

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS PARA DISCRIMINAÇÃO DE ÁREAS RESIDENCIAIS

D. S. Hamburger
I. M. Vieira

Pós-graduação em Sensoriamento Remoto
Instituto de Pesquisas Espaciais
Secretaria Especial da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP
BRASIL

RESUMO

O trabalho estabelece um procedimento metodológico para estudo do comportamento espectral de alvos urbanos visando uma melhor discriminação destes alvos para interpretação de imagens orbitais. Foram utilizados como áreas teste para o estudo, bairros residenciais na cidade de São José dos Campos-SP, selecionados por apresentarem organizações espaciais diferenciadas, que resultam em diferente composição de elementos específicos para cada bairro. O levantamento dos elementos constituintes de cada alvo e sua proporção na composição do mesmo foram feitas com base em fotografia aérea das áreas em questão. O procedimento envolve a estimativa de reflectância para alvos urbanos a partir da integração das medidas radiométricas dos elementos que constituem este alvo.

ABSTRACT

The study establishes a methodological proceeding to the understanding of the spectral behavior of urban targets aiming to achieve a better discrimination of these targets in orbital images. The chosen areas are in São José dos Campos, State of São Paulo. Two residential areas were selected because they had differences in their spatial organization, in the composition of the cover types elements that compound them. The elements that constitute each target and its proportion in the composition were stated through the analysis and interpretation of aerial photos. The methodology consists in estimating the reflectance of urban targets by integrating the radiometric measures of the elements that constitute each residential area.

1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é fazer medidas radiométricas em campo, de alvos que integrem uma área correspondente a uma janela de pixels de uma imagem SPOT, para relacioná-las com o sinal radiométrico fornecido pelo sensor do satélite.

Este trabalho procura avaliar a relação entre componentes radiométricos dos elementos presentes no alvo e os níveis digitais obtidos na imagem, verificando a significância deste tipo de experimento para estudos espectrais de alvos urbanos.

2. ALVOS URBANOS

A bibliografia disponível sobre a utilização de dados de sensoriamento remoto para estudos urbanos pode ser dividida, em um primeiro momento, pela sua abordagem intra ou inter urbana. Grande parte dos estudos desenvolvidos estão voltados para estudos de área de expansão urbana e tem como principal preocupação a delimitação de área urbana e área não urbana. (COSTA, 1989). A abordagem que discute a caracterização intra urbana, tem como principal técnica de trabalho, a utilização de fotos aéreas. JENSEN (1983), afirma que fotografias aéreas verticais são o principal instrumento de sensoriamento remoto para aplicações urbanas. A utilização de fotos aéreas possibilita a identificação de feições a partir de aspectos espaciais e texturais devido à alta resolução espacial que pode ser obtida.

Talvez, isto explique em parte, a inexistência de estudos extensivos publicados sobre as características de reflectância de alvos urbanos. (STAENZ e ITTEN, 1982) e (FORSTER, 1984).

O estudo do comportamento espectral de alvos urbanos pode ser considerado de duas maneiras: a primeira, considerando como alvos urbanos, os elementos constituintes deste ambiente, tais como: asfalto, concreto, telhas, etc. A outra forma

de se estudar o comportamento espectral de alvos urbanos é considerando como alvos determinados tipos de ocupação, tais como: residencial, (uni ou multi-familiar), industrial, etc. FORSTER (1981), apresenta a questão dos alvos mistos no ambiente urbano.

Alvo urbano: considera-se neste trabalho como alvo urbano, a composição de diferentes materiais (naturais e artificiais) que compõe uma determinada área urbana. Então, dados espectrais de um determinado tipo de alvo urbano podem ser obtidos de maneiras diferenciadas: à nível de campo, à nível de aeronave e à nível orbital.

À nível orbital, deverá ser feita uma calibração (específica para cada sensor e seu modo operacional), para corrigir o efeito das variáveis intervenientes nos valores de níveis digitais obtidos visando convertê-los em radiância e/ou reflectância.

Os dados espectrais, obtidos então à nível orbital, limitam-se à resolução espectral de cada sensor. No caso do SPOT, estes dados podem ser obtidos para a banda do verde, vermelho e infravermelho, ou numa única faixa do espectro, relativa ao canal pancromático.

Cabe ressaltar as limitações existentes para a obtenção dos dados espectrais de alvos urbanos em cada nível de aquisição.

1. Nível de campo:

1.1. As medidas radiométricas feitas em campo para um alvo urbano, consideram apenas uma parcela de cada elemento componente do alvo, em consequência do FOV do radiômetro e da altura em que são feitas as medições.

1.2. Devido às dificuldades de se medir grandes proporções de cada elemento, várias medições devem ser efetuadas em locais distintos dentro do alvo em questão, visando obter então uma média representativa deste elemento.

1.3. Para medidas de cobertura (telhado) não serão consideradas possíveis inclinações existentes, por serem as amostras de telhas arranjadas e medidas no solo, devido às dificuldades de se medirem as telhas sobre as casas.

1.4. Medidas de vegetação serão insatisfatórias devido à impossibilidade de se medir com eficiência os diferentes tipos de cobertura vegetal presentes num alvo urbano : copa de árvores, canteiros e arbustos residenciais, etc.

1.5. A integração dos dados obtidos de cada elemento de alvo urbano é calculada sobre uma proporção estimada aproximada para cada elemento, resultando em aproximações, nunca em resultados exatos.

2. Nível de aeronave:

Para este tipo de medida radiométrica, os resultados obtidos são muito mais significativos que o anterior, visto que neste caso a área do alvo é tomada como um todo, fazendo-se desnecessário o cumprimento das várias etapas do item anterior. Ainda assim é necessário, neste caso, que se pondere a questão da interferência atmosférica.

3. Nível orbital:

As limitações para o uso de sensores orbitais na obtenção de medidas radiométricas (dados espectrais) de alvos urbanos estão nas dificuldades muitas vezes encontradas para fazer a transformação dos níveis digitais em reflectância.

A análise destes três processos é feita para tentar compatibilizar os níveis de aquisição, de modo que dados espectrais de campo ou aeronave possam ser comparados com informações obtidas a nível orbital para uma melhor discriminação e mais fácil entendimento de alvos urbanos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Etapas

O trabalho foi desenvolvido a partir da escolha de áreas urbanas 385

representativas na imagem a fim de possibilitar a correspondência desta mesma área em fotografias aéreas, onde foi feita a análise dos componentes dos pixels devido à sua escala mais apropriada. Para que fosse possível fazer a comparação da resposta espectral média de uma área urbana numa imagem, com seu correspondente no solo alguns procedimentos foram adotados:

3.1.1. Foram identificados os pixels referentes à área de estudo (tantos quantos necessários para cobertura de uma área significativa - 100 pixels para cada alvo) numa imagem digital, e obtidos dos mesmos as informações referentes ao seu nível digital gerando a média para cada área de estudo. O material utilizado para este trabalho foi uma imagem digital XS (nos 3 canais multiespectrais).

3.1.2. As áreas correspondentes aos pixels na imagem foram analisadas sobre fotografias aéreas para que fossem visualizados com maior eficiência os elementos que fazem parte da composição dos mesmos e foi estimada então a proporção, em área, de cada elemento (concreto, vegetação, etc.). A fotografia aérea da região que foi utilizada é de escala 1:10.000.

3.1.3. As medidas radiométricas dos elementos que compõem a janela de pixels foram feitas em campo exatamente nas áreas correspondentes da imagem. A medida de campo foi integrada de acordo com a área real referente ao elemento na região estudada.

3.1.4. As informações integradas foram analisadas nas faixas do espectro relativas às bandas da imagem do SPOT (verde, vermelho e infravermelho), que foi utilizada na obtenção dos níveis digitais.

Serão considerados então, como referência, a composição média dos pixels, observados na fotografia e a radiometria de seus componentes.

Assim, os dados radiométricos dos elementos presentes na área definida foram coletados em campo, e

integrados conforme a proporção correspondente de cada elemento na composição da área de estudo.

Com base neste procedimento foi avaliada a diferença das respostas espectrais de janelas de pixels referentes às áreas urbanas residenciais distintas pelo tipo de ocupação, presença e proporção dos elementos que constituem essas áreas.

3.2. ÁREAS TESTES:

As áreas amostrais foram selecionadas na cidade de São José dos Campos e definidas, com base nos diferentes tipos de ocupação residencial.

3.2.1. Área residencial unifamiliar classe alta: Jardim Apólo, bairro residencial unifamiliar classe A. Caracteriza-se por casas de padrão alto com taxa de ocupação moderada, arruamento de asfalto, e vasta arborização.

3.2.2. Área residencial unifamiliar classe média baixa: bairro residencial Vila Maria. Caracteriza-se por casas pequenas, arruamento de asfalto e/ou paralelepípedo, arborização quase inexistente e taxa de ocupação relativamente alta com alguns pontos de comércio e serviço local.

3.3. METODOLOGIA DE COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

3.3.1. Dados radiométricos de campo:

Para cada área de estudo selecionada foram identificados elementos considerados representativos na resposta espectral de alvos urbanos, através da porcentagem dos mesmos na composição dessas áreas.

Basicamente, os elementos encontrados para as duas classes residenciais foram:

- Para o Jardim Apolo: telha de barro, vegetação, terrenos baldios, asfalto e cimento.

- Para a Vila Maria: telha de barro, asfalto e paralelepípedo, cimento e vegetação.

Foi feita então, a avaliação da proporção dos elementos presentes nas áreas selecionadas da seguinte maneira:

1. Através de fotografia aérea na escala 1:10.000 foi colocada uma grade em transparência e a estimativa da proporção de cada elemento foi feita através da seguinte relação:

$$\frac{n^{\circ} \text{ de células do elemento}}{n^{\circ} \text{ total de células}} \quad (1)$$

Estimadas as proporções, procedemos as medidas radiométricas de campo para cada elemento, gerando para cada um deles seu fator de reflectância correspondente.

2. Para cada elemento, a medida radiométrica foi efetuada em três áreas diferentes, visando obter uma medida significativa de cada elemento, sendo cada medida, a média de quatro medidas efetuadas automaticamente pelo SPECTRON. Para cada medida radiométrica de um elemento, é efetuada consecutivamente a medida radiométrica da placa de Sulfato de Bário (BaSO₄). Essa medida indica a intensidade do fluxo radiante incidente sobre o alvo, ou seja, como a placa é uma superfície refletora, considera-se que ela representa a irradiância incidente sobre o alvo. Assim sendo, obtida essa medida podemos calcular o fator de reflectância para cada elemento em questão, através da relação:

$$\frac{\Phi_r}{\Phi_i} = \frac{\text{Medida do alvo}}{\text{Medida da placa}} \quad (2)$$

3. Gerados então 3 fatores de reflectância para cada elemento, obtém-se um valor médio para estes valores através da relação:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (3)$$

E o valor médio é calculado por comprimento de onda.

4. Como o intuito deste trabalho é prover informações que sejam condizentes e comparáveis às informações geradas pelo SPOT para a mesma área, gerou-se uma nova média de valores. Essa média visou obter um único valor de reflectância de dado elemento para cada uma das três bandas do SPOT. Essa medida corresponde às reflectâncias dos elementos nos comprimentos de onda das três bandas XS do SPOT.

Foram selecionados então os comprimentos de onda que se referiam a cada uma das bandas do SPOT e obteve-se a \bar{f}_{xBi} /banda através da seguinte relação:

$$\bar{f}_{xBi} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{f}(x_j)}{n} \quad (4)$$

i variando de 1 a 3 (SPOT)
 onde: \bar{f}_{xBi} reflectância média para o elemento x na banda i
 n nº de comprimentos de onda envolvidos na relação

5. Feito isto, cada valor médio obtido através do item 4 é multiplicado por sua proporção (referente à participação no alvo), que esta resposta espectral possui dentro do conjunto total dos alvos urbanos em questão.

$$\bar{f}_{xAuBi} = p(x) \bar{f}_{xBi} \quad (5)$$

i = 1, 2, e 3
 \bar{f}_{xAuBi} reflectância média do elemento x no alvo urbano para a banda i
 p(x) proporção de x no alvo urbano

6. Para que se conheça o valor médio integrado de reflectância dos alvos urbanos estudados, faz-se a somatória de \bar{f}_{xAuBi} (obtidos em 5) de todos os elementos que compõe o alvo urbano

$$\bar{f}_{AuBi} = \sum \bar{f}_{xAuBi} \quad (6)$$

onde \bar{f}_{AuBi} valor de reflectância média do alvo urbano para a banda i
 \bar{f}_{xAuBi} reflectância média do elemento x ponderada em relação à

reflectância do alvo urbano na banda i

7. Obtem-se então, a partir destes passos, três valores médios de reflectância para cada alvo urbano, referentes às três bandas do SPOT.

Esses valores são plotados num gráfico e são comparados com os níveis digitais da imagem já citada, cujo procedimento de aquisição é descrito a seguir.

3.3.2. Aquisição dos níveis digitais médios da imagem SPOT para Jardim Apolo e Vila Maria.

Para se conseguir esta informação foram utilizados os recursos "Lê pixel" e "Cálculo de parâmetros estatísticos" implementados no SITIM.

3.3.2.1. Com o apoio de fotografia aérea, as regiões da Vila Maria e Jardim Apolo foram definidas com precisão na imagem digital.

3.3.2.2. Através da função Lê pixel, foram tirados valores de níveis digitais de uma amostra de cada alvo urbano (correspondente a 100 pixels para cada bairro). Foi retirado o nível digital médio para cada bairro. Este procedimento foi efetuado para cada banda do SPOT.

3.3.2.3. O resultado desses procedimentos gerou valores médios de níveis digitais para os dois alvos urbanos correspondentes às três bandas.

Esses valores são plotados num gráfico para prover uma maior visualização da variação dos níveis digitais nas diferentes bandas.

Como resultado, esses procedimentos geraram valores médios de níveis digitais para os dois alvos urbanos correspondentes às três bandas.

Essa metodologia foi adotada para verificar a relação entre a reflectância dos elementos que

compõe os alvos urbanos, ponderados pela área que eles ocupam num determinado alvo (tipo de ocupação) com os valores da radiância aparente, medidos pelo sensor para este mesmo alvo.

4. RESULTADOS OBTIDOS: DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os resultados da reflectância estimada e os valores médios dos níveis digitais para cada um dos alvos, em cada uma das bandas utilizadas.

Os resultados obtidos são preliminares. Em uma primeira análise é possível avaliar a distribuição geral destes resultados em relação aos níveis digitais médios de cada alvo.

TABELA 1
VALORES OBTIDOS A PARTIR DAS MEDIDAS
RADIOMÉTRICAS
(REFLECTÂNCIA MÉDIA)

| BAIRRO | BANDA 1 | BANDA 2 | BANDA 3 |
|--------------|---------|---------|---------|
| JARDIM APOLO | 9,27% | 12,94% | 25,47% |
| VILA MARIA | 12,84% | 18,47% | 24,73% |

VALORES MÉDIOS DOS NÍVEIS DIGITAIS

| BAIRRO | BANDA 1 | BANDA 2 | BANDA 3 |
|--------------|---------|---------|---------|
| JARDIM APOLO | 30,98 | 27,82 | 37,44 |
| VILA MARIA | 33,40 | 32,66 | 33,40 |

Quando são considerados os valores obtidos em cada banda para cada bairro são possíveis algumas comparações. A Vila Maria apresenta valores mais altos que o Jardim Apolo na banda 1 (verde) na reflectância estimada e no nível digital médio. Isto se deve provavelmente ao fato de a Vila Maria possuir maior quantidade de concreto que o Jardim Apolo, sendo este mais claro; calçamento de paralelepípedo ao invés de asfalto e à alta reflectância apresentada pelas telhas (elemento que ocupa a maior área neste alvo) no verde (O que foi verificado através da análise da assinatura espectral deste alvo). É a grande quantidade de telhas que explica também os valores mais altos encontrados para

a Vila Maria em relação ao Jardim Apolo na banda 2 (vermelho). Já no infravermelho esta relação se inverte (para a reflectância estimada e para o nível digital médio). A explicação para isto pode ser encontrada na maior porcentagem de vegetação no Jardim Apolo e na alta reflectância da vegetação no infravermelho.

A maior diferença encontrada foi na relação entre os valores obtidos nas bandas 1 e 2, que para os níveis digitais são maiores na banda 1 que na banda 2 e para as reflectâncias estimadas são maiores na banda 2 que na banda 1. A explicação para este resultado pode estar na amostra de vegetação utilizada (que foi considerada não representativa) que acarretou em valor de reflectância mais alto que o esperado na banda do vermelho e valor de reflectância mais baixo que o esperado na banda correspondente ao verde.

Como, por problemas operacionais, foi impossibilitada a transformação dos níveis digitais da imagem em reflectância para uma comparação direta com as medidas feitas em campo, uma análise mais consistente da tabela acima pode ser feita comparando-se as razões de contraste entre os valores obtidos de reflectância estimada e de níveis digitais médios. Isto pode ser feito, pois nos comprimentos de onda que compreendem as bandas em questão, a influência da atmosfera é multiplicativa e pode portanto, ser reduzida através da razão de contraste. Como a variação atmosférica se dá em função do comprimento de onda, foi utilizada a razão de contraste entre os valores obtidos para o Jardim Apolo e a Vila Maria nos comprimentos de onda relativos às bandas do SPOT.

Os valores obtidos na razão de contraste são apresentados na tabela 2.

TABELA 2
RAZÃO DE CONTRASTE ENTRE OS VALORES
OBTIDOS PARA OS ALVOS NAS TRÊS
BANDAS

| REFLECTÂNCIA ESTIMADA | | | |
|-----------------------------|---------|---------|--|
| JARDIM APOLO/VILA MARIA | | | |
| BANDA 1 | BANDA 2 | BANDA 3 | |
| 0,72 | 0,70 | 1,03 | |
| NÍVEIS DIGITAIS | | | |
| JARDIM APOLO/VILA MARIA | | | |
| 0,93 | 0,85 | 1,12 | |
| VARIACÃO ENTRE AS RAZÕES DE | | | |
| CONTRASTE NOS DOIS CASOS | | | |
| 22,58% | 17,65% | 8,04% | |

Frente as limitações envolvidas nesse trabalho, uma variação percentual máxima entre as razões de contraste dos níveis digitais e das reflectâncias estimadas de 22,58% foi considerada bastante satisfatória.

Ainda assim, como esta variação foi maior nas bandas 1 e 2, ou seja, nos intervalos espectrais onde a resposta espectral da vegetação medida em campo sofreu alterações, devido à sua própria configuração (as medidas radiométricas da vegetação sofreram alterações devido à grama seca), os cálculos foram refeitos considerando valores de reflectância da vegetação médios para cada banda, conforme a assinatura espectral típica de vegetação encontrada na bibliografia. Desta maneira, a reflectância média da vegetação considerada foi:

| BANDA 1 | BANDA 2 | BANDA 3 |
|---------|---------|---------|
| 15% | 10% | 50% |

Foram então refeitos os cálculos, mantendo-se todos os parâmetros anteriores. O resultado obtido é apresentado na tabela 3.

TABELA 3
RAZÃO DE CONTRASTE ENTRE OS VALORES
OBTIDOS PARA OS ALVOS NAS TRÊS
BANDAS (alterada a reflectância da
vegetação)

| REFLECTÂNCIA ESTIMADA | | | |
|-----------------------------|---------|---------|--|
| BANDA 1 | BANDA 2 | BANDA 3 | |
| JARDIM APOLO/VILA MARIA | | | |
| 0,91 | 0,72 | 1,27 | |
| NÍVEIS DIGITAIS | | | |
| JARDIM APOLO/VILA MARIA | | | |
| 0,93 | 0,85 | 1,12 | |
| VARIACÃO ENTRE AS RAZÕES DE | | | |
| CONTRASTE NOS DOIS CASOS | | | |
| 2,15% | 15,29% | 13,39% | |

Com esta pequena alteração, a variação percentual máxima entre as razões de contraste pode ser reduzida para 15,29%. Estas variações foram entendidas como bastante satisfatórias frente às limitações do presente trabalho.

V. CONCLUSÃO

Apesar das limitações que esse trabalho apresentou devido à impossibilidade de se considerar todas as variáveis que interferem na resposta espectral de alvos urbanos, os resultados alcançados apresentam coerência e significância.

Consideram-se entretanto esses resultados como preliminares em função da sua pouca representatividade quantitativa e qualitativa. Uma conclusão mais consistente careceria de uma maior precisão quantitativa e qualitativa de dados. Espera-se poder repetir este experimento efetuando as medidas radiométricas através de um radiômetro a bordo de uma aeronave, o qual fornecerá diretamente a resposta espectral de um dado alvo urbano.

Os resultados obtidos mostram a validade do experimento e incentivam a reformulação do mesmo, visando
 389 liminar possíveis distorções,

através de dados que provem com maior consistência o valor dos resultados obtidos.

Mediante os resultados apresentados podemos fazer as seguintes considerações:

1. Com relação a este estudo específico, os resultados obtidos indicam que características de ocupação se manifestam na resposta espectral. Estes resultados adquirem maior consistência quando baseados nos valores de reflectância gerados pela cobertura (telhas) e vegetação presentes na área em questão. Assim, a reflectância no vermelho, relacionada às telhas é um indicador da taxa de ocupação do solo e a reflectância no infravermelho e no verde, relacionada à vegetação, pode ser um indicador da qualidade ambiental.

2. Com relação à metodologia adotada, os resultados parecem indicar que é possível estabelecerem parâmetros viáveis para o estudo do comportamento espectral de alvos urbanos, baseados em tipos específicos de ocupação do solo.

3. Apesar das limitações existentes nesse trabalho comprometerem, em parte, os resultados obtidos, eles incentivam o aprofundamento deste tipo de estudo, em diferentes situações, com o objetivo de estabelecer mecanismos de monitoramento de uso e ocupação do solo urbano.

Observação: Na bibliografia consultada, a banda 3 do LANDSAT TM (vermelho) é referenciada como uma das melhores na delimitação de áreas urbanas e a explicação encontrada é o destaque da área urbana em função da vegetação no entorno que possui grande absorvância neste comprimento de onda. O trabalho indica que, ao menos em áreas residenciais, a utilização desta banda para delimitação de área urbana se justifica também pela presença de telhas, cuja alta reflectância nesta faixa do espectro aumenta o contraste em relação a áreas vegetadas.

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 . (no prelo).

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.Verbrugghe, 1981, p.569-578.

FORSTER, B.C. Principle and rotated components analysis of urban surface reflectance. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51 (4):475-477, Ap. 1985.

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.

STAENZ, K.; ITTEN, K.I. Reflective properties of asphalt and concrete surfaces. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE LA COMMISSION VII DE LA SOCIETE INTERNATIONALE DE PHOTOGRAMMETRIE, Actes, V.1., Toulouse, France, 13-17 Sep., Societé Internationale de Photogrammetrie et Teledetection, 1982, p.307-316.