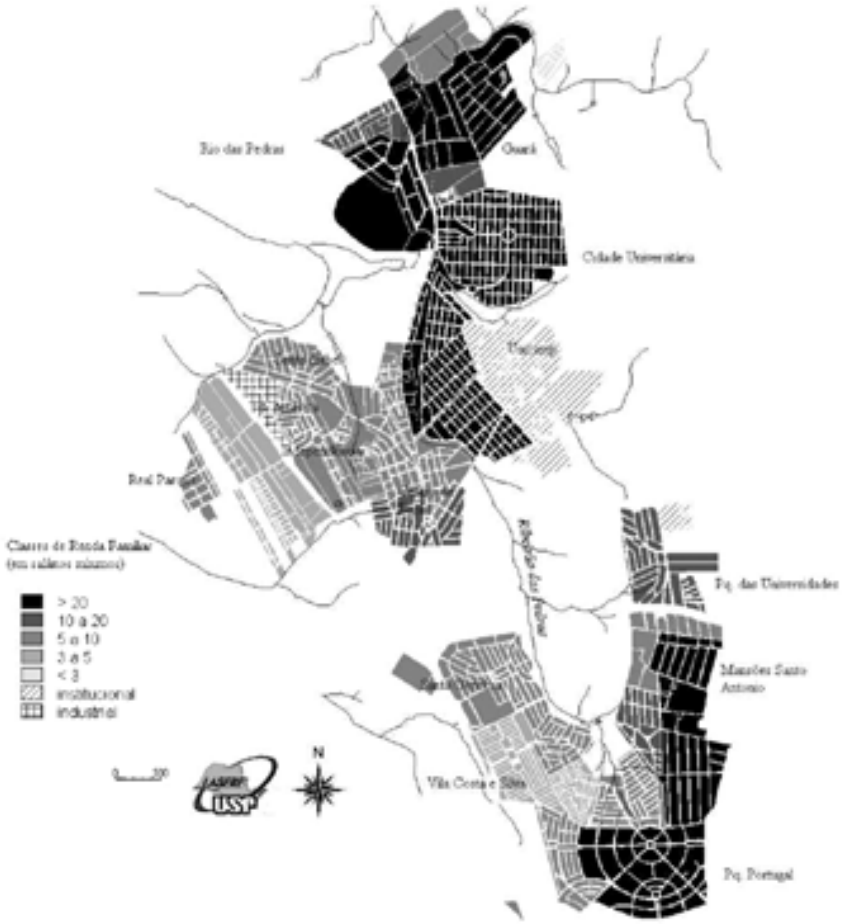

Figura 4 Microbacia do Ribeirão das Pedras Renda Familiar

14 e 25% de densidade de cobertura vegetal representa as áreas efetivamente ocupadas e as áreas de alguns loteamentos em expansão. Nas cabeceiras do Ribeirão das Pedras ocorrem loteamentos, ainda não ocupados, destinados à classe média, com lotes possuindo 400 metros quadrados em média. O Parque Alto Taquaral, o Parque das Flores, o Parque das Universidades e o Parque dos Jacarandás são alguns bairros que estão compreendidos nesta categoria de densidade de cobertura vegetal. Esses loteamentos encontram-se na área de expansão urbana da cidade de Campinas e localizam-se na área de nascentes do canal principal, área em que estão situados os tributários do Ribeirão das Pedras. Algumas das praças projetadas nesses loteamentos destinam-se à preservação dessas nascentes, outras áreas de nascentes estão localizadas em terrenos em processo de ocupação e tendem ao desaparecimento. Contudo, acredita-se que a área destinada à preservação dessas nascentes deveria ser maior, pois a cidade passa por períodos de racionamento de água justamente devido ao desaparecimento das nascentes que abastecem os canais de captação de água.

Em Barão de Geraldo essa categoria de cobertura vegetal distribui-se entre os bairros Vila José Martins, Vila Ninoca I e II, Santa Genebra III e Cidade Universitária IV. São bairros com características urbanas bem definidas, destinados a uma população com renda alta, com lotes de dimensões que variam de 400 a 700metros quadrados. As edificações ocupam 50 a 70% dos lotes, possuindo amplos espaços livres. As casas comerciais estão restritas às grandes avenidas que cortam esses bairros, pois no interior desses é proibida a construção de edifícios para este fim (PMC, 1981).

Na porção leste de Barão de Geraldo, nas proximidades do distrito industrial, dois bairros se destacam, o Bosque de Barão e o Residencial Uirapuru, ambos de recente implantação. O primeiro, por possuir limites com a Mata Santa Genebra, uma área de preservação ambiental (PMC, 1981), é alvo da classe média que ocupa seus terrenos a partir de residências individuais e condomínios. O segundo, uma área em ocupação destinada a população de renda menor, assemelha-se aos demais bairros do distrito industrial.

A classe que possui entre 15 a 35% de cobertura vegetal ocorre tanto no alto curso, zona de expansão da Cidade de Campinas, quanto no Distrito de Barão de Geraldo.

O Parque Portugal, as Mansões Santo Antônio e a Fazenda Santa Cândida, localizados no alto curso, são exemplos dessa categoria. A renda familiar de seus habitantes supera os 20 salários mínimos. Os lotes urbanos são grandes, muitas vezes superiores aos 1000 metros quadrados, possuindo características de chácaras com amplos espaços livres. Nas proximidades da rodovia Dom Pedro I, algumas indústrias com grandes áreas livres aumentam o índice de cobertura vegetal.

Em Barão de Geraldo, em sua porção leste, destacam-se os bairros da Cidade Universitária II e III, a área da UNICAMP e o condomínio Rio das Pedras. Esse condomínio fechado é considerado de alto padrão, possuindo grandes espaços com cobertura vegetal como margens de lagos e praças internas. Os demais bairros não diferem das características de seus vizinhos da classe 14 a 15% de cobertura vegetal. O fato diferenciador é a quantidade de praças e áreas marginais aos cursos de água que a parte leste de Barão Geraldo possui e que aumentam muito o índice de cobertura vegetal.

A última categoria de cobertura vegetal, apresentando índices maiores que 35%, possui características tipicamente rurais mescladas com características urbanas e tem sua ocorrência apenas no distrito de Barão de Geraldo. São chácaras e pequenos sítios que ultrapassam os 5 000 metros quadrados, como é o caso da porção norte da área de estudo. Nesses terrenos são destacados os pomares e os grandes espaços com cobertura de gramíneas. As áreas próximas ao centro do distrito são compostas de antigas chácaras limitadas pelos lotes urbanos e/ou por áreas de preservação marginais aos cursos de água.

No distrito industrial os altos índices correspondem aos terrenos que ainda não estão totalmente ocupados por edificações industriais e conservam muitos espaços com cobertura vegetal. Esses espaços guardam pequenas casas e pomares abandonados, resquícios de antigas chácaras e de antigos sítios que deram lugar aos grandes loteamentos industriais.

Outra área de destaque nesta categoria é o Condomínio Barão do Café que consiste em uma área em processo de ocupação, apresentando muitos terrenos com cobertura vegetal e poucas unidades residenciais.

Considerações finais

De modo geral, pode-se considerar que a bacia do Ribeirão das Pedras, onde há concentração da população de classe média e média alta, apresenta índices elevados de cobertura vegetal. Os maiores índices estão relacionados aos bairros que apresentam características rurais mescladas com características urbanas, compreendem chácaras de alto

padrão e pequenos sítios. Os menores índices de cobertura vegetal estão relacionados às áreas urbanas destinadas à classe populacional de menor renda. Os terrenos dessas áreas são quase totalmente ocupados pelas edificações, construídas por meio de conjuntos habitacionais e pela própria população aí residente. Nesses bairros ainda são encontrados eixos onde adensam casas comerciais e de serviços, formando pequenos centros comerciais destinados ao abastecimento da população local. Pode-se dizer que a quantidade de cobertura vegetal está relacionada às características sócio-econômicas da população, sendo um indicador da qualidade ambiental e, indiretamente, um indicador da qualidade de vida.

Os produtos obtidos pela técnica de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica consistem em tecnologias que auxiliam tais estudos. De maneira rápida e com certo grau de precisão, dados cartográficos e dados orbitais podem ser tratados em um ambiente SIG. A tendência de aperfeiçoamento dos dados, quanto à resolução espacial, atesta sua aplicabilidade aos estudos urbanos.

LUCHIARI, A. (2001) Identification of the vegetal cover in urban areas by means of remote sensing products and a GIS (Geographic Information System). *Revista do Departamento de Geografia*, n. 14, p. 47-58.

Abstract: The aim of this study is to identify the vegetation cover in urban areas. The study area was Ribeirão das Pedras watershed in Campinas, São Paulo State, Brazil. Cartographic data and remotely sensed images were treated in ILWIS, Geographic Information System. LANDSAT data (3, 4 and 5 spectral bands) and SPOT data (Panchromatic band) were submitted to digital analysis, image fusion, and supervised classification, and were combined with maps of the urban area. The results were maps of the vegetation density that show a close relationship between the vegetation cover and family income of local population.

Key words: GIS; Vegetation cover; Remote sensing; Urban area

Recebido em 25 de setembro de 2000, aceito em 4 de maio de 2001.

Referências bibliográficas

BURROUGH, P. A (1986) *Principles of geographical information systems for land resources assessment.* Oxford, Clarendon Press.

CAMPBELL, J. B. (1987) *Introduction to remote sensing*. New York, Guilford Press. 550p.

CAMPOS FILHO, C. M. (1992) *Cidades brasileiras:* seu controle ou o caos. São Paulo, Nobel. 144p.

CARLOS, A F. A (1994) *A cidade*. São Paulo, Contexto. 106 p. (Repensando a Geografia).

CLAWSON, M. (1973) El espacio abierto (no cubierto) como nuevo recurso urbano. In: PERLOFF, H. S. *La calidad del medio ambiente urbano.* Barcelona, Oikos-Tau. p. 149 – 185.

CORRÊA, R. L. (1995) *O espaço urbano.* 3. ed. São Paulo, Ática. 94 p. (Princípios).

FORESTI, C.; PEREIRA, M. D. B. (1987) *Utilização de índices vegetativos obtidos com dados do sistema TM LANDSAT no estudo da qualidade ambiental urbana:* cidade de São Paulo. São José dos Campos, INPE. 24 p. (INPE – 4177. PRE /1071).

HARRISON, B. A.; JUPP, D. L. B. (1989) *Introduction to remotely sensed data.* Canberra, CSIRO. 141 p.

NOVO, E. M. L de M. (1998) *Sensoriamento Remoto:* princípios e aplicações. São José dos Campos, INPE/MCT. 363 p.

NUCCI, J. C.; CAVALHEIRO, F. (1999) Cobertura vegetal em áreas urbanas: conceito e método. *GEOUSP*, n.6, p. 29 – 36.

PEREIRA, F. L. G.; BATISTA, G. T.; ROBERTS, D. (1994) Reflectância das coberturas vegetais da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 1994. *Anais*. São José dos Campos, INPE/SELPER.

PMC. Prefeitura Municipal de Campinas. (1991) *Campinas:* subsídios para a discussão do plano diretor. Campinas, PMC. 292 p.

PMC. Prefeitura Municipal de Campinas. (1996) *Plano local de gestão urbana de Barão Geraldo.* Campinas, PMC/SEPLAMA. 146 p.

VAN WESTEN, C. ; FARIFTEH, J. (1997) ILWIS: *user's guide.* Enschede, ITC. 510 p.