

CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO URBANO EM IMAGENS SPOT

*DIANA SARITA HAMBURGER**

*CELINA FORESTI***

Resumo

A utilização de imagens orbitais para o estudo de áreas intra-urbanas tem restrições decorrentes: das características das imagens e dos sensores, como por exemplo a resolução; e dificuldades da caracterização e definição dos diferentes ambientes intra-urbanos. Este trabalho pretende apresentar um exercício de caracterização do ambiente urbano em imagem SPOT, propondo uma metodologia de trabalho que parte da compatibilização entre as características do sensor e aquelas do objeto de estudo.

Palavras-Chave: Imagens spot, uso do solo urbano

Abstract

Classification of urban land use in SPOT images

The use of orbital images in the study of urban areas is constrained for two reasons: the available images characteristics and the limits in the understanding and describing the complexity of urban areas. This study intend to characterize the urban environment as it appears in SPOT images, evaluating the relations between the different areas in the city and their appearance in the images.

Key Words: Spot images, urban land use

* Professora do Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica IG UNESP Rio Claro

** Professora-Doutora do Departamento de Ecologia IB UNESP Rio Claro Projeto realizado com apoio do CNPq através do processo 402762/90-8

1. INTRODUÇÃO

A área urbana se caracteriza pela concentração de pessoas, bens e capital. A ocupação do solo é bastante diversificada, resultando daí a grande amplitude espectral e as altas frequências espaciais características de imagens orbitais destes ambientes. O resultado é uma grande variabilidade entre os pixels de uma mesma classe. Daí também a frequente utilização de áreas urbanas para testar técnicas de classificação, onde dificuldades decorrentes de problemas de resolução são maiores e resulta numa das situações mais complexas. A dificuldade de definição destas áreas que se caracterizam como áreas onde se desenvolvem determinadas atividades, e não enquanto áreas compostas por um mesmo material, está relacionada à resolução dos sensores orbitais e à complexidade do ambiente urbano (Jensen, 1983).

Trabalhos desenvolvidos com o objetivo de utilizar técnicas de processamento digital de imagens para extração de informações texturais de produtos de sensoriamento remoto têm obtido resultados significativos, mas destacam a necessidade de elaboração de um modelo de cena para possibilitar uma análise mais efetiva das informações obtidas (JENSEN, 1990; ANDRADE, 1989). Um modelo de cena que possibilite explicar o que aparece na imagem com base nos elementos componentes da superfície, e que estabeleça relações que permitam inferir o que há na superfície. Este pode ser um instrumento poderoso de monitorar a constituição (concreta e material) de uma área, que pode ser usado como indicador de suas características e dinâmica.

Um dos problemas é a falta de trabalhos que estudem o comportamento espectral de alvos urbanos. Esta ausência relacionada à pequena ocorrência de pixels homogêneos no ambiente urbano, resulta na necessidade de outro tipo de informações para análises urbanas.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a constituição física, dos diferentes usos do solo urbano visando discutir sua discriminação em imagens orbitais ou seja estudar as feições urbanas que resultam em características espectrais e texturais nas imagens

A utilização da informação textural pode ser usada isoladamente mas tem se mostrado especialmente significativa quando usada de forma integrada com as informações espectrais. Muitos estudos tratando destas relações têm sido feitos com fotos aéreas, mas o cuidado metológico não tem sido mantido para trabalhos com imagens orbitais.

O trabalho pretende descrever, um ou vários aspectos identificados na realidade e verificar sua manifestação em imagens orbitais. A determinação das características específicas de cada classe de uso do solo urbano e as resultantes em

características da área correspondente a esta ocupação em imagens orbitais é uma das preocupações deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessário definir o que está sendo chamado de urbano. Para este trabalho, onde se procuram as características físicas que ocupam uma determinada área urbana e como elas se manifestam em imagens orbitais, será considerado que a área urbanizada corresponde à área construída (RUGG, 1975 e ANDERSON et al., 1976). A unidade mínima a ser considerada como área urbanizada será uma dimensão que possibilite sua identificação em imagens orbitais, considerada a resolução do sensor.

2.1. *Classes do uso do solo urbano*

A existência de classes de uso do solo tem como requisito uma relação entre o comportamento sócio-econômico e cultural e a ocupação espacial de uma determinada área.

Estudos destacam a tendência crescente das cidades de se fracionarem em áreas homogêneas com características sócio-econômicas similares, áreas que diferem umas das outras em composição por fatores como classe social, salário, ocupação e grupo étnico (MUMBOWER et al., 1967; MANSO et al., 1978; JIM, 1989a). Ressaltam a existência de uma relação entre a distribuição espacial da cidade e sua ocupação. Indicam, conforme afirma JENSEN (1983) que estas relações precisam ser melhor estudadas, e que o quanto estas relações variam de cidade para cidade, ou podem ser generalizadas, ainda não foi claramente estabelecido. Cabe ainda acrescentar o problema levantado por FORSTER (1985), que é a dificuldade de tratar as classes urbanas como discretas, visto que o limite entre um tipo de ocupação e outro frequentemente é progressivo.

Muitas das dificuldades em processos de classificação de categorias urbanas estão relacionadas com problemas na definição das categorias envolvidas, assim como com a resolução do sensor, aspectos que serão tratados a seguir e destacam a importância da escala na classificação de áreas urbanas por sensoriamento remoto.

Uma última observação quanto à subdivisão de áreas urbanas em classes de uso do solo é que, como afirma Jim (1989b), exigências sócio-econômicas e valores comunitários no passado influenciaram a sua situação atual. A morfologia do tecido urbano está intrinsecamente ligada a especificidades regionais.

2.2. *Utilização do sensoriamento remoto na definição de classes de uso do solo urbano*

Considerando-se que existem zonas homogêneas no ambiente urbano, com características próprias e que este se divide em classes de uso do solo, cabe discutir quais são estas características e como elas podem ser identificadas em produtos de sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto infere as propriedades e a organização da distribuição de matéria e energia da cena a partir do conjunto de medidas que constituem a imagem. A inferência está relacionada com um modelo de sensoriamento remoto, um modelo de cena, e modelos de atmosfera e de sensor. Cabe acrescentar que estes modelos, em geral, consideram limites bem definidos, estabelecendo um modelo de cena discreto, que não necessariamente corresponde à realidade e se define também pelo ângulo do qual o sensor capta a cena. Ou seja, a informação que é obtida se refere à superfície superior da área urbana, o que significa feições como: o telhado das construções; o calçamento das ruas, quando não recobertas por vegetação arbórea; os jardins, etc.

A utilização de fotos aéreas possibilita a identificação de tipos de ocupação ao nível do detalhe, quais as características de um determinado uso e qual o tipo de ocupação a ele associado.

Já a obtenção de informações urbanas por sensoriamento remoto orbital apresenta uma série de dificuldades: a resolução espectral dos sistemas orbitais que limitam as informações contextuais que podem ser obtidas; a heterogeneidade do ambiente urbano, que apresenta poucos elementos puros em áreas extensas o suficiente para que possam ser identificadas com a resolução de sensores orbitais; a função de espalhamento do ponto; a dificuldade de tratar as classes de uso do solo urbano como discretas; a interferência atmosférica e a diversidade desta interferência no ambiente urbano, além de sua variação ao longo do tempo; e por último, problemas de exatidão geométrica (FORSTER, 1985).

O autor propõe algumas soluções para estas questões: a utilização de melhores pontos de controle em áreas urbanas para reduzir os problemas de exatidão geométrica; uma boa interpretação; a avaliação de texturas; a melhoria na resolução dos novos sistemas sensores; e pesquisas nas relações entre alvos urbanos e dados de sensoriamento remoto.

Além destes problemas, deve-se considerar a grande presença de sombras no ambiente urbano, cuja identificação pode servir como informação sobre a densidade e altura das construções, que atua como um complicador no estudo das imagens orbitais deste ambiente. Isto porque, além da complexidade de sua distribuição devido à heterogeneidade do ambiente urbano, as sombras e sua influência variam com a época do ano, com a presença e a magnitude da vegetação arbórea, etc.

A resolução do sensor é um fator importante na avaliação do potencial do sensoriamento remoto na discriminação de classes de uso do solo urbano. A influência da resolução do sensor na exatidão de classificação vai depender da distribuição das classes no espaço de atributos e da proporção de pixels mistos no limite entre duas classes diferenciadas (MARKHAM et al., 1981; e ANDRADE, 1989). As classes urbanas tendem a ter uma grande sobreposição no espaço de atributos por resultarem em diferentes composições dos mesmos elementos distribuídos quantitativamente e espacialmente de forma diferenciada.

Duas associações são necessárias para que se possam estabelecer as relações entre uma determinada classe de uso do solo urbano e seu aspecto em imagens orbitais. A primeira é a relação entre uma determinada classe de uso do solo, com base em suas características sociais, econômicas e culturais e sua correspondente organização institucional. A segunda passagem é aquela que associa à organização institucional, sua manifestação material observável em fotos aéreas e em imagens orbitais.

2.2.1. Relação entre classes de uso do solo urbano e urbanização espacial

A estrutura urbana apresenta uma forma que é resultante da disposição, no espaço, das várias partes da aglomeração urbana e o conjunto das relações espaciais que estas mantêm entre si e com o todo, como percebido pelo seu contorno, cor e textura (SERRA, 1987).

A textura é um descritor importante das regiões de uma imagem, pelo fato das regiões pictóricas corresponderem a superfícies físicas, ela pode conseqüentemente, ser relacionada a propriedades desta superfície. Resultados indicam que o emprego da fotointerpretação, na delimitação dos setores residenciais de mesma textura fotográfica de uma cidade resultam na identificação de segmentos populacionais também homogêneos internamente quando comparados às populações dos setores vizinhos, em alguns de seus aspectos sócio-econômicos (KURKDJIAN, 1986).

Alguns trabalhos demonstram ser possível, na configuração espacial das cidades, a identificação de zonas, ou seja, de áreas diferenciadas pela predominância, no seu interior, de adaptações do espaço destinadas a determinado tipo de uso. (CAREY, 1966; ANDERSON et al., 1976; MANSO et al., 1978; MOMSEN, 1984; SERRA, 1987).

Alguns autores se preocuparam em demonstrar a relação entre um determinado tipo de uso e uma variável ambiental. A constituição e distribuição da vegetação e sua relação com determinado tipo de ocupação ou qualidade ambiental (JIM, 1989a e 1989b). As relações entre o índice de vegetação e diferentes ocupações do solo urbano foram estabelecidos por FORESTI et al. (1987). Neste estudo colocam a importância da distribuição da vegetação em relação ao significado da quantidade desta para estudos da qualidade de vida em ambientes urbanos.

A importância da presença da vegetação para a qualidade de vida urbana e métodos de obtenção de informações sobre a distribuição da vegetação em áreas urbanas com imagens orbitais, assim como relações entre “índices de vegetação” e classes de uso do solo urbano são demonstrados em CARRARA (1991).

JIM (1989a e 1989b) no estudo da vegetação urbana demonstra que o uso de uma área determina as características arbóreas desta. Considera que o uso de uma área é uma interface entre a decisão humana e os fatores naturais. Demonstra que a disponibilidade de espaço para árvores e a qualidade deste está relacionada com um determinado tipo de uso. Considera que a vegetação urbana reflete o fundo sócio-cultural e a tradição paisagística dos habitantes. Estabelece assim a relação entre um aspecto físico-espacial (vegetação) e os diferentes tipos de ocupação.

A importância específica destes trabalhos para estudos de áreas urbanas por sensoriamento remoto é que eles possibilitam a utilização de informações a respeito da vegetação - para inferir a distribuição das classes de uso do solo urbano.

2.2.2. *Características espaciais observáveis por sensoriamento remoto*

No caso de áreas urbanas, as variáveis a seguir podem ser consideradas: área construída por imóvel, densidade fundiária, características de ocupação, tecnologia construtiva da edificação, fase da ocupação, características do relevo, traçado e tratamento do sistema viário, barreiras físicas naturais, e barreiras físicas artificiais (MANSO et al., 1978 e BARROS et al., 1985); . Estas características precisam ser avaliadas na área de estudo para verificar quais podem ser usadas na elaboração de um modelo de cena correspondente à resolução do sensor, ao seu ângulo de observação, e que possam ser tomadas como indicadores do tipo de uso.

É preciso que um estudo de classes de uso do solo urbano por sensoriamento remoto considere as unidades (materiais com características espectrais próprias) componentes de cada classe de uso (no caso, as sombras se manifestam também como uma unidade) a área ocupada por cada uma destas unidades, sua distribuição espacial e finalmente, que estas informações sejam ponderadas de acordo com a resolução espacial do sensor em questão.

A utilização de fotos aéreas e a utilização de imagens orbitais na definição de classes de uso do solo urbano apresentam grandes diferenças. As fotografias aéreas em sua análise, geralmente incorporam um nível mais detalhado de informações do que aquele que pode ser obtido em imagens orbitais. Isto se deve a uma maior resolução e também ao fato de que a análise digital, que muitas vezes é empregada na classificação de imagens orbitais, dificilmente considera informações de origem textural ou contextual, como, naturalmente, ocorre no processo de fointerpretação.

Por esta razão, na bibliografia disponível, os trabalhos utilizando fotografias aéreas apresentam maior precisão metodológica na expressão das relações entre as diferentes categorias de uso do solo urbano e suas expressões espaciais do que os trabalhos utilizando imagens orbitais (por exemplo: MUMBOWER et al., 1967; KURKDJIAN, 1986; JIM, 1989a e 1989b). Os trabalhos utilizando imagens orbitais frequentemente obtêm classificações que consideram satisfatórias mas não apresentam, de forma muito detalhada, as características, na superfície terrestre, que possibilitaram esta classificação (IOKA et al., 1986).

Devido à maior precisão metodológica presente em estudos utilizando fotos aéreas na definição de classes de uso do solo urbano, alguns critérios desenvolvidos para estas análises serão usados como referência para comparação.

2.2.3. Produtos orbitais na definição de classes de uso de solo urbano

A resolução espacial aparece a todo momento como limitação das informações obtidas a partir de imagens. A existência de satélites de melhor resolução incentiva o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a avaliação do potencial destes sensores.

Os resultados obtidos com o sensor SPOT indicam uma melhora em relação ao sensor TM, mas esta melhora não se manifesta para todas as áreas devido à melhor resolução espectral do sensor TM. Este fato e a insuficiência de resultados obtidos com o sensor SPOT para isoladamente possibilitarem a definição de classes de uso do solo urbano, resulta em que os trabalhos proponham utilização de dados auxiliares, como textura, informações multitemporais e integração multisensores (NAGARATHINAM et al., 1988; LOHMANN et al., 1988). A utilização de integração de diferentes sensores e de texturas resulta também da observação de que estas informações frequentemente são complementares e não redundantes.

É importante acrescentar que os resultados obtidos com os diferentes sensores, nem sempre avaliam a mesma região ou utilizam o mesmo tratamento, o que dificulta uma conclusão qualitativa. Cabe destacar que em ambientes urbanos analisados com sensores orbitais, o objeto de estudo não é representado por um pixel, mas por vários, sem necessariamente os mesmos valores de reflectância (COULOMBE et al., 1991).

No sentido de melhorar as informações sobre o uso do solo urbano passam a ser utilizados produtos integrados de diferentes sensores e de diferentes tratamentos que possibilitam resultados mais apropriados para uma classificação digital ou para a interpretação visual, obtendo resultados significativos que incentivam um aprofundamento destes estudos.

A utilização conjunta de fotos aéreas coloridas infravermelhas e de imagens SPOT para o monitoramento do espaço intra-urbano é proposta por LOHMANN et al. (1988). As fotos aéreas obteriam a informação básica e as imagens orbitais possibilitariam a avaliação sistemática da dinâmica na área. Para melhorar a classificação das imagens orbitais, faz uma classificação em etapas, utilizando máscaras para separar a parte da imagem que pretende classificar.

Um trabalho com informações HRV, TM e com informações texturais extraídas dos dados destes dois sensores, para avaliar qual a melhor forma de estimar a densidade de construções residenciais em área urbana foi desenvolvido por FORSTER et al. (1988). Na cidade de Sydney, Austrália, verificaram quais as bandas ou combinações de bandas que oferecem informações mais relacionadas com a densidade residencial. O resultado indica que a banda X2 do SPOT, isoladamente, é a mais significativa, mas que acrescida da banda de textura referente ao desvio padrão da banda 5 do TM oferece resultados ainda melhores.

Outros trabalhos tratam de formas de obter produtos de melhor visualização através da integração de diferentes fontes de informação (FORESTI et al., 1989; KURKDJIAN et al., 1989). FORESTI et al. (1989) integram informação topográfica, na forma de Modelo Numérico de Terreno, e informação de imagem multiespectral para obter uma melhor visualização da distribuição da ocupação urbana e de seu significado. KURKDJIAN et al. (1989) aplicam transformação IHS para integrar dados SPOT-XS e dados aéreos pancromáticos, de resolução espacial de 3,5 metros, com o objetivo de realçar os dados originais e possibilitar uma análise mais detalhada das classes de uso do solo urbano. BRUM (1991) e CANDEIAS (1992) utilizam processamento digital para integração de dados SPOT-PAN, com informações espectrais de dados SPOT-XS, para obter produtos multiespectrais com resolução espacial de 10 metros.

2.3. Processamento digital de imagens

A análise de imagens orbitais pode ser feita de duas maneiras: através da interpretação visual de dados ou através do processamento digital de imagens.

A interpretação visual de dados tem mostrado melhores resultados na determinação da organização espacial urbana, pois pode utilizar informações não espectrais tais como posição, forma e contexto que, geralmente, não são utilizadas em processamento digital (JACKSON et al., 1980). Por outro lado as informações de origem espectral podem ser processadas de forma mais ágil e integradas com mais facilidade, além de possuírem uma precisão de classificação superior àquela obtida na interpretação visual.

Com relação à análise espectral, o processamento digital possui um instrumento de grande potencial que é a transformação da componente principal, que

possibilita maximizar as informações espectrais com as quais se está trabalhando, reduzindo a redundância. Alguns trabalhos utilizam este recurso na classificação de áreas urbanas e obtêm resultados considerados melhores do que aqueles que seriam obtidos sem este instrumento (JACKSON et al., 1980). Mas ainda assim, os resultados obtidos apenas com informações espectrais não satisfazem a maior parte das necessidades de classificação de uso do solo urbano. Isto se deve também ao fato de que as características espectrais das classes de uso do solo urbano e mesmo as características espectrais dos vários elementos que compõem este ambiente, não são conhecidas em profundidade.

Desta forma, existe um esforço de desenvolver trabalhos que incorporem informações não espectrais na definição das classes de uso do solo através de processamento digital, sejam informações topográficas, espaciais, ou contextuais (HSU, 1978; JENSEN et al., 1981; BARROS et al., 1985; FORSTER et al., 1988; ANDRADE, 1989; JENSEN, 1989).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde ao bairro de Alphaville, no Município de Barueri, região Oeste da Grande São Paulo. Esta área foi selecionada devido ao interesse em utilizar áreas com grande diversidade de classes de uso do solo e à presença de estudos anteriores na região (FORESTI, 1986 e FORESTI, 1989).

Sendo um setor de expansão da área Metropolitana de São Paulo há uma grande dinâmica no uso do solo, que pode ser notada pela presença de terrenos com solo exposto e de lotes e construções à venda na região (observáveis no campo, nas fotos e nas imagens utilizadas).

Trata-se de uma área planejada, que inclui ocupação residencial, industrial e comercial bem definidas, possibilitando uma boa análise do potencial de técnicas para a definição de classes de uso do solo urbano. Para possibilitar uma avaliação mais precisa, foram incorporadas também as classes de uso presentes no entorno da área considerada, tais como loteamentos não implantados e áreas residenciais mais adensadas, assim como áreas de vegetação natural. A área corresponde a aproximadamente 100 ha, próximos à confluência da Rodovia Castelo Branco com o Rio Tietê (Figura 1).

Imagens de diferentes datas indicam variações no entorno da área estudada, assim como um adensamento, sem alterações de uso, nas áreas internas ao condomínio, conforme foi constatado no trabalho de campo.

3.2. *Material utilizado*

3.2.1. *Imagens orbitais*

Como este estudo procura processar dados que resultam da diversidade interna da área urbana, quanto melhor a resolução espacial maior a quantidade de informações disponíveis. Portanto o sensor selecionado para ser utilizado no trabalho foi o sensor HRV - SPOT nos módulos pancromático e multiespectral. A imagem multiespectral é do ano de 1986, banda X2: 0.6-0.7 mm, (vermelho) e a imagem pancromática utilizada é de 1990 e possui o nível de correção 2A com correção geométrica por grade e a projeção cartográfica UTM. A diferença de datas acarreta em mudanças no limite da área, indicando a possibilidade de se obter a atualização de características urbanas utilizando imagens orbitais.

Sobre o sensor SPOT, foi utilizado como referência o texto de BEGNI (1982) que apresenta as bandas do sensor e sua adaptação às propriedades espectrais dos objetos quando observados na superfície, assim como o trabalho que trata do comportamento espectral de uso do solo urbano (HAMBURGER et al., 1990). O trabalho de BEGNI (1982) apresenta as curvas espectrais representando a sensibilidade das bandas SPOT (Figura 2). As curvas espectrais referentes às bandas SPOT (banda X1, verde; banda X2, vermelho; banda X3, infra-vermelho) podem indicar alguns resultados se relacionadas com as assinaturas espectrais das classes de uso do solo urbano. Com relação aos elementos mais presentes em alvos urbanos na área estudada (asfalto, concreto e grama), pode-se notar que:

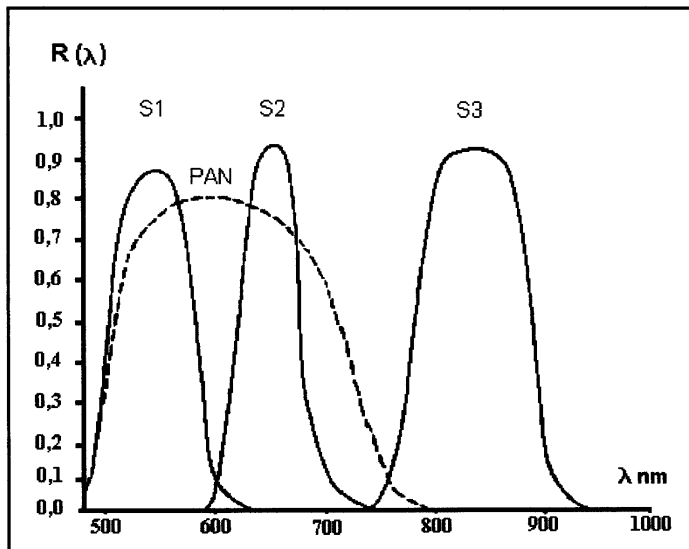
A banda X1 apresenta uma alta reflectância da grama (da ordem de 20%) e do concreto (da ordem de 30%) em relação à reflectância do asfalto (da ordem de 6%). A banda X2 apresenta uma queda na reflectância da grama (da ordem de 15%) um ligeiro acréscimo na reflectância do asfalto (da ordem de 7%) um aumento na reflectância do concreto (da ordem de 35%). A banda X3 apresenta grande reflectância da grama (da ordem de 50%), uma reflectância significativa do concreto (da ordem de 30%) e um pequeno aumento da reflectância do asfalto (da ordem de 8%). O asfalto apresenta uma baixa reflectância (menor que 10%) em todas as bandas. O concreto possui uma reflectância que varia dentro do intervalo de 25 a 30% nas três bandas, com um aumento significativo (aproximadamente 5%) da banda X1 para a banda X2 e com uma pequena diminuição da banda X2 para a banda X3. A

vegetação tem uma reflectância na banda X1 da ordem de 20%, cai para aproximadamente 10% na banda X2 e se torna da ordem de 50% na banda X3.

A resolução espacial da banda pancromática a torna muito superior quanto à quantidade de feições que pode ser definida, identificada e determinada. Podem ser discernidos com bastante nitidez os locais onde se concentra a vegetação. As áreas onde há grande concentração de solo exposto ficam bastante claras.

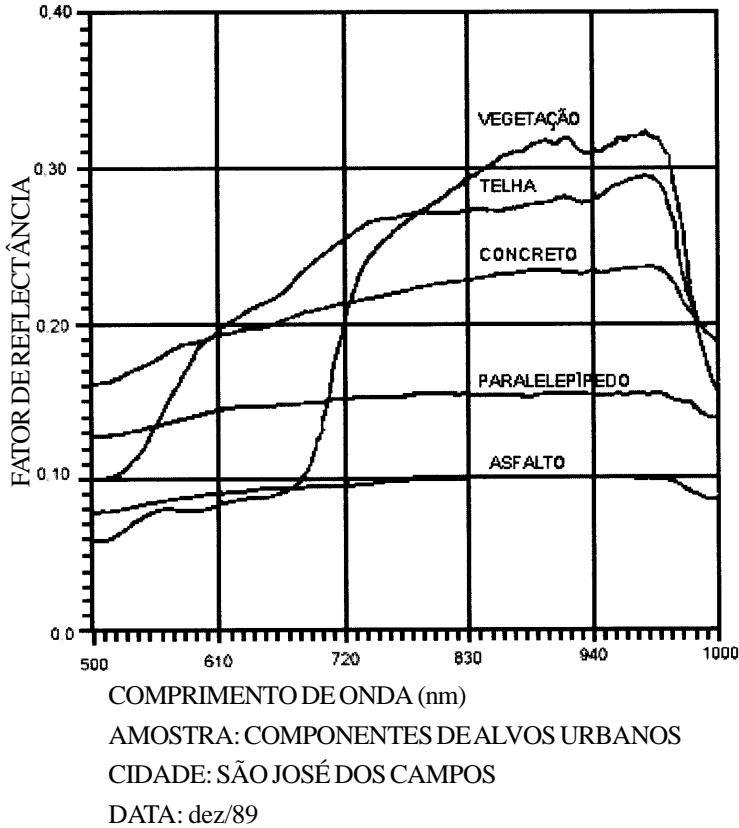
Com a observação nas imagens em relação à caracterização textural das classes de uso do solo foi possível perceber que - a imagem pancromática é, aparentemente, superior para evidenciar feições texturais. Com relação às bandas multiespectrais constatou-se que a mais apropriada é a banda X2. A banda X1, apresenta feições surpreendentemente semelhantes às da banda X2, mas com muito menor definição e contraste; pois apesar da diferença entre elas, no que se refere à vegetação, em relação aos outros elementos presentes no ambiente urbano elas se assemelham. Com relação à banda X3, ela não apresenta com destaque as feições texturais que definem as classes de uso do solo urbano, com exceção da água, que é a unidade mais bem definida nesta classe. Por esta razão, optou-se por utilizar a banda 2.

Figura 1 - Curvas de responsividade espectral dos canais Pancromático e Multiespectral do sensor HRV, satélite SPOT



Fonte: Begni, 1982

Figura 2 - curvas espectrais de elementos característicos do ambiente urbano



Fonte: Hamburger et al., 1990

3.2.2. Fotografias aéreas

Foram utilizadas 25 fotos aéreas pancromáticas da área, em escala 1:10.000, obtidas em sobrevôo efetuado no ano de 1986, entre os meses de agosto e setembro. As fotos foram produzidas pela EMLASA e utilizadas na elaboração da carta de uso do solo, o que representou uma grande coerência no material utilizado.

3.2.3 Cartas topográficas

Foram utilizadas cartas topográficas da área, em escala 1:10.000, para auxiliar na fotointerpretação (EMPLASA, 1986a) e em escala 1:25.000, para possibilitar uma visualização integrada da área de estudo (EMPLASA, 1986b). Foi elaborado também um mapa índice com base na carta topográfica 1:25.000.

3.3. Determinação das classes de uso do solo na superfície e suas características

Esta fase do trabalho inclui a interpretação e tratamento das informações das fotos aéreas, das cartas topográficas e do trabalho de campo para obtenção da verdade terrestre e compreensão da área de estudo.

3.3.1. Definição das unidades homogêneas nas fotos aéreas

A definição das zonas homogêneas foi elaborada a partir de fotos aéreas com base nos critérios definidos na bibliografia (MANSO et al., 1978; BARROS et al., 1985; KURKDJIAN, 1986). Como a bibliografia consultada ainda não trata de todas as classes de uso do solo, estas foram complementadas, com outras técnicas de fotointerpretação (MUMBOWER et al., 1967; MOMSEM, 1984; LOHMANN, 1988; GAMBA, 1991; e CARRARA, 1991) e com trabalho de campo.

Esta etapa utilizou as fotos aéreas e as cartas topográficas. Com base neste material, foram extraídas as zonas de textura homogênea.

Esta operação foi feita tomando como referência a técnica proposta por KURKDJIAN (1986), que trata da delimitação de setores residenciais homogêneos na cidade, com base na variação de textura do tecido urbano, observável nas fotos aéreas.

A análise de textura para divisão de classes de uso do solo urbano nas fotos aéreas considerou a forma, o tamanho, a tonalidade, o padrão, assim como a localização das unidades. O limite entre diferentes texturas no tecido urbano, frequentemente, está relacionada com a presença de barreiras físicas, naturais ou artificiais. Quando isto não acontece, o mais provável é que o limite entre os diferentes tipos de uso seja contínuo e não discreto. No caso da área de estudo, os limites encontrados foram predominantemente discretos, por se tratar de uma área planejada. É importante que estas situações sejam analisadas de forma mais detalhada, pois o solo exposto pode significar uma etapa na ocupação da região (JENSEN, 1981) e a vegetação, a presença de praças (JIM 1989a e 1989b). Assim foi considerado o fato de que o traçado dos limites dos setores homogêneos é definido, sempre, pela

descontinuidade do tecido urbano, pois barreiras físicas, naturais ou artificiais, significam descontinuidade de textura (KURKDJIAN, 1986).

As unidades muito pequenas foram desconsideradas de forma que as classes tivessem uma expressão espacial significativa e correspondessem, de fato a uma determinada forma de uso e ocupação do solo.

3.3.2. Compatibilização das unidades homogêneas com seu uso

A compatibilização foi feita a partir do estudo das zonas homogêneas em relação a diferentes indicadores para verificar seu uso. Nesta etapa foram consideradas as relações entre as características físicas da ocupação da área e a sua organização institucional. A definição das classes de uso tomou por referência as classes estabelecidas por ANDERSON et al. (1976) e CONNERS et al. (1984) sendo adaptadas à região com base na observação das fotos aéreas.

Foram também identificadas as características, na superfície, responsáveis pelo tecido correspondente a cada classe (tabelas 1 e 2). O mapeamento do uso do solo urbano define uma verdade terrestre para efeito de comparação com os resultados obtidos com as imagens digitais.

Foram elaborados “overlays” com informações selecionadas das fotos aéreas extraindo-se os limites das zonas homogêneas e elaborado o mapa de uso do solo. Esta etapa foi complementada com trabalho de campo para averiguação e detalhamento das características observadas.

3.3.3. Seleção de amostras

A partir do mapeamento, foram selecionadas 30 amostras características das classes de uso do solo. A seleção destas amostras considerou a extensão da ocupação, a sua representatividade e tomou como base de informação os elementos que as compõem: sua extensão, se é representativo numa imagem orbital; distribuição espacial; e o significado espectral destes elementos.

As amostras serviram para uma avaliação sistemática da relação entre as características dos diferentes tipos de uso do solo urbano na superfície e as informações texturais que podem ser obtidas com o processamento digital de imagens orbitais.

Para seleção das amostras foram utilizadas grades correspondentes à resolução das imagens orbitais na escala das fotos. A dimensão das amostras possibilitou consolidar a análise do tamanho das janelas usadas no processamento digital e a extensão das unidades na superfície. Estes fatores resultaram na seleção de

amostras de 8 x 8 pixels no modo multiespectral e amostras correspondentes de 16 x 16 pixels no modo pancromático.

3.3.4. Caracterização das classes de uso do solo urbano

A seleção das amostras possibilitou uma caracterização mais específica das feições dos diferentes tipos de uso do solo.

As variáveis consideradas tomaram como base aquelas apresentadas em MANSO et al. (1978): área construída por imóvel, densidade fundiária, características de ocupação, tecnologia construtiva da edificação, fase da ocupação, características do relevo, traçado e tratamento do sistema viário, barreiras físicas naturais, e barreiras físicas artificiais. Foram avaliadas: a) a densidade fundiária, nos casos em que este critério não é observável ou pertinente (água, vegetação e solo exposto) foi considerada a densidade dos elementos de textura, b) a área construída por quilômetro quadrado; e, quando adequado, c) as características de ocupação e o traçado e tratamento do sistema viário.

Durante esta análise foi considerado o processo de ocupação e suas características, tais como o grau de implantação de determinado loteamento, que resulta em uma diferente quantidade de área construída. Estas classes deverão ser homogêneas, em suas características espectrais, na resolução espacial e situação de contraste consideradas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Classes de uso do solo identificadas e suas características

A definição de unidades homogêneas e a compatibilização destas com seu uso resultou nas Tabelas 1 e 2. A descrição das classes de uso do solo urbano identificadas e a avaliação de suas características básicas, de acordo com os critérios definidos na fundamentação teórica são expressas a seguir, com uma avaliação de suas feições com significado em imagens de satélite.

- RESIDENCIAL - Na área de estudo puderam ser identificados quatro tipos residenciais conforme suas especificidades. Um primeiro tipo com melhor padrão sócio-econômico, caracterizado por lotes grandes, da ordem de 300 a até 600 m², jardins externos, e ruas bastante arborizadas. Um segundo tipo de área residencial apresentava lotes menores (da ordem de 150

m²), densidade habitacional muito maior e não ocorre a presença de quintais, jardins e ruas arborizadas. O terceiro tipo de área residencial encontrado correspondia a um padrão semelhante ao primeiro, mas em fase de implantação, havendo grande presença de lotes não ocupados.

Estas três diferentes áreas residenciais foram englobadas em uma só classe devido à sua homogeneidade interna quando comparada com os outros tipos de uso considerados. Estas áreas são compostas por telhados (predominantemente telhas, exceto na área de menor padrão sócio-econômico, onde predominam materiais metálicos e madeira), jardins ou arborização (vegetação variada), quintais e passeios (concreto) e calçamento de ruas (asfalto, paralelepípedo e eventualmente solo exposto).

A quarto tipo de utilização residencial, representada por habitações multifamiliares, não correspondia a uma extensão significativa em matéria de área para ser considerada enquanto categoria específica. Esta classe torna-se uma textura praticamente homogênea quando observada através do sensor. Os lotes que podem ser entendidos como elementos de textura são de dimensão inferior à de quatro pixels, portanto, nem sempre identificáveis enquanto unidade devido à limitações de resolução. Em bairros com população de maior poder aquisitivo, onde as casas e os jardins são maiores, a tendência é que eles apareçam, aumentando a frequência de variação de níveis de cinza na imagem, o mesmo ocorre em áreas residenciais de implantação mais antiga (como esta classe se apresenta nas fotos aéreas e na imagem pancromática pode ser visto na Figura 4).

- **COMERCIAL E SERVIÇOS** - Esta classe se apresenta de forma bem definida, por se tratar de uma categoria de uso estabelecido na parte planejada do distrito de Alphaville. É uma área onde há construções de pequeno porte bastante adensadas. As unidades comerciais e de serviços tem uma dimensão média de 200 m² a 400 m².

Esta classe, para a imagem adotada, possui uma baixa frequência de alteração de níveis de cinza, correspondente à alternância entre áreas construídas e não construídas, que eventualmente, possuem extensão suficiente para aparecerem em imagens com esta resolução. Atualmente esta área está densamente ocupada (Figura 4.3). Possui uma baixa frequência de alteração de níveis de cinza, correspondente à alternância entre áreas construídas e não construídas.

- **TRANSPORTES, COMUNICAÇÕES E UTILIDADES** - Esta classe é constituída de elementos presentes em outras classes de uso, como ruas, estacionamentos, fios de alta tensão e sua área de proteção, etc., identificadas quando ocorrem em grande extensão. Foi incorporada, também, a área de lazer, onde está localizado o clube, que se constitui em uma região bem definida devido aos seus limites demarcados por grandes vias

Tabela 1

ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DAS CLASSES DE USO DO SOLO URBANO			
CLASSE	DENSIDADE FUNDIÁRIA	ÁREA CONSTRUÍDA POR IMÓVEL	PRESENÇA DE ORIENTAÇÃO
1. RESIDENCIAL	densa	. em torno de 70 % nas áreas já implantadas . varia muito conforme a área residencial	. bilinear . aureolar
2. COMERCIAL E SERVIÇOS	muito densa	. maior que 80 % nos lotes construídos . quando a imagem foi obtida havia muitos lotes vagos	. bilinear . aureolar
3. TRANSPORTE, COMUNICAÇÕES E UTILIDADES	não se aplica	. não se aplica	. bilinear
4. COMPLEXOS INDUSTRIAIS E COMERCIAIS	rarefeita	. varia muito conforme a área	. bilinear
5. CORPOS D'ÁGUA	não se aplica	não se aplica	. inexistente
6. SOLO EXPOSTO	não se aplica	não se aplica	. inexistente
7. LOTEAMENTO EM IMPLANTAÇÃO	pouco densa	inexistente	. inexistente no caso estudado
8. VEGETAÇÃO ARBÓREA E HERBÁCEO ARBUSTIVA	não se aplica	não se aplica	. inexistente

Tabela 2

FEIÇÕES DE CARÁTER ESPECTRAL DAS CLASSES DE USO DO SOLO URBANO		
CLASSE	ELEMENTOS QUE CONTRIBUEM PARA AS CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS PRESENTES NA FOTO AÉREA	
	PRINCIPAIS ELEMENTOS COMPONENTES	MATERIAL
1. RESIDENCIAL	telhado calçamento jardim ou praça (vegetação)	telhas, madeirit terra, asfalto, paralelepípedo gramínea, herbácea, arbustiva
2. COMERCIAL E SERVIÇOS	sombra jardim ou praça (vegetação) telhado	gramínea, herbácea, arbustiva concreto
3. TRANSPORTE, COMUNICAÇÕES E UTILIDADES	calçamento áreas não implantadas	asfalto solo exposto
4. COMPLEXOS INDUSTRIAIS E COMERCIAIS	telhado calçamento jardim ou praça (vegetação)	telhas, madeirit terra, asfalto, paralelepípedo gramínea, herbácea, arbustiva
5. CORPOS D'ÁGUA	rios, lagos	água
6. SOLO EXPOSTO	pátios áreas para construção	terra terra
7. LOTEAMENTO EM IMPLANTAÇÃO	ruas lotes	terra vegetação arbórea
8. VEGETAÇÃO ARBÓREA E HERBÁCEO ARBUSTIVA	praças e lotes abandonados	vegetação de tipos diversos

e pela grande quantidade de vegetação, o que a torna bastante caracterizada nas imagens orbitais. A dimensão das feições que caracterizam esta classe é bastante diferenciada. Apesar de não serem muito extensas, estas áreas frequentemente possuem extensão suficiente para serem observáveis em imagens orbitais, principalmente em função de seu recobrimento, que costuma ser de asfalto, e algumas vezes demonstra grande contraste com o entorno.

- **COMPLEXOS INDUSTRIAIS E COMERCIAIS** - É um distrito industrial com organização espacial própria e de fácil identificação. Na área, este distrito está subdividido em categorias, englobando unidades de dimensões variadas, como armazéns, fábricas, grandes indústrias, etc., incluindo também grandes unidades de serviços, tais como grandes escolas de línguas ou academias de ginástica. Esta área se transformou nos últimos anos com a crescente ocupação de lotes vagos, ainda são encontrados lotes não ocupados, que apesar de aparentemente reservados para a implantação de indústrias, apresentam cobertura de solo exposto. Puderam ser identificados até 3 tipos de áreas diferentes. O primeiro padrão é caracterizado por lotes de tamanhos entre 700 e 1.000 m², havendo construções que ocupam dois lotes, esta área é ocupada principalmente por unidades comerciais ou de serviços. Outro padrão, que ocupa grande extensão na área de estudo é caracterizado por lotes grandes, de dimensão entre 10.000 e 20.000 m². O terceiro tipo é de unidades maiores, da ordem de 50.000 m². Segundo a resolução do sensor, em relação à ocupação espacial destas áreas, elas apresentam grande alternância correspondendo à cobertura superior das indústrias, seus estacionamentos e pátios, havendo às vezes, a presença de jardins. Podem ser vistas também grandes extensões de solo exposto relativas a lotes ainda não ocupados (Figura 4.3).

- **LOTES EM IMPLANTAÇÃO** - Na área de estudo há uma classe com textura bem definida, onde os lotes estão delimitados mas a ocupação ainda não está completa, os lotes apresentam dimensões variáveis da ordem de centenas de metros quadrados.

Há outras áreas com arruamentos demarcando as quadras, onde a densidade de construções é menor, podendo ser observadas, quadras de dimensões que variam entre 2.000 m² e 6.000 m². Esta classe é facilmente identificável nas fotos aéreas. Apresenta duas formas básicas, uma com vegetação arbórea densa, cercada por arruamentos de terra não muito extensos, que se destacam por seu contraste com o entorno; outra onde a vegetação não foi preservada e há lotes de solo exposto intercalado com áreas construídas.

As classes a seguir se caracterizam mais pela sua ocupação, muitas vezes descrita na bibliografia como “cobertura”, do que pela sua utilização propriamente

dita. A grande presença de áreas com estas características se dá, provavelmente, pela sua localização próxima ao limite de expansão urbana, não se tratando de uma área muito adensada.

As classes Corpos D'água, Solo Exposto e Vegetação apresentam-se homogêneas, caracterizando-se por suas feições espectrais.

- CORPOS D'AGUA - Além dos rios Tietê e Cotia presentes na área de estudo, algumas pequenas represas presentes na área foram englobadas nesta classe.
- SOLO EXPOSTO - Esta classe presente em Conners (1984, Tabela 2.2) não corresponde exatamente às feições apresentadas por este autor. As feições presentes são: áreas erodidas, áreas aterradas, terrenos preparados para construção e pátios industriais.
- VEGETAÇÃO (ARBÓREA E HERBÁCEO-ARBUSTIVAS) - Esta classe engloba categorias bastante diferentes em estudos específicos de vegetação, mas dentre os diferentes usos do solo urbano elas foram englobadas como uma só unidade, jardins, praças, áreas de mata no entorno da cidade, etc. (Figuras 4.2 e 4.4).

Pode-se concluir que a presença de elementos semelhantes nas diversas classes, não significa que elas não possam ser distinguidas em imagens, pois a sua composição é diferenciada, assim como o tamanho das feições envolvidas.

4.2. Análise das amostras selecionadas

As amostras foram definidas através da observação das fotos aéreas, de forma a representarem as classes selecionadas. A utilização de amostras, a partir do conhecimento das classes, foi essencial para o seu entendimento.

De cada uma das amostras foram extraídas, a média, a variância e o coeficiente de variação dos níveis de cinza, estabelecendo um parâmetro da separabilidade destas classes no espaço de atributos. Foram obtidos os histogramas de cada amostra para cada banda espectral. Os dados obtidos para a imagem pancromática e quatro exemplos dos histogramas observados para as classes Residencial, Comercial e Serviços, Solo exposto e Complexos Industriais e Comerciais estão na Tabela 4.3 e na Figura 4.5.

A grande variabilidade interna entre os níveis de cinza das diferentes classes pode ser observada na Tabela e nos histogramas.

A análise destes dados demonstra a grande sobreposição dos diferentes níveis de cinza no espaço de atributos, que dificulta uma classificação puramente

espectral destes dados. Com exceção das classes vegetação, água e das amostras que se referem ao telhado de indústrias, nas outras há uma grande amplitude entre o maior e o menor nível de cinza, assim como uma variância significativa.

4.3. Feições urbanas que estão presentes em imagens orbitais e caracterizam classes de uso do solo

As feições urbanas com maior significado espectral, são o concreto, solo exposto e a vegetação.

Quanto ao concreto, embora ele esteja predominantemente associado aos Complexos Comerciais e Industriais, sua distribuição é bastante irregular na área de estudo, seja na sua densidade, seja na extensão de cada elemento. Apesar de ser um elemento muito contrastante na imagem ele não pode constituir-se como um indicador de classe de uso do solo, quando aparece isoladamente. Por outro lado, nas classes de uso do solo, onde a presença de concreto, associado ou não ao solo exposto, é significativa sem ser dominante (no caso deste estudo, Comércio e Serviços, Solo Exposto e Loteamentos em Implantação), a área parece se caracterizar pela sua maior ou menor presença.

O solo exposto é nítido enquanto classe isolada, da mesma maneira que a água, assim como quando está associado ao concreto. Sua presença em maior ou menor proporção acaba sendo específica de uma ou outra classe, como indicado em JENSEN et al. (1981).

Quanto à vegetação, sua presença se distribui entre várias classes de uso do solo mas com formas e feições diferenciadas. A grande sensibilidade do sensor nas faixas do espectro que caracterizam a vegetação possibilita a definição da proporção da sua presença e conseqüentemente, da maior parte das classes de uso do solo urbano através de imagens orbitais, seja pela sua quantidade na área, seja pela sua distribuição, seja pela sua forma, conforme indicado em FORESTI (1986), JIM (1989a e 1989b), e em CARRARA (1991).

Tabela 3

Média, variância e coeficiente de variação do valor digital das amostras da imagem pancromática				
CLASSE	AMOSTRA	MÉDIA	VARIÂNCIA	COEFICIENTE DE VARIÂÇÃO
RESIDENCIAL	1	62,00	20,16	0,07
	2	58,78	10,39	0,05
	3	53,98	44,69	0,12
	4	64,69	26,94	0,08
	5	57,25	50,01	0,12
	6	59,97	71,45	0,14
	7	73,91	13,19	0,05
COMERCIAL E SERVIÇOS	1	68,38	35,63	0,09
TRANSPORTE, COMUNIC. E UTILIDADES	1	59,59	69,13	0,14
	2	59,82	36,45	0,10
	3	62,21	132,72	0,13
COMPLEXOS INDUSTRIAIS E COMERCIAIS	1	60,40	134,64	0,19
	2	73,86	3,79	0,03
	3	63,97	74,29	0,13
	4	56,79	69,53	0,15
	5	122,29	7,96	0,02
CORPOS D'ÁGUA	1	73,09	136,06	0,16
	2	69,95	46,81	0,10
	3	63,12	10,70	0,05
	4	79,66	28,20	0,07
SOLO EXPOSTO	1	84,39	360,25	0,22
	2	71,15	121,93	0,16
	3	81,57	45,49	0,08
LOTEAMENTO EM IMPLANTAÇÃO	1	62,71	33,17	0,09
	2	79,48	75,66	0,11
	3	38,89	20,40	0,12
VEGETAÇÃO ARBÓREA E HERBÁCEO ARBUSTIVA	1	35,96	1,24	0,03
	2	55,75	4,13	0,04
	3	35,00	0,92	0,03
	4	37,52	0,86	0,02

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho possibilitou compreender melhor as características do ambiente urbano, identificando a existência de feições concretas determinadas pela presença, distribuição e organização dos diferentes materiais que compõem classes de uso do solo urbano.

Embora muitos autores já tenham tratado desta questão para o melhor entendimento deste ambiente, há poucos trabalhos que descrevam a composição e organização física destes ambientes considerando sua análise com imagens orbitais. A evolução de estudos sobre como são os ambientes residencial, comercial, industrial, de lazer, lotes em implantação e outros avançou muito para a análise de fotografias aéreas, mas ainda são necessários muitos estudos para sua adequação a trabalhos utilizando sensores orbitais.

O conhecimento do comportamento espectral dos diversos elementos que compõem alvos urbanos, a sua distribuição, assim como o efeito e significado de composições que caracterizam cada forma de uso do solo urbano precisam de estudos sistemáticos para que se possam definir indicadores em imagens orbitais que estejam relacionados as diferentes classes de uso do solo.

Até o momento parece que a vegetação é o elemento que apresenta o maior potencial enquanto indicador do tipo de uso do solo urbano. Uma série de fatores contribuem para isto: a vegetação é um dos fenômenos mais conhecidos espectralmente e os sensores existentes são bastante sensíveis a estas variações; o contraste com feições avermelhadas como telhas e solo exposto, aumenta o potencial da vegetação enquanto o elemento que caracteriza o uso do solo; finalmente, conforme é indicado na bibliografia (JIM 1989a e 1989b e CARRARA, 1991), a presença ou não de vegetação, assim como sua distribuição parecem caracterizar bem os diferentes usos do solo urbano. Tanto o modo pancromático quanto a banda X2 são bastante sensíveis nos comprimentos de onda que caracterizam este elemento.

Outros elementos que compõem o ambiente urbano poderiam ter o potencial de caracterizá-lo, total ou parcialmente, caso fossem melhor conhecidos espectralmente. Um exemplo são as telhas e outros tipos de cobertura. Já o concreto aparece com bastante destaque nas imagens orbitais, provavelmente se sua distribuição no espaço urbano fosse bem conhecida, ele seria um bom indicador de alguns fenômenos, como por exemplo de área industriais. O solo exposto é o grande indicador de áreas em ocupação (de acordo com JENSEN et al., 1981).

Para área de estudo, onde as feições estão bem definidas, podem-se encontrar visualmente a maior parte dos limites entre as classes de uso nas imagens orbitais. A exceção é a classe Transporte, Comunicações e Utilidades, e a principal

causa parece ser o fato de que esta classe não foi bem caracterizada a princípio, abrangendo áreas de pouca extensão e de pouca definição.

Assim, com relação às feições da estrutura urbana, destaca-se a grande carência de informações sistemáticas sobre a estrutura física desta em relação às suas características de ocupação e uso. A possibilidade de utilização do sensoriamento remoto orbital para a definição de classes de uso do solo urbano de forma operacional, prescinde, de forma absoluta, de um maior arsenal de informações a este respeito, incluindo estudos sobre tamanhos típicos de lote por tipo de uso, áreas construídas por tipo de uso, materiais utilizados nas construções, e distribuição espacial destes.

Uma avaliação comparativa do modo multiespectral do sensor HRV SPOT com o modo pancromático indicou, como era de se esperar, que para a obtenção das características locais com base em feições texturais, o modo pancromático é mais eficaz. Mesmo a vegetação que tem suas especificidades melhor descritas com o modo multiespectral, se estudada em relação ao seu entorno pode ser melhor observada com a resolução espacial superior do modo pancromático.

Por outro lado pode-se perceber que para estudar uma área urbana no maior nível de detalhe possível, através de imagens orbitais, as bandas espectrais possuem informação mais específica. Para se obter uma informação sintética, com maior generalização, que possa ser classificada digitalmente e dê uma idéia da estrutura geral da cidade, a banda pancromática é bastante útil.

Os resultados obtidos não incentivam trabalhos que testem o significado e efeito de informações de textura, sem que sejam conhecidas as características da área a ser estudada. No entanto, nestas condições, informações texturais e principalmente a morfologia matemática devem ser testadas com a utilização de outras imagens, e a combinação de várias bandas para verificar quais os resultados que se podem obter. É importante que estes trabalhos incluam a possibilidade de vários tamanhos de janela, ou vários elementos estruturantes, para que se verifique quais os mais sensíveis a cada organização espacial de níveis de cinza. Esta foi uma das principais dificuldades encontradas neste trabalho.

Deve-se considerar também que as classes de uso do solo ganham uma caracterização própria quando são consideradas feições espaciais, por outro lado as especificidades internas de cada classe perdem sua definição quando o entorno é incorporado enquanto informação.

Finalmente, quanto à melhor forma de estudo para áreas urbanas ela parece pressupor o desenvolvimento de uma caracterização de feições destes ambientes para que as imagens orbitais possam ser utilizadas em todo o seu potencial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, VA, 1975. v. 1/2.
- ANDERSON, J.R.; HARDY, E. E.; ROACH, J.T.; WITNER, R.E. *Sistemas de classificação de uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de Sensoriamento Remoto*. Trad. H. Strang, Rio de Janeiro, IBGE, 1976.
- ANDRADE, V.M.B. de *Classificação de imagens de alta resolução usando atributos de textura*. São José dos Campos, INPE, 1989. (INPE-4888-TDL/379).
- BARALDI, A.; PARMIGGIANI, F. Urban area classification by multispectral SPOT data. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 28 (4): 674-680, Jul., 1991.
- BARREIRA, J.; MASCARENHAS, N.D.A. *Aplicações da morfologia matemática*. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-4143-pre/1050).
- BARROS, M.S.S.; GUICHOU, C.J. *Procedimentos para determinação automática de zonas homogêneas urbanas com dados de sensores à baixa altitude*. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3496-PRE/733).
- BEGNI, G. Adaptation of the SPOT spectral bands to spectral signatures of objects. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 16., *Proceedings*, V.2, Ann Arbor, Michigan, ERIM, 1982.
- BRUM, E. *Integração dos canais multiespectrais e pancromáticos do sensor HRV (SPOT) para obtenção de composições coloridas com resolução espacial próxima a 10m*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1989. (INPE-5035-TDL/403).
- CANDEIAS, A.L.B. *Uso da teoria Bayesiana na fusão de dados de satélite*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1992. (INPE-5457-TDI/499).
- CAREY, G.W. The regional interpretation of Manhattan population and housing patterns through factor analysis. *The Geographical Review*, 56 (1): 529-551, 1966.
- CARRARA, A.L.R. *O uso do sensoriamento remoto no estudo do índice de vegetação no meio urbano*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1991.
- CORRÊA, R.L. *O espaço urbano*. São Paulo, SP, Editora Ática, 1989.
- COSTA, S.M.F. *Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens TM LANDSAT aplicado à delimitação de áreas urbanas*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1990.

- COULOMBE, A.; CHARBONNEAU, L.; BROCHU, R.; MORIN, D. L'apport de l'analyse textural dans la definition de l'utilisation du sol en milieu urbain. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 17(1):45-55, Jan., 1991.
- DAVIDOVICH, F. Tendências da urbanização no Brasil, uma análise espacial. *Revista Brasileira de Geografia*, 51(1):73-88, Jan./Mar., 1989.
- DUTRA, L.V.I. *Extração de atributos espaciais em imagens multiespectrais*. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada, São José dos Campos, INPE, 1981.
- FORESTI, C.; PEREIRA, M.D.B. *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, 1987. (INPE-4177-PRE/1071).
- FORESTI, C.; FLORENZANO, T.G.; ERTHAL; E.J.; GODOY JR., M. *Integração de dados do satélite SPOT com um modelo digital de terreno para avaliação de impacto ambiental*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 14, Gramado, maio, 1989, v.3, p. 686-689.
- FORSTER, B.C. Prediction of urban surfaces reflectance from LANDSAT data using mixed surfaces models. In: SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS EN TELEDETECTION COLLOQUE, *Proceedings*. Avignon, France, 8-11 Sep., G.Guyot et M. Verboghe, 1981, p. 569-578.
- FORSTER, B.C. Some urban measurements from LANDSAT data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49 (12): 1693-1707, Dec. 1983.
- FORSTER, B.C. Combining ancillary and spectral data for urban applications. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing V.XXXV part A7, Comissão 7, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, XV th Congress, Rio de Janeiro 1984*. p.207-216.
- FORSTER, B.C. An examination of some problems and solutions in monitoring urban areas from satellite platforms. *International Journal of Remote Sensing*, 6(1): 139-151, 1985.
- FORSTER, B.C.; JONES, C. Urban density monitoring using high resolution spaceborne systems. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing V.XXXIX part VII, Comissão 7, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, XIXth Congress, Kyoto, 1988*. p.189-195.
- FRANKLIN, S.E.; PEDDLE, D.R. Classification of SPOT HRV imagery and texture features. *International Journal of Remote Sensing*, 11(3): 551-556, 1990.

- FRANKLIN, S.E.; PEDDLE, D.R. Spectral texture for improved class discrimination in complex terrain. *International Journal of Remote Sensing*, 10(8): 1437-1443, 1989.
- GAMBA, A.; POTENIN, J. *Elaboracion de una carta de uso del suelo para el area metropolitana de Buenos Aires a partir de imagenes de satelite y su metodologia de trabajo*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 25. Rio de Janeiro, 1991.
- HAACK, B.N. Multisensor data analysis of urban environments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 50 (10): 1471-1477, Oct. 1984.
- HAERTEL, V.; SHIMABUKURO, I. *Textural features for image classification in remote sensing*. São José dos Campos, INPE, 1987. (INPE-4169-pre/1066).
- HAMBURGER, D.; VIEIRA, I.M.V. *Estudo do comportamento espectral de alvos urbanos para discriminação de áreas residenciais*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6. Manaus, 1990. *Anais*, São José dos Campos, 1990.
- HARALICK, R.; STERNBERG, S.R.; ZHUANG, X. Image analysis using mathematical morphology. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. PAMI-9(4):532-550, jul.1987.
- HARALICK, R. Statistical and structural approaches to texture. *Proceedings of the IEEE*, 67(5):786-804, May 1979.
- HARALICK, R.; SHANMUNGAN, K.; DIENSTEIN, I. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-3(6):610-621, Nov. 1973.
- HONG, T.H.; WU, A.; ROSENFELD, A. Feature value smoothing as an aid in texture analysis. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-10:519-524, 1980.
- HUDSON, W.D.; RAMM, C.W. Correct formulation of the KAPPA coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53 (4):421-422, Apr., 1987.
- HSU, S. Texture-tone analysis for automated land use mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44 (11): 1393-1404, Nov. 1978.
- IOKA, M.; KODA, M. Performance of LANDSAT TM data in land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 12 (7): 1715-1728, 1986.
- IRONS, I.R.; PETERSEN, G.W. Texture transforms of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 11(4):359-370, Sep., 1981.

- JACKSON, M.J.; CARTER, P.; SMITH, T.F.; GARDNER, W.G. Urban land mapping from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46 (8): 1041-1050, Aug. 1980.
- JENSEN, J.R. Urban/Suburban land use analysis. In: *Manual of Remote Sensing*, 2ed. Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry, 1983 V.2., chapter 30, p.1571-1666.
- JENSEN, J.R.; TOLL, D.L. Detecting residential land use development at the urban fringe. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 48 (4): 629-643, Apr. 1981.
- JENSEN, L.M. A knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in LANDSAT TM imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56 (6):899-904, Apr. 1990.
- JIM, C.Y. Tree canopy cover, land use and planning implications in urban Hong Kong. *Geoforum*, 20 (1): 57-68. 1989a.
- JIM, C.Y. Tree canopy characteristics and urban development in Hong Kong. *The Geographical Review*, 79 (2): 210-255, 1989b.
- KHORRAM, S.; BROCKHAUS, J.A.; CHESHIRE, H.M. Comparison of LANDSAT MSS and TM data for urban land-use classification. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, GE-25 (2): 238-243, Feb. 1987.
- KUMAR, R.; NIERO, M.; MANSO, A.P.; LUCHT, L.A.M.; BARROS, M.S.S. *Classification of areas using pixel-by-pixel and sample classifiers*. Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1979. (INPE-1472-RPE/027).
- KURKDJIAN, M. de L.N. de O. *Visual aerial photograph texture discrimination for delineating homogeneous residential sectors: an instrument for urban planners*. São José dos Campos, INPE, May 1986. (INPE-3896-PRE/938).
- KURKDJIAN, M. de L.N.O.; Ii, S.S. Integração de imagem SPOT multiespectral e aerofoto pancromática para estudo do uso do solo urbano. IN: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 4. Bariloche, 1989, *Proceedings*, Bariloche, 1989. p.415-421.
- LOHMANN, P.; ALTROGGE, G. The use of SPOT and color infrared aerial photography for urban planning. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* V.XXIX part VII, Comissão 7, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, XIXth Congress, Kyoto, 1988. p.196-205.

- MANSO, A.P.; OLIVEIRA, M. de L.N. de; BARROS, M.S.S. *Determinação de zonas homogêneas através de sensoriamento remoto*. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1470-RPE/021).
- MARBLE, D.F.; HORTON, F.E. *Extraction of urban data from high and low resolution images*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOTOGRAMMETRY, 1969. p.807-818.
- MARKHAM, B.L.; TOWNSHEND, J.R.G. Land cover classification accuracy as a function of sensor spatial resolution. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 15., Ann Arbor, MI, May 1981. *Proceedings*, Ann Arbor, MI, ERIM, 1981. p. 1075-1090.
- MARCZYK, J.S.; KARPUK, E.W.; RAYNER, M.R. Digital LANDSAT data for land-cover and land-use classifications for use in integrated resource planning: a feasibility study. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 10 (2): 177-189, Dec. 1984.
- MACDONALD, J.A.; MIRANDA, F.P.; CARR, J.R. *Textural image classification using variograms*. SYMPOSIUM ON OPTICAL ENGINEERING AND PHOTONICS IN AEROSPACE SENSING - SPIE'S 1990.
- MOMSEN JR., R.P. Socio-economic units as a basis for remote sensing interpretation of cultural phenomena. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 10 (2): 167-189. Dec. 1984.
- MUMBOWER, L.; DONOGHUE, J. Urban poverty study. *Photogrammetric Engineering*, 33 (6):610-618, 1967.
- NAGARATHINAM, V.; JAYAGOBI, K.; MARUTHACHALAM, M.; PANCHANATHAN, S.; PALANIVELU, R. Urban monitoring using SPOT imagery - a case study. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing V.XXIX part VII*, Comissão 7, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, XIXth Congress, Kyoto, 1988. p.322-328.
- Ó FILHO, E.F.do; MASCARENHAS, N.D.A.; SONNEMBURG, C.R. *Classificação de imagens multiespectrais, através de características de textura*. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1734-RPE/134).
- PICKETT, R.M. Visual analyses of texture in the detection and recognition of objects. In: LIPKIN, B.S.; ROSENFELD, A., ed., *Picture Processing and Psychopictorics*, New York, N.Y., Academic Press, 1970, p.289-308.
- PIETKAINEN, M.; ROSENFELD, A. Image segmentation by texture using pyramid node linking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-11(12):822-825, Dec. 1981.

- ROSENFELD, A.; WANG, C.; WU, A.Y. Multispectral texture. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-12(1):79-84, Feb., 1982.
- RUGG, D.S. *Spatial foundations of urbanism*. Dubuque, IO, WM. C. Brown Company Publishers, 4 ed., 1975.
- SANTOS, A.P.DOS; FORESTI, C.; NOVO, E.M.L. de M.; NIERO, M.; LOMBARDO, M.A. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações no uso da terra*. São José dos Campos, INPE, Nov. 1981. (INPE-2261-MD/016).
- SANTOS, M. *Manual de geografia urbana*. São Paulo, S.P., Editora Hucitec, 2 ed., 1989.
- SEABRA, O.C. de L. *A muralha que cerca o mar - uma modalidade de uso do solo urbano*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.
- SERRA, G. *O espaço natural e a forma urbana*. São Paulo, SP, Livraria Nobel S.A., 1987.
- STRAHLER, A.H.; WOODCOCK, C.E.; SMITH, J.A. On the nature of models in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 20:121-139, 1986.
- WELCH, R. Spatial resolution requirements for urban studies. *International Journal of Remote Sensing*, 3(2):139-146, 1982.
- WHARTON, S.W. A spectral knowledge based approach for urban land cover discrimination from multispectral scanner data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. GE-25(3):272-282, Mar. 1987.
- WOODCOCK, C.E.; STRAHLER, A.H.; JUPP, D.L.B. The use of variograms in remote sensing: Real digital images. *Remote Sensing of Environment*. 25(3):349-379, 1988.
- WOODCOCK, C.E.; STRAHLER, A.H.; JUPP, D.L.B. The use of variograms in remote sensing: Scene models and simulated images. *Remote Sensing of Environment*. 25(3):325-348, 1988.