

# POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DAS IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO IKONOS II PARA ESTUDOS DE PLANEJAMENTO URBANO

*Edilson de Souza BIAS<sup>1</sup>*  
*Gustavo Macedo de Mello BAPTISTA<sup>2</sup>*  
*Magda Adelaide LOMBARDO<sup>3</sup>*

## Resumo

O presente estudo teve como objeto verificar as potencialidades e limitações das imagens de alta resolução espacial – IKONOS II, para a geração de mapa de uso da terra. Para tal, foram testados os métodos de classificação ISODATA, MAXVER, SAM e PPI. As classes investigadas foram asfalto, residências individuais, residências coletivas, solo exposto, cobertura vegetal – gramíneas. Todos os índices apresentaram dificuldade, pois com alta resolução espacial a diversidade espectral confunde os classificadores. Novos procedimentos devem ser testados para melhorar a diferenciação de alvos intra-urbanos nesse tipo de dado.

**Palavras-chave:** Ikonos II. Alta Resolução. Planejamento Urbano. Mapa de Uso da Terra.

## Abstract

### Capabilities and limitations of IKONOS II high resolution data for urban planning studies

The aim of this study was verifying the IKONOS II data's potentialities and limitations to do land use map. For this we used four algorithms: ISODATA, MAXVER, SAM and PPI. The land use classes were asphalt, houses, buildings, bare soils and vegetation cover - grass. All of algorithms present a problem to classify the data, because in the high spatial resolution scenes the diversity of spectral features confuses the classifiers. New procedures will be motivated to differentiate the intra urban targets in the IKONOS II data.

**Key words:** Ikonos II. High Resolution Data. Urban Planning. Land Use Map.

---

<sup>1</sup> Professor Adjunto da Universidade Católica de Brasília, Curso de Engenharia Ambiental. QS 07 It. 1 Água Claras – Campus I - E-mail: edilsonb@ucb.br

<sup>2</sup> Professor Adjunto da Universidade Católica de Brasília, Curso de Engenharia Ambiental. QS 07 It. 1 Água Claras – Campus I - E-mail: gustavom@ucb.br

<sup>3</sup> Professora Adjunta da Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro. Rua Dez, n. 2527, Bairro Santana - Rio Claro – SP - E-mail: lombardo@rc.unesp.br

## INTRODUÇÃO

Entre os aspectos que se pode relacionar para os estudos de planejamento urbano, o mapeamento do uso da terra é um dos fundamentais, uma vez que possibilita, de um lado, a espacialização das diversas ocupações, numa visão intra-urbana, e de outro, a quantificação dos elementos funcionais existentes e os seus reflexos no equilíbrio ambiental dessa segunda paisagem.

Diversos estudos têm demonstrado que o acelerado processo de crescimento das cidades é um fenômeno constante na realidade hodierna, apresentando necessidades específicas que podem ser avaliadas por meio de um monitoramento permanente dos cenários que se alteram constantemente. Neste particular, as técnicas de Sensoriamento Remoto assumem lugar especial como instrumento de grande potencial para o levantamento e avaliação, devido à possibilidade de monitoramento, criando avaliações multitemporais não só de forma ampla, mas também avaliando as alterações intraurbanas.

Os produtos de sensoriamento remoto, tanto imagens orbitais como fotografias aéreas, podem desempenhar importante papel no processo de planejamento e reestruturação do ambiente urbano, pois sua utilização permite identificar as características e correlacioná-las às origens dos agentes modificadores do espaço. Além disso, permitem verificar a extensão e a intensidade das alterações provocadas pelas ações antrópicas.

As necessidades voltadas para os estudos do planejamento urbano, nos dias atuais, visam obter respostas cada vez mais rápidas, objetivando ações nos processos ligados à gestão municipal. Essas necessidades encontram-se vinculadas ao retorno político, que requer uma análise acurada dos cenários e, sobretudo, a possibilidade de prospecções futuras.

O presente estudo tem como objetivo a avaliação das potencialidades e limitações das imagens hiperespectrais IKONOS II na geração de mapa do uso da terra, utilizando-se diferentes métodos de classificação, disponíveis nos softwares de PDI – Processamento Digital de Imagens.

## BREVE HISTÓRICO DO USO DE IMAGENS ORBITAIS NA GERAÇÃO DE MAPAS DE USO DA TERRA VOLTADO AO PLANEJAMENTO URBANO

No que tange ao mapeamento do uso da terra, muito tem sido feito desde o advento dos sensores remotos. Entretanto, dado o nível de refinamento de resolução destes sensores, não tem sido possível ser analisada a interpretação de feições intra-urbanas, gerando assim um ônus, em razão da necessidade de uma atuação muito intensa em trabalhos de campo, que demandam longo tempo de trabalho e o envolvimento de uma grande equipe de profissionais.

As conclusões obtidas por Niero *et al.* (1983, p. 31) revelaram que as resoluções espacial e espectral dos satélites LANDSAT 1, 2 e 3, somente permitiram a classificação de amplos alvos de uso do solo urbano, possibilitando separar, de forma mais clara, as áreas de ocupação vertical. Já as classes que englobavam diferentes tipos de uso do solo apresentavam problemas de separabilidade. O trabalho ainda permitiu a verificação da organização urbana.

Oliveira *et al.* (1984) efetuaram estudos da dinâmica urbana do Distrito Federal com a utilização de imagens dos sensores LANDSAT MSS e TM, visando gerar um mapa das diversas classes de ocupação que se desenvolveram após o plano urbanístico do Arquiteto Lúcio Costa. O estudo permitiu mapear áreas com identificação de novas construções,

adensamento residencial, invasões (favelas), movimentos de terra (terraplenagem), reforestamento e solo exposto. Um dos pontos de relevância identificado no estudo em questão foi a expansão da área de invasão da Barragem do Paranoá, hoje transformada em cidade satélite. Mas não permitiu detalhar o contexto intra-urbano.

Estudos visando a avaliar as potencialidades das imagens de sensores remotos para avaliação da dinâmica urbana foram realizados no Distrito Federal, entre os quais destacamos os de Anjos (1995), além do já mencionado de Oliveira *et al.* (1984).

Kurkdjian (1986) desenvolveu um estudo com base em sensoriamento remoto visando avaliar e identificar os setores residenciais urbanos homogêneos, como instrumento de planejamento urbano. Nesse estudo, Kurkdjian (1986, p. 85) demonstrou a importância do mapeamento do uso do solo. Esse mapeamento permitiu, segundo a autora, analisar os diferentes setores relativamente à identificação com o uso residencial e misto.

No que tange às limitações das imagens do sensor MSS (LANDSAT) para estudos urbanos, pode-se citar Ceccato (1994, p. 30), que cita os trabalhos de Forster (1982), Foresti (1986), Sadowski (1987), Forster e Jones (1988), relacionando os aspectos abaixo, que se apresentam como dificultadores para os estudos:

1. Distância do sensor ao objeto reduz informação do contexto do local, que é de grande importância no processo de classificação, quando se pretende inferir classes urbanas de uso e não somente classes de cobertura do solo.
2. As áreas urbanas são tipicamente heterogêneas, contendo vários tipos de materiais: telhados, asfalto, concreto, etc. Dessa forma, a radiação recebida de um único elemento do terreno inclui a radiação de cada um desses materiais, os quais, individualmente, possuem assinaturas espectrais distintas. Este fato passa a apresentar uma resposta aditiva desses alvos, que não é respectivamente o de nenhum deles, ou melhor, passa-se a ter uma resposta mascarada da realidade espectral dos vários alvos existentes.
3. Entre as classes de uso do solo, particularmente a residencial, ocorrem outras subclasses que não são facilmente definidas em classes discretas, fato que dificulta a agregação eficaz para a discriminação das feições urbanas.
4. A função de espalhamento pontual do sensor integra a resposta de um pixel observado e de seus circunvizinhos. Em áreas urbanas, isto pode afetar significativamente a assinatura de uma única classe de cobertura, se a cobertura dos pixels vizinhos for de classes diferentes.
5. Em áreas heterogêneas, como as áreas urbanas, a degradação da resposta registrada em virtude dos efeitos atmosféricos é espacialmente variável, o que dificulta o processo de classificação.

Hamburger (1993, p. 24-29) desenvolveu uma abordagem analítica com relação aos produtos orbitais e as suas possibilidades de geração de mapas de classe do solo urbano, demonstrando que a resolução espacial aparece a todo o momento como uma das maiores e principais limitações.

Ao analisar as possibilidades dos dados dos sensores para o mapeamento do uso do solo e as classificações de suas classes, Hamburger (1993, p. 26), tendo como base estudos de Nagarathinam *et al.* (1988) Forster *et al.* (1988) e Lohmann *et al.* (1988), concluiu que o sensor SPOT apresenta uma melhora considerável em relação ao sensor TM, graças melhoria na resolução espacial de 30 para 20 metros, a pesar de continuarem sendo imagens de média resolução. Não descarta, no entanto, a possibilidade de integração de diferentes sensores nos estudos e classificações do uso do solo.

Tornaram-se mais atrativas as utilizações de imagens orbitais de média resolução a partir da década de 80, com o advento da segunda geração de satélites da série LANDSAT,

portador de melhor resolução espacial (30 metros), e com o surgimento do satélite francês SPOT, que apresenta resoluções espaciais diferenciadas para as bandas multiespectral (20 metros) e para o pancromático (10 metros), conforme pode ser apreciado em Ceccato (1994, p. 33).

Estudos realizados por Harris *et al.* (1995) apud Costa (1996, p. 45) com o objetivo de avaliar a eficiência da utilização de dados de diferentes fontes e de técnicas de classificação para produzir mapas de uso do solo urbano na cidade de Beavre Dam, Wisconsin, levaram os autores a concluir que a integração das informações com uma classificação supervisionada de imagens LANDSAT TM aumenta o número de classe, caracterizando-se como uma excelente ferramenta para o planejamento urbano.

No que tange à utilização de imagens para estudos relacionados à evolução das manchas urbanas, considerando-se os limites de áreas urbanas e não urbanas, Lombardo *et al.* (1996, p. 5) afirmaram que as imagens orbitais são de grande valia, oferecendo a vantagem da atualização, graças ao dinamismo da expansão dos limites urbanos, da mesma forma que a cobertura temporal das imagens espaciais permite um monitoramento da mancha urbanizada, mostrando uma informação global e atualizada do tecido urbano e as tendências de crescimento.

Gonçalves *et al.* (2001), desenvolveram trabalho com o objetivo de avaliar a capacidade das imagens IKONOS II para atualização de cartografia de ocupação do solo, com ênfase na cobertura florestal e urbana, concluíram que o lançamento de satélites com sensores ópticos, que recolhem imagens da superfície terrestre de alta resolução (4m/1m), vem disponibilizar uma nova fonte de dados importante, potencializando a utilização dessas imagens no contexto das áreas urbanas a grande escala, pois o nível de resolução espacial dessas imagens corresponde às escalas de análise entre a 1:5000 e 1:25000 utilizadas nos projetos de planejamento urbano.

Nos estudos fora do Brasil, destaca-se o realizado por Balzerek (2002), que analisou as diferenças espectrais intra-urbanas a partir da avaliação dos telhados das residências e da análise das respostas espectrais. Foram identificados telhados constituídos por material de ferro e metal, bem como inferida a idade deles. Essas diferenças são uma peculiaridade importante que permite avaliar a estrutura da cidade e monitorar o seu desenvolvimento, a partir de uma análise rápida do processo de urbanização, além de possibilitar a identificação da densidade de formação e os padrões temporais e espaciais existentes (BALZEREK, 2002).

A utilização das imagens IKONOS II auxilia o processo de análise e monitoramento da urbanização e principalmente da direção da expansão urbana (BALZEREK, 2002). Demonstra também a utilidade e potencialidade para ser usada, por exemplo, para descobrir mudanças na construção das estruturas, densidades, tamanhos e formas de diversos elementos urbanos.

Com os índices de homogeneidade de espaço avaliados a partir da imagem IKONOS II e, a partir da avaliação dos tamanhos dos polígonos dentro de uma determinada classe, pode ser tentada uma aproximação para o desenvolvimento de análises quantitativas do tipo e das características da ocupação urbana, concluiu Balzerek (2002).

## QUESTÕES RELATIVAS À RESOLUÇÃO ESPECTRAL E ESPACIAL

Seria desmerecer, e até mesmo desacreditar, aqueles que contribuíram durante anos com os estudos e as aplicações de imagens orbitais voltadas aos estudos de planejamento urbano se iniciássemos essa abordagem sem tratar, em primeiro lugar, dos estu-

dos realizados durante aproximadamente duas décadas, que abriram as portas, sobretudo, chamando a atenção da comunidade científica para avaliações e observações das potencialidades das imagens orbitais como um suporte de altíssimo valor para os estudos e análises de planejamento urbano.

Niero *et al.* (1983, p. 1), desenvolveram considerações acerca das possibilidades do uso de técnicas de sensoriamento remoto orbital, pode fornecer subsídios para um planejamento mais racional de áreas metropolitanas em constantes alterações, destacando, no entanto, com base nos estudos desenvolvidos por Bruijn (1978), que um dos grandes problemas dos estudos urbanos com o uso de imagens de satélite encontra-se no fato da baixa resolução espacial apresentada pelos satélites existentes.

Hamburger (1993, p. 22), avaliou a importância da resolução espacial em estudos urbanos, esclarecendo:

A resolução espacial interfere principalmente de duas formas na exatidão de classificação da imagem. A primeira se a variação entre as características espectrais das classes no espaço de atributos não é grande, a resolução pode melhorar a exatidão de classificação, aumentar a precisão desta, entretanto, quando as classes são bem diferenciadas no espaço de atributos, possuindo grande sobreposição, o aumento da resolução tende a deteriorar as classificações.

Hamburger (1993, p. 23) chamou ainda a atenção para as cenas urbanas, nas quais as áreas a serem classificadas não são extensas e onde a variância da assinatura espectral das classes é muito grande. Se a classificação for baseada unicamente em dados espectrais torna-se bastante complexa da a mistura espectral que poderá ocorrer.

Em virtude da complexidade do ambiente urbano, os sensores com maior resolução espacial, ou seja, média resolução (TM e HVR e PAN – SPOT) integram a menor variedade de informações que o MSS, representando o ambiente urbano com maior fidelidade e facilitando a visualização de um maior número de detalhes (COSTA, 1996, p. 17).

Lombardo *et al.* (1996, p. 5) afirmaram que as técnicas de sensoriamento remoto e o uso de sistemas de informação geográficas, utilizadas de maneira integrada e associadas aos métodos convencionais de análise, podem ser definidas como um instrumento significativamente importante no planejamento urbano. Saliencia, ainda, que o estudo interno da cidade, relacionado aos padrões de uso do solo, possui restrições devido ao baixo poder de resolução espacial dos sistemas orbitais em uso. A afirmativa de Lombardo *et al.* (1996, p. 5) encontra-se embasada nos estudos desenvolvidos por Jensen (1983), Kurkdjian *et al.* (1989) Foresti (1978) e Hamburger (1993).

No Brasil, o número de trabalhos que utilizaram as imagens de alta resolução IKONOS II ainda é pequeno. Entretanto, podem-se destacar as iniciativas realizadas por Bias & Baptista (2002), e Bias *et al.* (2003), desenvolvendo estudos referentes à relação entre verde urbano e ilhas de calor.

A necessidade de uma melhor resolução espacial é levantada por Lombardo (1995, p. 179), baseando-se nos estudos intra-urbanos no Brasil, devido às características das construções urbanas.

Freitas (1997, p. 27) chamou a atenção para a diversidade da composição e do espaço intra-urbano, em que os alvos apresentam grande diversidade, como edifícios, shopping centers, loteamentos, praças, estacionamentos, favelas, asfalto, etc. Cada alvo possuirá uma assinatura espectral diferenciada. A reflectância de materiais normalmente encontrados em áreas urbanas, na faixa de 0,4 a 1,4  $\mu\text{m}$ , é apresentada na figura 1.

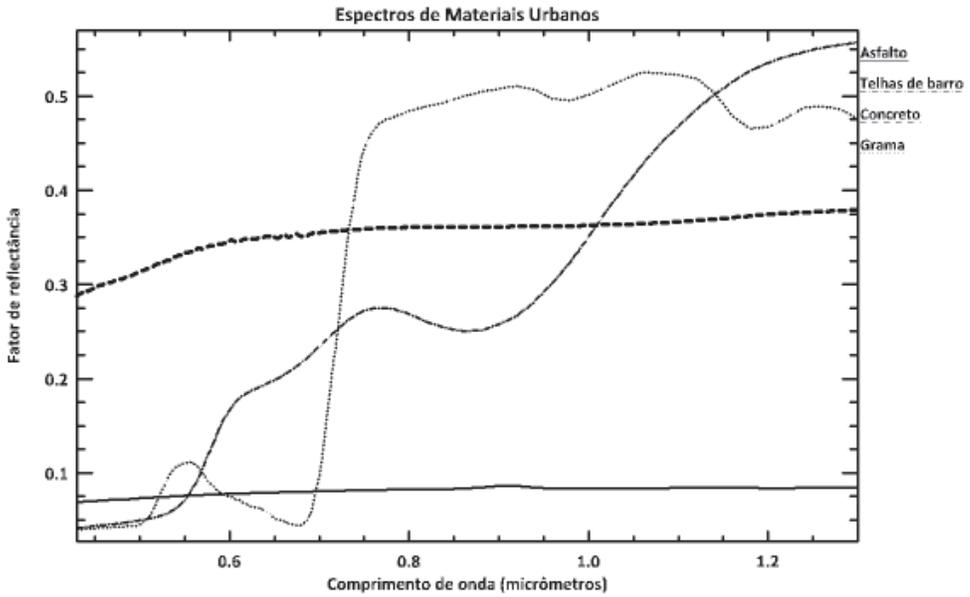


Figura 1a – Curvas Espectrais de Algumas Feições Urbanas

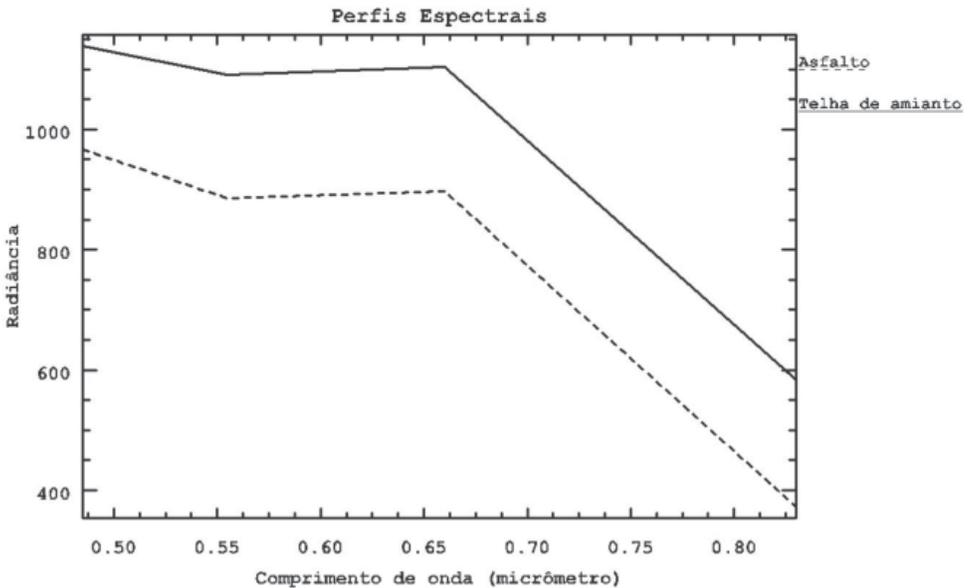
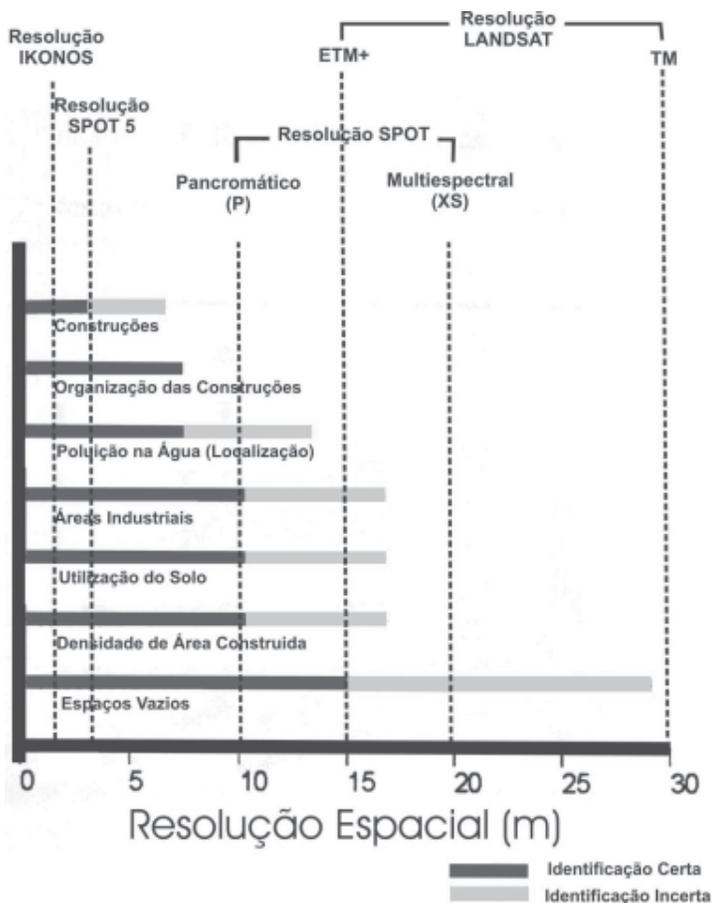


Figura 1b - Curvas Espectrais de Algumas Feições Urbanas

Quanto maior o nível de detalhamento que se quer obter no estudo do solo urbano, mais finas devem ser as resoluções, tanto espectral como espacial do produto a ser utilizado (KURKDJIAN *et al.*, 1989 apud FREITAS, 1997, p. 27).

Estudos referentes à resolução espacial em áreas urbanas também foram realizados por Robin (1995) apud Freitas (1997, p. 36) apresentando uma interessante comparação da resolução espacial na discretização de objetos com diferentes sensores no meio urbano (Figura 2). Foram acrescentados ao estudo de Freitas, resoluções de outros sistemas sensores para uma compreensão mais atualizada.



**Figura 2 – Gráfico de Resolução de Diversos Sensores**

Fonte: Freitas (1997) modificado por Bias (2002)

A avaliação das análises realizadas por diversos autores, entre os quais Gonçalves (2001, p. 6), enfoca que, embora os sensores de alta resolução ofereçam benefícios em termos da possibilidade de identificação de elementos individuais em áreas urbanas, como casas, arruamentos e outros, os dados podem ainda apresentar informações indesejadas, decorrentes da incidência solar no momento da captação da imagem. As considerações de

Gonçalves (2001) podem melhor ser entendidas, levando-se em considerações que alguns fatores influenciam na resposta espectral dos alvos, a saber, a relação geométrica entre a energia incidente e o ângulo de visada do sensor, os efeitos atmosféricos, as propriedades físicas dos materiais estudados e ainda as superfícies adjacentes, contribuem na medida do fator de reflectância do alvo estudado.

A preocupação de Gonçalves (2001, p. 6) traz à tona a necessidade de que tanto os usuários como a comunidade científica passem a se preocupar com o desenvolvimento e implementação de diferentes métodos de extração de informações, no sentido de obter o máximo benefício dos dados disponibilizados pelos novos sensores.

## ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para a aplicação do presente estudo foi a cidade satélite de Sobradinho-DF, que ocupa uma área de 569,37 km<sup>2</sup> e encontra-se situada a 22,1 km a nordeste de Brasília – Distrito Federal (Figura 3).

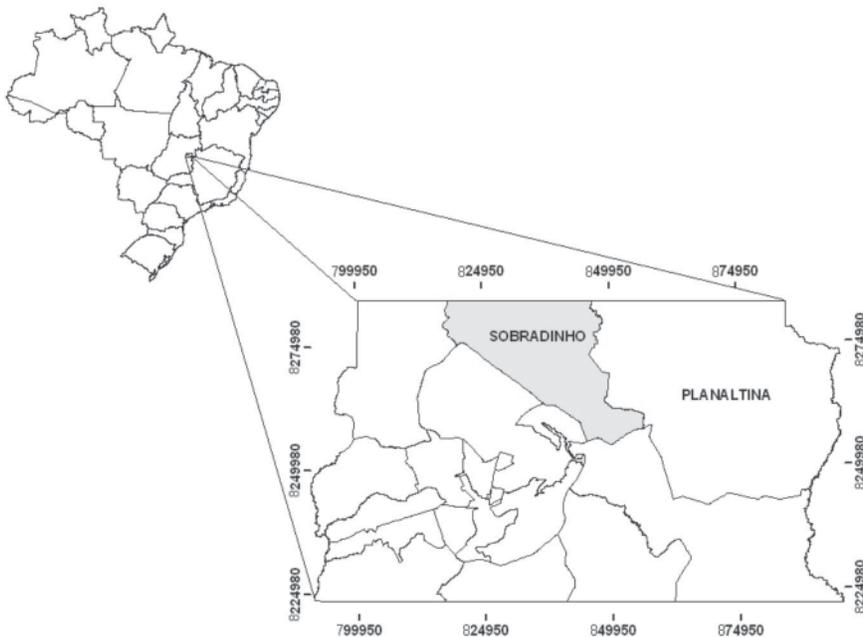


Figura 3 – Localização da Área de Estudo

## GERAÇÃO DO MAPA DO USO DA TERRA – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta metodológica para a estruturação do mapa de uso da terra foi efetuado com o objetivo de identificar 5 (cinco) classes funcionais a partir de análise espectral, utilizando-se métodos diferenciados. Foram investigadas as seguintes classes: asfalto,

residências individuais, residências coletivas, solo exposto, cobertura vegetal (gramíneas). A diferenciação entre as residências individuais e coletivas foi efetuada a partir da cobertura (tipo de telhado – barro ou amianto). Na região de estudo, as residências coletivas nunca apresentam cobertura de material de barro, e sim de amianto.

Para consecução dos objetivos foi utilizada uma imagem IKONOS Geo Ortho Kit color, adquirida da empresa Space Imaging, em formato GEOTIFF, com orbit (dados das efemérides do satélite para permitir a ortorretificação), 11 bits por pixel, resolução espacial 1 metro, tanto na banda pancromática como nas multiespectrais, ângulo de elevação 76,47°, adquirida em 12/06/2001.

Os métodos de classificação utilizados foram o **ISODATA** como procedimento de Classificação não Supervisionada; os algoritmos **SAM** (*Spectral Angle Mapper*) e **PPI** (*Pixel Purity Index*) que foram desenvolvidos para dados hiperespectrais, além do método clássico **MAXVER** (Máxima Verossimilhança). Todos esses algoritmos foram testados por meio do software ENVI 4.2.

A aplicação dos diferentes métodos de classificação encontra sustentação nas considerações de Anderson *et al.* (1979, p. 19-21), em que os autores afirmam não existir uma classificação única e ideal, da mesma forma que cada classificação é feita com o objetivo de atender a uma determinada necessidade de um usuário específico. E mais: na maioria dos processos de classificação dificilmente se identificam as classes que se deseja, muitas vezes levando os usuários a tomar decisões arbitrárias nas interpretações desenvolvidas.

O processamento utilizando o método da classificação não supervisionada **ISODATA** é, provavelmente, o mais conhecido, realizando a classificação e identificação de padrões de agrupamentos de pixels, também conhecidos por *clusters*. Esses padrões são identificados por meio de um vetor de médias e a classificação ocorre de forma interativa baseando-se no critério de mínima distância.

O outro método de classificação utilizado foi o da classificação supervisionada, sendo utilizado o método **Máxima Verossimilhança (MAXVER)** que é a classificação supervisionada mais utilizada no tratamento de dados de satélites e se baseia na probabilidade do pixel pertencer a uma determinada classe. A eficácia do método MAXVER depende, principalmente, da estimativa do vetor médio ( $m$ ) e da matriz de covariância ( $S$ ) de toda classe espectral. A quantidade de pixels incluídos para a amostra é fator determinante.

O método do **Spectral Angle Mapper (SAM)** compara o ângulo entre o espectro de referência, considerado como um vetor  $n$ -dimensional, onde “ $n$ ” é o número de bandas, e cada pixel da imagem, um vetor  $n$ -dimensional. Ângulos pequenos representam bons ajustes entre os dois vetores. O procedimento gera dois tipos de arquivos: a imagem SAM e as “*rule images*”. A imagem SAM é o resultado da classificação com uma cor predeterminada para cada “*endmember*” (espectro de referência). Já as “*rule images*” apresentam o ajuste dos ângulos para todos os pixels da imagem, sendo uma imagem para cada *endmember*.

O algoritmo **Pixel Purity Index (PPI)** (índice de pureza do pixel) baseia-se num processo iterativo que busca definir quais os pixels que se apresentam sem misturas espectrais. Nesse trabalho a imagem foi processada utilizando-se a composição das componentes principais da imagem, sendo implementado com 10.000 (dez mil) interações.

Para a realização dos testes de confecção do mapa de uso da terra foi selecionada uma área dentro do ambiente urbano em estudo, que apresentasse a maior diversidade de feições espectrais para a otimização dos testes propostos (Figura 4).

Como se pode observar na Figura 5, foram criadas áreas de treinamento representativas das classes de asfalto (verde), residências individuais – telhas de barro (azul), residências coletivas – telhas de amianto (amarelo), solo exposto (vermelho), cobertura vegetal – gramíneas (ciano).



**Figura 4 – Área selecionada para testes**

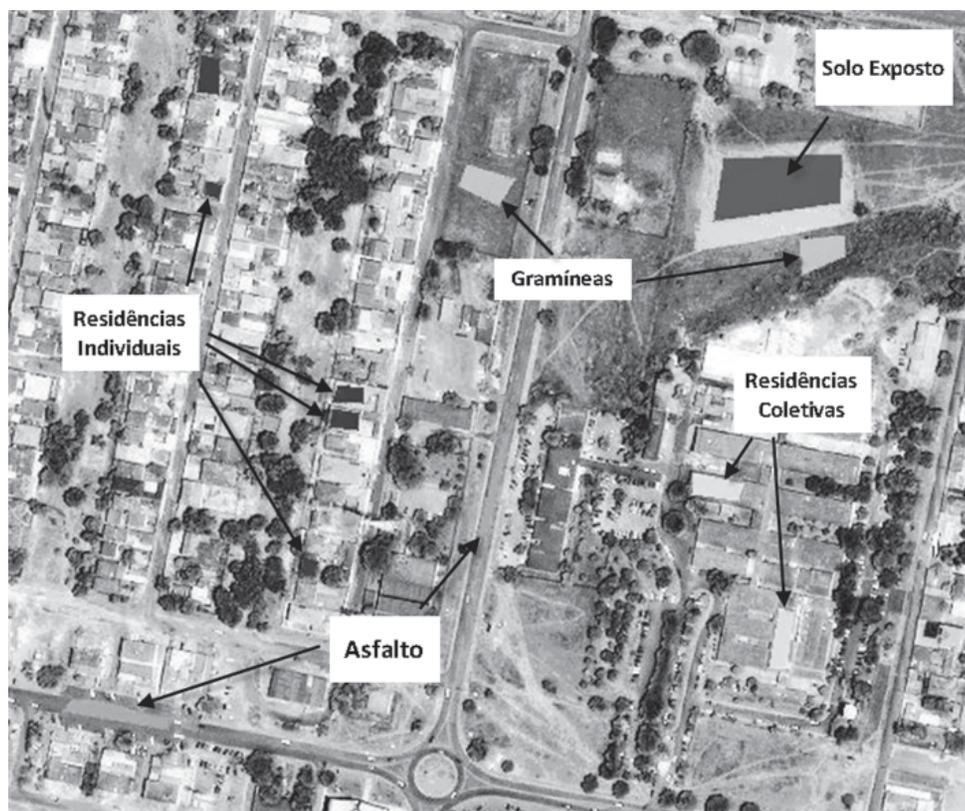


Figura 5 – Seleção de feições para classificação

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado obtido pelo método PPI é apresentado na figura 6. Pode-se observar na geração do PPI uma significativa resposta espectral da malha viária.



**Figura 6 – PPI – Índice de pixel puro**

Após a transformação e detecção dos pixels puros, os mesmos foram exportados para um procedimento de visualização n-dimensional que visa à identificação de nuvens de pixels que apresentem mesmas respostas espectrais nas quatro bandas do sensor. A visualização n-dimensional dos pixels é apresentada na figura 7. Nela pode-se observar uma maior concentração nos pixels (*cluster*) referentes ao solo exposto (vermelho).

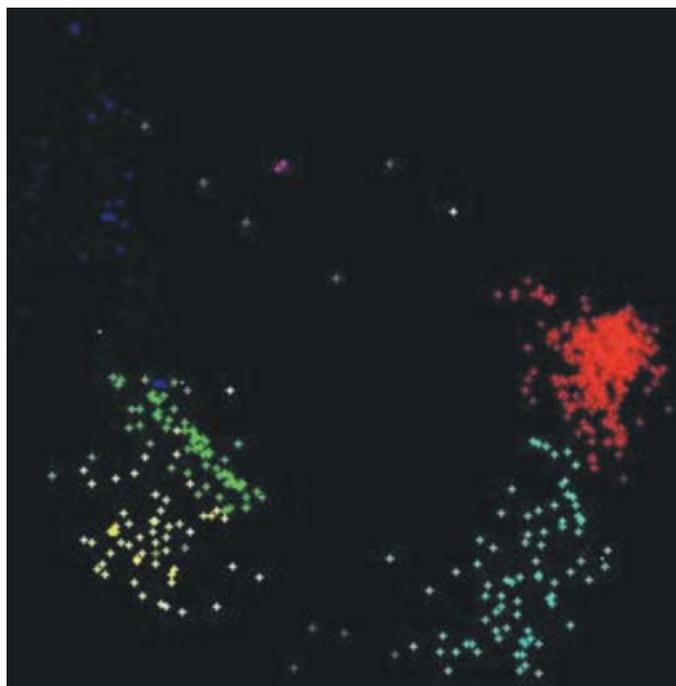


Figura 7 – Agrupamento de pixels 3D

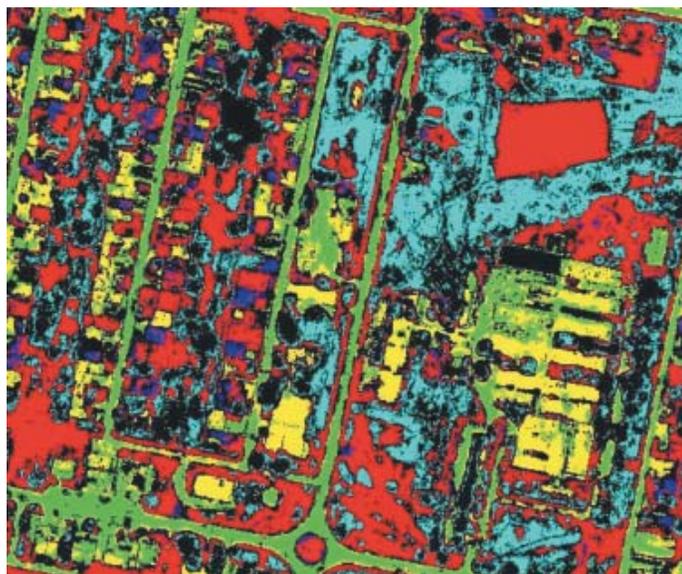


Figura 8 – Classificação pelo método SAM

A partir da rotação do modelo n-dimensional e posterior agrupamento das classes em cores diferenciadas, foi possível estabelecer os padrões existentes na cena e, por meio, do algoritmo *Spectral Angle Mapper* – SAM foi gerado a figura 8.

A classificação SAM, permitiu observar a mistura da resposta espectral do asfalto e das telhas de cimento amianto (Figura 1b), fato este que pode dificultar a discretização dos referidos alvos.

Foram ainda geradas outras duas classificações, figuras 9 e 10, por meio dos algoritmos ISODATA e MAXVER. No procedimento não supervisionado ISODATA, identifica-se uma mistura indiscriminada nas respostas espectrais dos diferentes alvos. Já a classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança - MAXVER demonstrou a melhor resposta na identificação dos alvos selecionados.

Apesar de a classificação MAXVER apresentar melhor agrupamento de classes, foi com a classificação SAM que a diversidade de respostas espectrais apresentou-se melhor.

Mesmos assim, observa-se uma misturas principalmente nas feições de solo exposto e telhas de barro. Outro fato observado nessa classificação é a resposta diferenciada para o solo exposto. Essa variação pode ser decorrente do efeito de borda, ou ainda da composição mineralógica do mesmo.

Considera-se que estudos mais aprofundados deverão ser realizados para identificação dessa anomalia.

As quatro classificações desenvolvidas possibilitaram o entendimento de diversos aspectos relativos as respostas espectrais em imagens IKONOS II.

Um dos primeiros aspectos avaliados foi a dificuldade apresentada na classificação, pois, em alguns casos, encontram-se as alvos diferentes com a mesma resposta espectral (solo exposto e telhada de barro), e alvos semelhantes com respostas espectrais diferentes, como é o caso do solo, discutido quando da análise da classificação MAXVER.

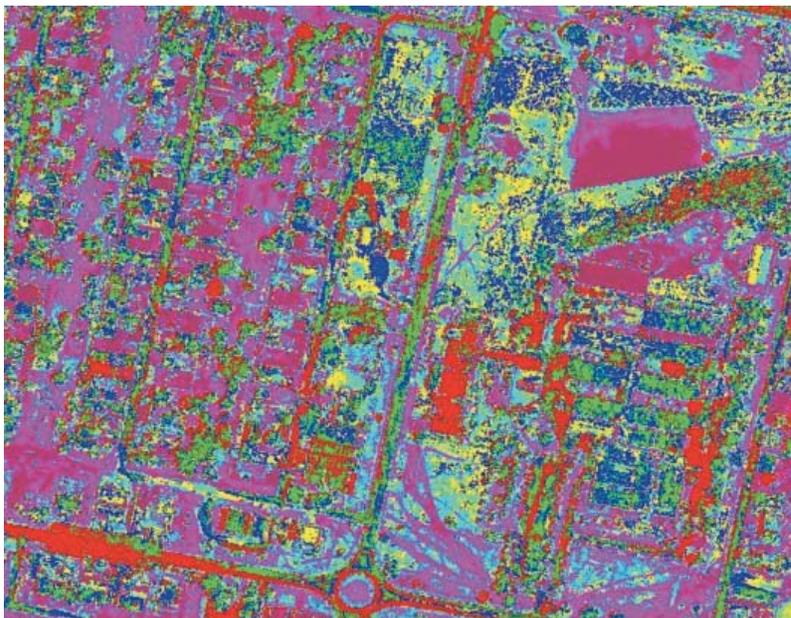


Figura 9 – Classificação não supervisionada (ISONDATA)

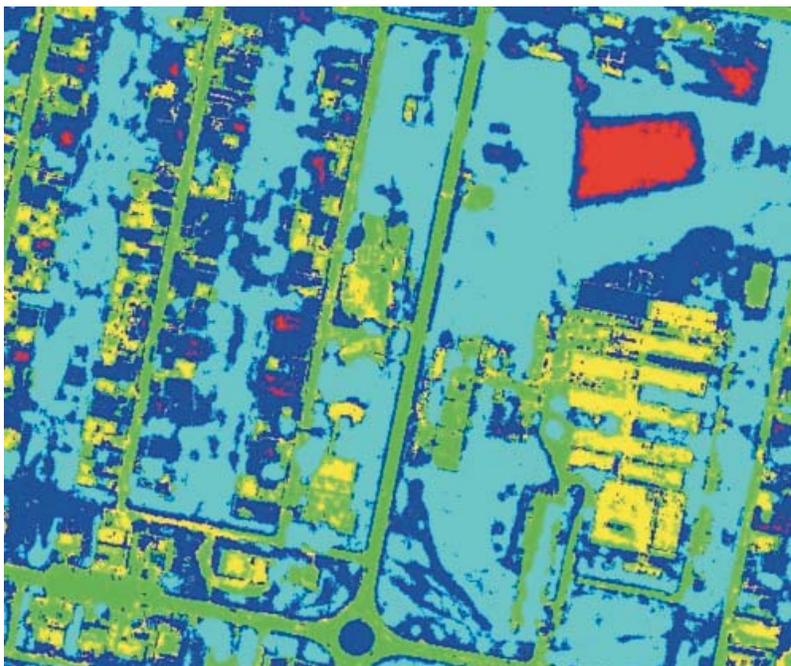


Figura 10 – Classificação MAXVER

No caso exemplificado na figura 11 (solo exposto e telhas de barro) a diferença entre as duas feições reside no processo de cozimento ou não da argila, suas respostas espectrais possuem pouca diferença. Outra mistura que merece destaque foi identificada com o solo exposto, que em algumas situações respondia de forma diferenciada. Essa anomalia já foi discutida nos parágrafos anteriores.

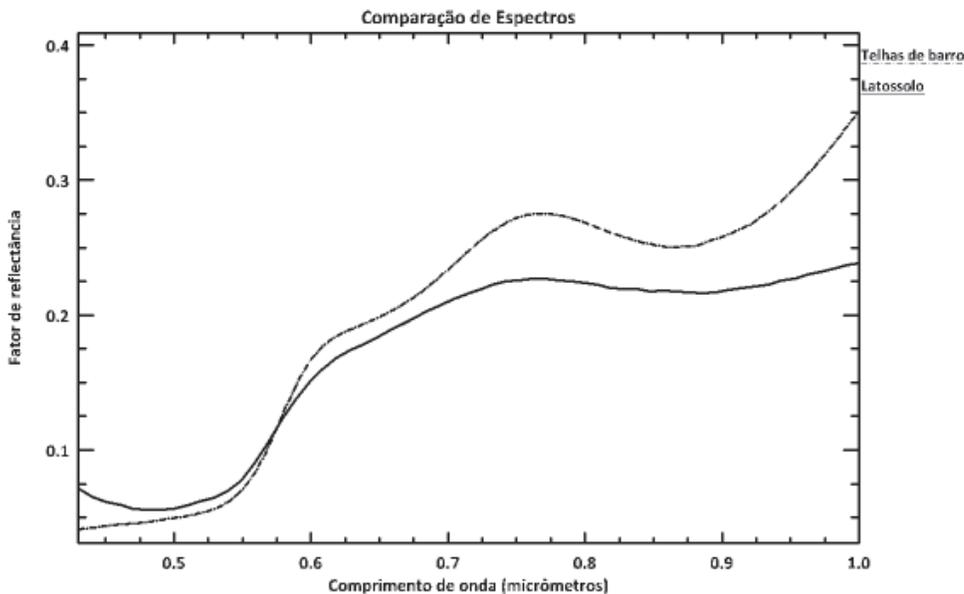


Figura 11 – Comparação de espectros de latossolo e telha de barro

Esses fatores fazem com que haja uma confusão para o classificador, mesmo quando se tenha efetuado a diferenciação dos alvos, no momento em que se realiza a seleção das áreas de treinamento que serão tomadas como base para a classificação.

Dentre os procedimentos utilizados para avaliar a exatidão dos dados gerados a partir de produtos temáticos, pode-se citar dois métodos. O primeiro consiste na análise dos erros de comissão e omissão, e o segundo, na aplicação do **Índice Kappa**. Ambos os processos utilizam uma matriz cruzada para integração e avaliação dos resultados.

No presente trabalho, optou-se pela não aplicação de um modelo de análise de exatidão, o que consideramos de grande importância para futuros trabalhos, em função da resolução espacial da imagem permitir uma avaliação visual das feições classificadas pelos diferentes métodos testados.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos estudos, leituras, análises e testes realizados no transcorrer da presente pesquisa foi possível concluir que as imagens de alta resolução espacial são efetivamente um produto que irá permitir, num futuro próximo, a gestão ambiental urbana, por meio de estudo e estruturação do monitoramento intra-urbano, de forma ágil e eficiente. Entretanto, foram identificadas algumas limitações que merecem as observações dos estudiosos para futuras pesquisas.

Os testes e análises realizados para geração de um mapa do uso da terra, por meio da imagem IKONOS II não demonstraram uma resposta compatível e de boa qualidade para análise e, principalmente, quantificação, em razão dos aspectos relativos às respostas espectrais de alguns alvos componentes do ambiente intra-urbano, apresentando como melhor classificação a de Máxima Verossimilhança (MAXVER).

Pode-se verificar que o grande desafio, para uma melhor utilização, será encontrar novos processos de classificação, constituídos não somente para avaliar as respostas espectrais, como também as formas, texturas e outros elementos. Sugere-se para melhorar a diferenciação de alvos em dados hiperespectrais, pesquisas associadas a processos de orientação a objetos, a lógica Fuzzy, geometria de fractais, videografia e a combinação de análises Fuzzy e de Fractais com as redes neurais.

A dificuldade encontrada na classificação – e que passa a influenciar a quantificação dos elementos classificados – deverá ser analisada com muito cuidado e rigor, pois poderá conduzir a resultados com valores quantitativos que não representam a realidade das feições classificadas.

Como os mapas de uso da terra são ferramentas importantíssimas para os estudos urbanos, pela possibilidade de espacialização, estabelecimento e organização das funcionalidades urbanas, não foi possível justificar a plena utilização das imagens IKONOS para geração desse produto, em razão das dificuldades de interpretação espectral.

## REFERÊNCIAS

ANJOS, R. S. A. dos. **Modelagem dos processos espaciais formadores da dinâmica urbana no Distrito Federal do Brasil**. 1995. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BALZEREK, H. **Applicability of IKONOS – Satellite Scenes Monitoring, Classification and Evaluation of Urbanisation Processes in Africa. Case Study of Gombe/Nigéria**. Disponível em: <<http://www.rzuser.uni-heidelberg.de/~bu1/sfb/d1/regensb/balzerek.htm>> Acesso em: 20 abr. 2002.

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M. Utilização de imagens de alta resolução espacial na análise do verde urbano como ferramenta ao planejamento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL EM CENTROS URBANOS, 4., Florianópolis, 2002. **ECOURBS 2002**. CENTROSUL: 2002. p. 52 - 53.

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M.A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados LANDSAT e IKONOS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XI. Belo Horizonte, 2003. **XI SBSR**. UFG: 2003. p. 1741 – 1748.

CECCATO, V.A. **Proposta metodológica para avaliação da qualidade de vida urbana a partir de dados convencionais e de sensoriamento remoto, Sistema de Informações Geográficas e Banco de Dados Relacional**. 1994. 137 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 1994.

COSTA, S.M.F. **Metodologia alternativa para o estudo do espaço metropolitano, integrando as tecnologias de SIG e sensoriamento remoto: aplicação à área metropolitana de Belo Horizonte**. 1996. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

FREITAS, M.A. **O uso de imagens de satélite na análise dos padrões de verticalização em áreas metropolitanas: estudo de caso**: São Paulo. 1997. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - FFCL – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

GONÇALVES, L.; FONSECA, A.M.; CAETANO, M.: **Exploração de imagens de alta resolução do satélite IKONOS**. Disponível em <http://cnig.igeo.pt/cdi/Portugues/html/esig2001/papers/esig41.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2002.

HAMBURGER, D.S. **Utilização de informações derivadas de características textuais de imagens orbitais na definição de classes de uso do solo urbano**. 1993. 122 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 1993.

KURKDJIAN, M.L.N.O. **Um método para a identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de sensoriamento remoto, com vistas ao planejamento urbano**. 1986. 158 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

KURKDJIAN, M.L.N.O. Integração de Imagens SPOT Multiespectral e Aerofoto Pancromática para Estudo do Uso do Solo Urbano. In.: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 4. 1989, Bariloche. **IV Simposio Latino Americano de Percepcion Remota**. Bariloche: 1989. p. 414-421.

LOMBARDO, M. A.; MACHADO, R. P. P.: Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas nos estudos urbanos. **Revista de Geografia**, Depto de Geografia, n. 10, São Paulo, 1996. p. 5-11.

NIERO, M.; FORESTI, C. **Uso do solo urbano da área metropolitana de São Paulo através da análise automática de dados LANDSAT**. São José dos Campos: INPE, 1983. 34 p.

OLIVEIRA, M.L.N.; FORESTI, C.; NIERO, M.; PARREIRAS, E.M.M.F. **Estudo da Evolução Urbana de Brasília através do Uso de Dados LANDSAT**. São José dos Campos: INPE, 1984. 26 p.

Recebido em agosto de 2007

Revisado em outubro de 2008

Aceito em outubro de 2008