Caderno de Estudos Geoambientais
CADEGEO

SENSORIAMENTO REMOTO E ALGUMAS APLICAÇÕES

Remote Sensing and some Applications

Sandra Fernandes de Andrade [1]

[1] Departamento de Geografia/ Polo Campos dos Goytacazes/ Universidade Federal Fluminense – UFF

Introdução

Este artigo tem como objetivo apresentar uma breve revisão sobre temas importantes relacionados ao Sensoriamento Remoto. Alguns recursos disponíveis como softwares e imagens de satélite, têm sido mais comumente utilizados em aplicações de estudos ambientais. O que requer conhecimento de conceitos e técnicas utilizadas relacionadas ao tema. As imagens Landsat 7 ETM+, por exemplo, podem ser combinadas em muitas possibilidades de opções de processamento e tratamento de imagens. As técnicas de processamento digital de imagens (PDI), além de permitirem análise de imagens nas várias regiões do espectro eletromagnético, também possibilitam a integração de vários tipos de dados. Algumas técnicas que podem ser usadas na fase de classificação favorecem a distinção entre alvos, tais como, Análise de Componentes Principais e o Modelo Linear de Mistura. A segmentação é uma técnica que pode auxiliar na classificação, este procedimento antecede a classificação, dividindo a imagem em regiões espectralmente homogêneas, facilitando a identificação dos alvos.

Palavras-chave: Processamento Digital; Imagens de Satélite; Classificação Digital.

Abstract

This article aims to present a brief review of important issues related to Remote Sensing. Some features available as software and satellite imagery, have been most commonly used applications in environmental studies. This requires knowledge of concepts and techniques related to the topic. The Landsat 7 ETM +, for example, can be combined in many possible options for processing and imaging. The techniques of digital image processing (DIP), and allow image analysis in the various regions of the electromagnetic spectrum, also enable the integration of various data types. Some techniques that can be used in the classification stage, favor the distinction between targets, such as principal component analysis and linear mixing model. Segmentation is a technique that can help to classify this procedure prior to classification, dividing the image into spectrally homogeneous regions, facilitating the identification of targets.

Keywords: Digital Processing; Satellite Images; Digital Classification.

Correspondência:
Sandra de Andrade
Universidade Federal Fluminense – Departamento de Geografia – Polo Campos dos Goytacazes - Rua José do Patrocínio, 71, Centro, Campos dos Goytacazes, CEP.: 28010-385 – RJ, Brasil.
Email: sandra_andrade@id.uff.br

Recebido em maio de 2011
Aprovado em julho de 2011
Artigo disponível em
www.cadegeo.uff.br

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta uma descrição sucinta dos principais fundamentos do sensoriamento remoto e tem como objetivo uma breve revisão sobre temas relacionados. Atualmente existe, a disponibilidade de uma infinidade de diferentes tipos de sensores e imagens de satélites, assim como, técnicas de processamento digital. Contudo este trabalho enfatiza algumas aplicações que podem facilitar à classificação de imagens sensíveis a radiação eletromagnética.

Os elementos da aquisição dos dados são fontes de energia, com a interação dos elementos e da energia existentes na atmosfera, retransmissão da energia que excita os sensores remotos que por sua vez, dependendo da tecnologia empregada, atuam de forma digital. Em seguida, ocorre o processo de análise e interpretação das imagens obtidas com auxílio de bases cartográficas, estatística, verdade de campo, sistemas de informação geográfica (SIGs). Depois de compiladas todas as diversas fontes de dados são transformadas em informações úteis; geralmente na forma de mapas impressos ou tabelas que podem ser manipuladas em Sistemas de Informações Geográficas. Finalmente as informações são disponibilizadas a usuários que as aplicam na tomada de decisões.

PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DO SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como uma tecnologia que permite a obtenção de dados da superfície terrestre, através da captação e registro de energia refletida ou emitida. A figura 1 ilustra o processo que envolve a energia solar incidindo sobre a superfície terrestre, onde parte desta energia é absorvida, interagindo com os elementos da superfície, e parte é refletida e captada pelo sensor (JENSEN, 1996; FLORENZANO, 2002).

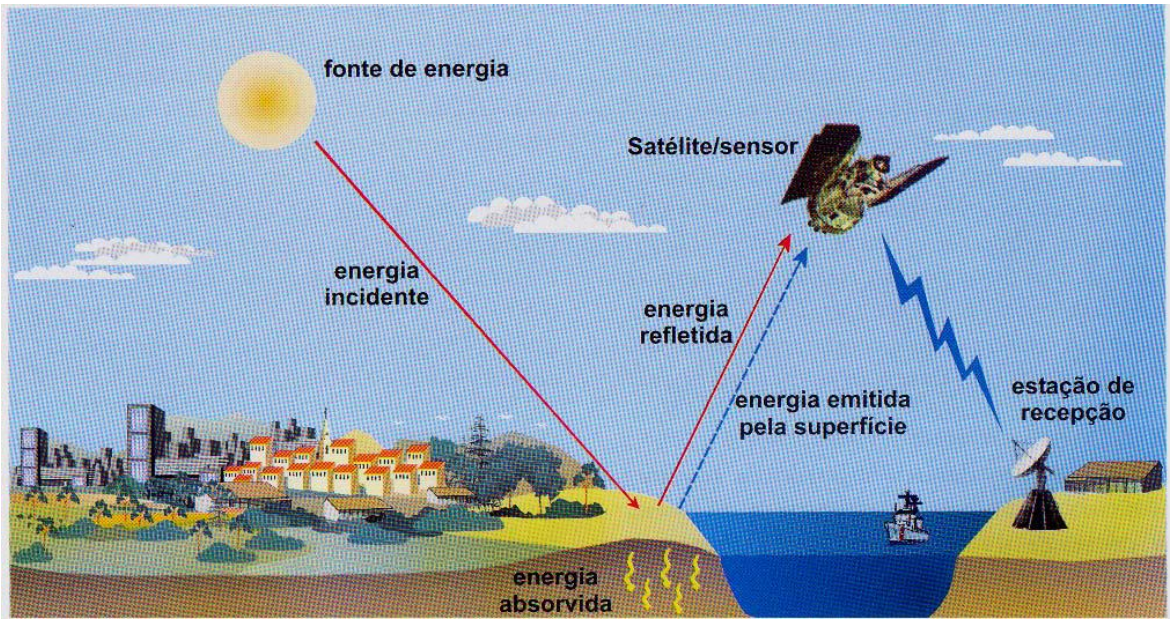


Figura 1. Obtenção de imagens por sensoriamento remoto a nível orbital (Fonte: Florenzano, 2002, pág.09).

Os elementos que estão envolvidos no processo de aquisição de dados são (CCRS, 1998):

- fontes de energia: o primeiro requisito para o sensoriamento remoto é existir uma fonte de energia que ilumina ou fornece energia;

- a propagação de energia pela atmosfera: como a energia incide de sua fonte ao alvo, entrará em contato e irá interagir com a atmosfera por onde passa. Esta interação pode ocorrer novamente, quando a energia for refletida do alvo até o sensor;

- interações de energia com a superfície terrestre: atravessando a atmosfera, a energia interage com o alvo. O resultado desta interação dependerá das propriedades do alvo e da radiação e

- registro da energia pelo sensor: depois da energia ter sido refletida ou emitida pelo alvo, é necessário um sensor (remoto, ou seja, sem contato com o alvo) para coletar e registrar a radiação eletromagnética.

Em resumo, os sensores captam dados, a partir da interação da radiação eletromagnética com objetos e fenômenos existentes na superfície. Esses sinais são transformados em sinais eletrônicos que vão para as estações de aquisição de dados. Os dados registrados são transformados em diferentes dispositivos para a interpretação, através de diversos processos de tratamento de imagem, resultando em informação sintetizada, por exemplo, na forma de gráficos, tabelas ou imagens. Finalmente, a informação é apresentada aos usuários finais, que podem aplicá-la, em pesquisa na área da saúde, planejamento urbano, meio ambiente, entre outros (AVERY; BERLIN, 1992). Os sistemas de aquisição de dados podem ser ativos ou passivos: os primeiros independem da energia emitida pelo sol como, por exemplo, os sistemas de microondas e de radar, que registram a diferença de intensidade entre o sinal emitido por eles e o sinal recebido da superfície; os segundos registram a energia eletromagnética oriunda do sol, refletida ou emitida pela superfície terrestre, como, por exemplo, as câmaras fotográficas (CÂMARA *et al.*, 1996).

A radiação eletromagnética, que é a energia utilizada pelos sensores remotos, além de abranger regiões do visível, a faixa de comprimento de onda onde o olho humano consegue obter sensação de cor (Tabela 1), abrange também faixas do espectro eletromagnético, que o olho humano não consegue perceber (Figura 2) (FLORENZANO, 2002; CRÓSTA, 1997).

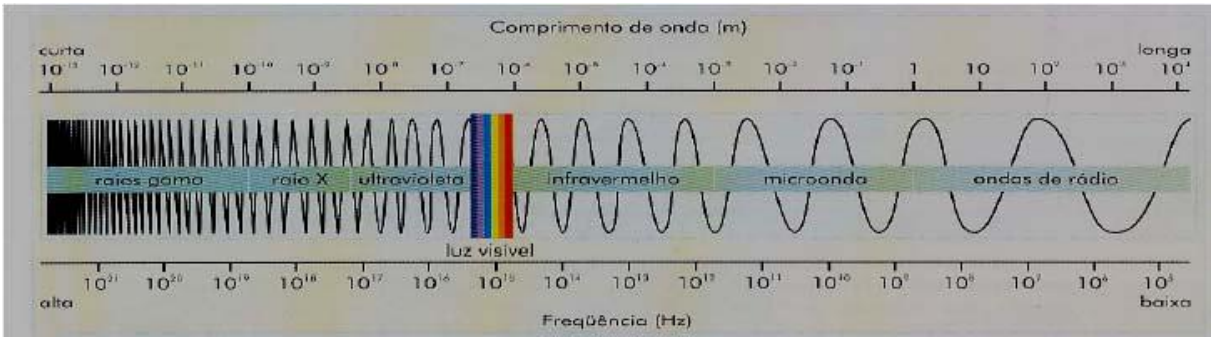


Figura 2. Faixas do espectro eletromagnético desde os raios gama até as ondas de rádio, mostrando a faixa do visível entre 0,4 e 0,7µm e a faixa do infravermelho entre 0,7 e 3µm (MSSL, 2000 *apud* Florenzano, 2002, pág.11).

Tabela 1. Relação de cores e faixas espectrais na região do visível.

Cor	Comprimento de onda
	Micrômetro (µm)
Violeta	0,40 a 0,446
Azul	0,446 a 0,500
Verde	0,500 a 0,578
Amarela	0,578 a 0,592
Laranja	0,592 a 0,620
Vermelha	0,620 a 0,700

Fonte: Moreira, 2005.

Cada alvo interage de forma diferenciada com a REM (radiação eletromagnética) conforme suas propriedades físico-químicas. As propriedades vão definir as assinaturas espectrais dos alvos, que servirão como referências para o desenvolvimento de estudos em sensoriamento remoto. As assinaturas dos alvos são representadas através das curvas de reflectância espectral. A figura 3 representa a curva do comportamento espectral de diferentes alvos ao longo do espectro eletromagnético e serve para orientar a escolha de regiões, ou intervalos de comprimento de onda, a serem utilizados para determinadas aplicações em sensoriamento remoto. Observando a curva da vegetação, na faixa do visível, verifica-se a maior absorção da REM nas porções de comprimento de onda correspondentes ao azul e ao vermelho, ao mesmo tempo em que na porção verde a radiação é refletida, causando ao olho humano a sensação visual da cor verde (CRÒSTA, 1997).

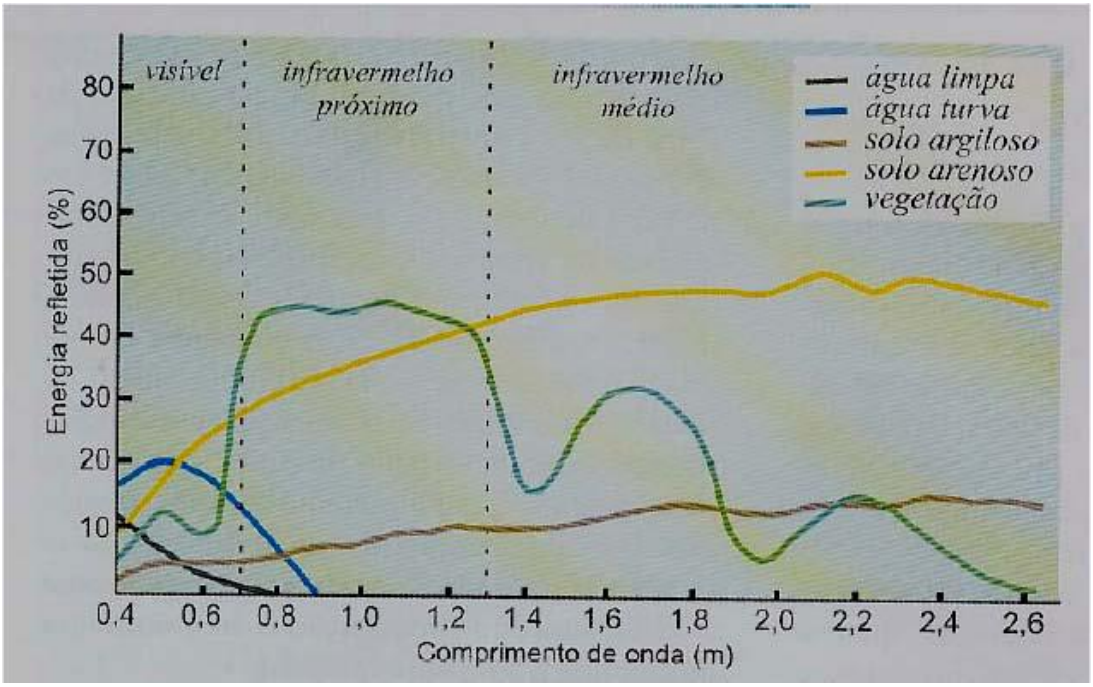


Figura 3. Reflectância espectral de alvos. (Fonte: Florenzano, 2002, pág.12).

As imagens provenientes da aquisição de dados dos sensores remotos são compostas por elementos de cena chamados *pixels*. A imagem produzida por *pixels* – imagem matricial ou *raster* – é representada por uma matriz onde o cruzamento das linhas e das colunas define as coordenadas espaciais de cada *pixel.* Esse sinal é escalonado em níveis discretos de intensidade (conhecidos como DN, *digital numbers*, ou BV, *brightness values*, ou ainda, NC, níveis de cinza) traduzindo a resolução radiométrica do sensor. Dessa forma, cada *pixel* receberá um valor de nível de cinza, que representa a média das respostas espectrais do(s) alvo(s) existente(s) naquele *pixel*. (NOVO, 1992).

Resolução de uma imagem, em um sentido geral, refere-se à habilidade do sensor registrar e exibir detalhes mais apurados (CAMPBELL, 1996). Ela tem sido considerada segundo quatro características, que, em conjunto, determinam o custo e a qualidade do resultado final: são elas, a resolução radiométrica, a espectral, a espacial e a temporal. A resolução radiométrica é o número de níveis discretos de intensidade de energia eletromagnética que o sensor é capaz de capturar. Quanto maior o número de níveis de intensidade, ou níveis de cinza, maior e mais fina será a resolução radiométrica. A resolução espectral é o número de intervalos de comprimentos de onda para o qual um sensor é sensível. Quanto mais estreitos são os intervalos de comprimento de onda e maior for o número de bandas, mais fina e maior será a resolução espectral. A resolução espacial é a capacidade de identificar objetos na superfície abrangida pelo *pixel* (Figura 4). Quanto menor a área coberta pelo *pixel*, maior será a resolução espacial. Assim, dependendo da resolução espacial do sensor, e da estrutura da área que está sendo imageada, uma imagem digital engloba regiões de *pixels* puros e *pixels* misturados. A resolução temporal é dada pela freqüência de aquisição de dados pelo sensor. Quanto maior a freqüência, maior será a resolução temporal (JENSEN, 1996; NOVO, 1992).

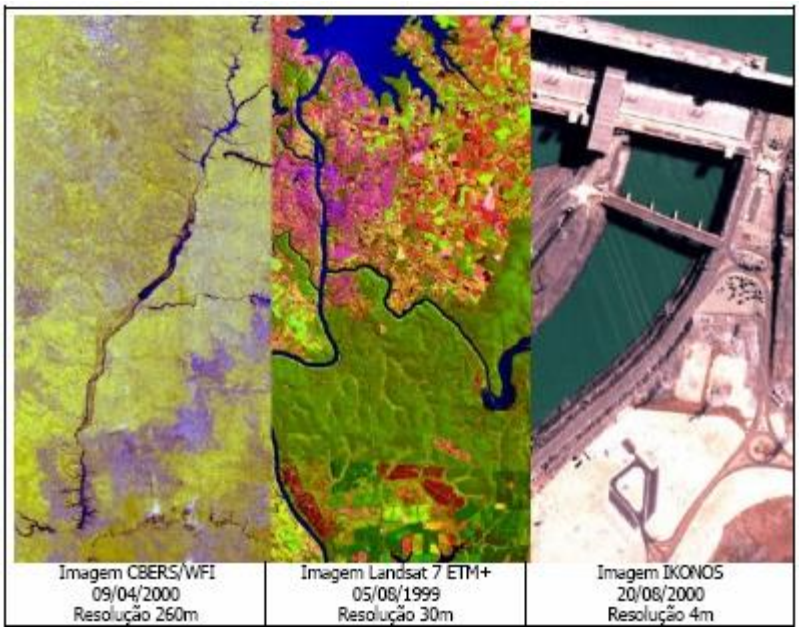
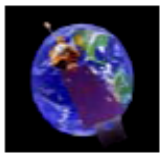


Figura 4. Comparação entre resoluções espaciais: (CBERS/WFI), (Landsat 7 ETM+) e (IKONOS) (Fonte: INTERSAT, 2002).

Sensores a bordo de satélites permitem realizar medidas multitemporais relativas a grandes áreas, durante períodos de tempo que chegam há décadas. Muitos sensores são transportados em satélites em órbitas próximas dos pólos e sincronizadas com o sol, para cruzar sempre o Equador na mesma hora solar, atingindo uma cobertura global e uma geometria de iluminação consistentes. Este é o caso dos satélites da série Landsat e SPOT e do NOAA/AVHRR. O intervalo de repetição varia entre esses satélites, dependendo de sua altitude e velocidade. Outros sensores são transportados em satélites geoestacionários, com o propósito de prover uma grande frequência de cobertura de uma mesma região, como por exemplo, os satélites

meteorológicos da série GOES (CÂMARA *et al.*, 1996). A Tabela 2 resume as características de alguns satélites: os meteorológicos GOES (EUA) e METEOSAT (Europa); o satélite de aplicação híbrida NOAA (EUA); os satélites de recursos naturais Landsat (EUA), SPOT (França) e CBERS (Brasil/China); os satélites de alta resolução espacial IKONOS (EUA) e QuickBird (EUA); e o satélite TERRA (EUA) com sensor de alta resolução MODIS e o ASTER.

Tabela 2: Características de alguns sensores[1]

Satélite	Altitude	Sensor	Resolução				Largura da faixa
			Espectral (µm)	Espacial	Radiométrica	Temporal	
NOAA 15 [1]	970 km	AVHRR	0,58-0,68 0,78-1,10 3,55-3,93 10,30-11,30 11,50-12,50	1,1km	10 bits 1024 NC	6 horas	2.700km
GOES 11 [2] 	35.000km	VAIN	0,65 3,90 6,70 11,00 12,00	1km 13,8km	8 bits 256 NC	15 minutos	Até 1/3 da superfície terrestre
LANDSAT 7 [3]	705km	ETM+	0,45-0,52 0,53-0,61 0,63-0,69 0,75-0,90 1,55-1,75	30m	8 bits 256 NC	16 dias	185 km
			10,4-12,5	60m			
			2,09-2,35	30m			
		PAN	0,52-0,90	15m			
SPOT 4 [4]	832km	HRV-IR	0,50-0,59 0,61-0,68 0,79-0,89 1,58-1,75	20m 10 e 20m 20m	10 bits 1024 NC	26 dias ou até 2 dias	60km
		PAN	0,51-0,73	10m	6 bits 64 NC		
		VEGETATION	0,61-0,68 0,78-0,89 1,58-1,75	1,16km	10 bits 1024 NC		2.250km
		HRV-IR	0,43-0,47 (oceanografia)	20m			60km

[1] Sites: http://www.noaa.gov/[1] ; http://www.noaa.gov/[2] ; http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/lands[3] ; http://www.spot.com/[4] ; http://www.cbers.inpe.br/at.html[5] ; http://www.spaceimaging.com/[6] ; http://www.digitalglobe.com/[7] ; http://asterweb.jpl.nasa.gov/[8a] ; http://lpdaac.usgs.gov/modis/overview.asp[8b] .

Continuação

CBERS 1 [5]	778km	CCD	0,45-0,52 0,52-0,59 0,63-0,69 0,77-0,89	20m	8 bits 256 NC	26 dias ou até 3 dias	120km
		PAN	0,51-0,73				
		IR-MSS	1,55-1,75 2,08-2,35 0,50-1,01	80m		26 dias	
			10,4-12,5	160m			
IKONOS II [6]	680km	WFI	0,63-0,69 0,76-0,90	260m		3 dias	900km
		MSS	0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	4m	11 bits 2048 NC	1,5 dias	13km
		PAN	0,45-0,90	1m		3 dias	
QUICKBIRD II [7]	450km	Multispectral	0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	2,44 m	11 bits 2048 NC	1 a 3,5 dias	16,5km
		PAN	0,45-0,90	0,61m			
TERRA [8]	705km	ASTER[8a]	3 bandas entre 0,5-0,9	15m	8 bits 256 NC	1 a 4 dias	60km
			6 bandas entre 1,6-2,5	30m			
			5 bandas entre 10,4-12,5	250 a 1000m	12 bits 4096 NC		
		MODIS[8b]	36 bandas	250 a 1000m	12 bits 4096 NC		2.330km

Fonte: Florenzano 2002; INTERSAT, 2002.

As imagens geradas pelo Landsat 7 ETM+, entre os satélites de média resolução (15 a 30 metros) que estão disponíveis no mercado, apresentam uma boa relação entre custo/benefício. Este satélite foi lançado no ano de 1999, com um novo sensor a bordo, denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), cuja operação em órbita é realizada pela NASA (National Aeronautics and Space Adminnistration) (NASA, 2005).

Tabela 3. Principais aplicações vinculadas às bandas Landsat 7 ETM+.

Banda	Intervalo espectral (µm)	Principais características e aplicações das bandas TM do satélite LANDSAT-5
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos d'água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides).
2	(0,53 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos d'água.
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação. Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata de galeria dos cursos dos rios e em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a manchas urbanas. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos d'água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta também sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais, para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto e para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas. Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.
8 (PAN)	(0,52-0,90)	É boa na identificação de alvos de interesse tanto em área rural como urbana. Pode ser trabalhada para ampliação da escala de até 1: 25000.

Fonte: NASA, 2005.

A imagem Landsat 7 ETM+ possui 8 bandas espectrais que podem ser combinadas em muitas possibilidades de composições coloridas e opções de processamento e tratamento de

imagens, a tabela 3, mostra as principais aplicações vinculadas às bandas. Este sensor é interessante para a geração de imagens de satélites com aplicações diretas para escalas de até 1: 25.000, mesmo em grandes extensões territoriais, como ocorre no Brasil (NASA, 2005).

PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

As técnicas de processamento digital de imagens (PDI), além de permitirem analisar uma cena nas várias regiões do espectro eletromagnético, também possibilitam a integração de vários tipos de dados. A obtenção das informações espectrais registradas pelos sistemas nas diferentes partes do espectro eletromagnético, visando à identificação e discriminação dos alvos de interesse, depende principalmente da qualidade da representação dos dados contidos nas imagens. Técnicas de processamento digital disponíveis em programas como SPRING e o IDRISI V.1402, por exemplo, se adaptam muito bem as imagens produzidas por sensores multiespectrais.

As técnicas de processamento de imagens digitais podem ser classificadas em três conjuntos: técnicas de pré-processamento, técnicas de realce e técnicas de classificação. As técnicas de pré-processamento referem-se à transformação de dados digitais brutos em dados corrigidos radiométrica e geometricamente (NOVO, 1992).

A técnica de realce de imagens digitais consiste em procedimentos aplicados para melhorar a qualidade visual. Um dos tipos de realce mais utilizados é a ampliação do contraste de feições da cena, ou seja, aos níveis de cinza mais baixos são atribuídos valores mais próximos de zero (tonalidades mais escuras) e aos mais altos, valores mais próximos de 255 (MOREIRA, 2005).

O processo de composição colorida é uma técnica que também ressalta os alvos existentes na imagem. As cores que percebemos de fato, denominadas de luz visível, estão representadas numa parcela do espectro eletromagnético, que se estende de 0,4 µm (400nm) a 0,7 µm (700nm) aproximadamente (Figura 5), e representam espectralmente as três cores primárias aditivas, azul (B), verde(G) e vermelho(R) respectivamente.

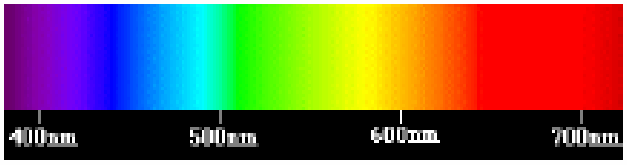


Figura 5. Espectro dos comprimentos de onda da luz visível (Fonte: Bruton, 2000).

No modelo RGB, a produção de uma cor C, a partir de cores primárias aditivas pode ser definida pela equação:

$$C = r.R + g.G + b.B \quad (1)$$

Onde R,G,B são as cores primárias e r,g,b são os coeficientes da mistura, que, no caso das imagens digitais, é dada pela quantidade de energia refletida pelos objetos, que vai determinar a sua representação, nessas imagens, em diferentes tons de cinza, entre o branco (energia 100% refletida) e o preto (energia 100% absorvida). Portanto, variando-se a intensidade da cor, uma variedade de cores pode ser produzida pela adição de vermelho, verde e azul. Por isso elas foram chamadas de cores primárias aditivas. Um efeito complementar pode ser obtido pela subtração de vermelho, verde e azul da luz branca. Assim a subtração de vermelho produz ciano, subtração de verde produz magenta e subtração de azul produz amarelo. Ciano, magenta e amarelo foram chamadas de cores primárias subtrativas, cujas combinações, em diferentes proporções, também podem resultar numa gama imensa de cores (IBGE, 1999; FLORENZANO, 2000).

O espaço de cores conhecido por IHS é uma forma alternativa ao espaço RGB de representação de cores. No espaço IHS, as cores são definidas por três atributos e não por quantidade de cores primárias. Os atributos são: Intensidade (I), Matiz (H), Saturação (S). O matiz é a medida do comprimento de onda médio da luz, determinando a cor do objeto; intensidade é a medida da energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, responsável pela sensação de brilho; e, saturação, ou pureza, é o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio no qual a energia é refletida ou transmitida. Esse sistema é usado no processamento de imagens de satélite através de um processo de múltiplas etapas. Primeiro, são selecionadas três bandas de interesse, fazendo-se então o cálculo de matiz, saturação e intensidade, cálculos esses realizados por algoritmos matemáticos produzindo assim, três novas imagens (I', H' e S') representando intensidade, matiz e saturação. A segunda etapa envolve uma reversão dessas três imagens para as coordenadas RGB (R', G' e B'), essa transformação também é feita utilizando algoritmos matemáticos. O uso desta técnica em sensoriamento remoto pode ter dois resultados: composições coloridas com correlação interbandas, obtendo uma melhor utilização do espaço de cores, e combinações de diferentes tipos de imagens, que podem ter origens diferentes (CRÒSTA, 1992; JENSEN, 1996).

Algumas das técnicas que podem ser empregadas na fase de classificação, favorecendo a distinção entre alvos são a Análise de Componentes Principais e o Modelo Linear de Mistura. O método de Análise dos Componentes Principais (PCA) é uma transformação ortogonal de dados da imagem que produz um jogo novo de imagens (componentes), não correlacionadas, ordenadas de acordo com o conteúdo de informações que recuperaram das imagens originais. A aplicação da transformação por Componentes Principais tem como objetivo a redução da redundância espectral entre os dados das imagens multiespectrais (OLIVEIRA, 2005). Essa transformação produz imagens (CPs), onde o primeiro componente (CP1) contém o albedo e o sombreamento topográfico, sendo semelhante à imagem pancromática, enquanto que os demais CPs possuem, sequencialmente, menos informação e mais ruído (CRÓSTA, 1992).

O modelo linear de mistura tem como proposta decompor a imagem original em três componentes, pois, segundo Moreira (2005), um pixel, devido à resolução espacial dos sensores remotos, geralmente, é uma mistura de componentes. As imagens-fração podem ser utilizadas para a classificação da cobertura do solo, pela análise das proporções de cada componente nos pixels, fazendo uso da equação seguinte:

$$r_i = a * vegei + b*soloi + c*sombrai + ei \quad (2)$$

Sendo:

r_i = resposta espectral do pixel na banda i

a, b, c = proporções de vegetação, solo e sombra

veg_i , $solo_i$ e $sombra_i$ = as respostas espectrais de cada componente

e_i = o erro na banda i, em que o subscrito i é a banda considerada.

Nos modelos lineares de mistura espectral, a resposta de cada pixel de uma imagem é considerada uma combinação linear das respostas espectrais de cada componente existente na mistura. A proporção das componentes constituintes para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diferentes bandas de um sensor, geram imagens sintéticas relativas às frações de cada componente puro (SHIMABUKURO e SMITH, 1991).

A classificação das imagens de sensoriamento remoto tem como resultado um mapa temático da área imageada (CRÓSTA, 1992). As técnicas de classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto associam cada pixel da imagem a um "rótulo" representando um objeto real, tal como vegetação, solo, entre outros. Assim, os valores de níveis de cinza relacionados a cada pixel da imagem, definidos pela reflectância dos objetos que

integram cada pixel, podem ser identificados como: água, tipo de vegetação, solo, rocha, etc e podem ser intitulados como tema. (CRÓSTA, 1992; NOVO, 1992).

Existem dois processos de classificação de uma imagem digital, a classificação supervisionada e a classificação não-supervisionada. Na classificação supervisionada há uma interação entre o analista e a técnica, já que este define as classes e seleciona as amostras de treinamento, conjunto de pixels mais representativos das classes pré-estabelecidas. O processo deste tipo de classificação associa cada pixel a uma classe. Esse enquadramento pode ser feito por vários algoritmos de classificação, baseando-se nos valores de nível de cinza nas bandas utilizadas para fazer a classificação (IBGE, 1999).

Segundo as características espectrais dos pixels de uma imagem, a classificação não-supervisionada faz o agrupamento desses pixels, organizando-os em agrupamentos denominados clusters. Os parâmetros mais utilizados para definir os clusters são: a covariância, a média e a variância, que definem a proximidade (similaridade) dos pixels no espaço multidimensional. Os clusters são, portanto, classes espectrais. Esta é uma importante diferença da classificação supervisionada, já que nesta o analista primeiro define as classes que deseja separar, enquanto na classificação não-supervisionada o analista fornece apenas alguns parâmetros, como o número mínimo e máximo de classes escolhidas e o número de interações. O resultado das classes espectrais da classificação não-supervisionada pode, ou não, coincidir com as classes de interesse. Trata-se de uma operação exploratória para verificar o que é estatisticamente separável ou não, quais as classes mais evidentes e sua relação com o que se deseja discriminar (IBGE, 1999).

Segundo Bastos (2002) a segmentação é uma técnica que pode auxiliar na classificação, sendo um procedimento que antecede a classificação, dividindo a imagem em regiões espectralmente homogêneas. Algoritmos de segmentação permitem achar diferenças entre dois ou mais objetos, distinguir pixels contíguos e agrupá-los em regiões. Os algoritmos de segmentação para imagens são geralmente baseados em uma das seguintes propriedades básicas de valores de níveis de cinza: descontinuidade e similaridade. Na descontinuidade a abordagem é seccionar a imagem com base em mudanças bruscas nos níveis de cinza. Na similaridade as principais abordagens baseiam-se em limiarização e Crescimento de Regiões. Na limiarização analisamos a similaridade dos níveis de cinza da imagem extraindo os objetos de interesse através da seleção de um limiar T que separa os agrupamentos de níveis de cinza. Uma imagem limiarizada g(x,y) é definida como:

$$g(x,y)= \quad 1 \text{ se } f(x,y)\geq T \qquad\qquad 0 \text{ se } f(x,y)< T \tag{3}$$

Onde f(x,y) corresponde ao nível de cinza do ponto, os pixels rotulados com 1 correspondem aos objetos e os pixels rotulados com o correspondem ao fundo, e T é um valor de tom de cinza predefinido, denominado limiar.

Uma das dificuldades da "limiarização" de uma imagem é a melhor determinação do valor de "thresholding", ou seja, do ponto de separação dos pixels. A mais simples de todas as técnicas de limiarização é a do seccionamento do histograma da imagem por um limiar único T. A segmentação é então efetuada, varrendo-se a imagem, pixel por pixel, e rotulando-se cada pixel como sendo do objeto ou do fundo, dependendo se o nível de cinza daquele pixel for maior ou menor que T. O sucesso desse método depende inteiramente do histograma, que pode ser apropriado, ou não, para sofrer o seccionamento (BASTOS, 2002; Spring 4.1, 2004).

Assim como na Limiarização, na Segmentação orientada a regiões analisamos a similaridade dos níveis de cinza da imagem. Como seu nome implica, o crescimento de regiões é um procedimento que agrupa pixels ou sub-regiões em regiões maiores. A mais simples dessas abordagens é a agregação de pixels, que começa com um conjunto de pontos "semente" e, a partir deles, cresce as regiões anexando a cada ponto semente aqueles pixels que possuam propriedades similares (como nível de cinza, textura ou cor). A propriedade a ser usada para

incluir um pixel em uma das regiões é se a diferença absoluta entre o nível de cinza daquele pixel e o da semente é menor que um dado limiar T. A seleção de critérios de similaridade depende não apenas do problema em consideração, mas também dos dados (imagem) disponíveis. A análise de imageamento por satélite depende fortemente do uso de cor, um problema que poderia ser muito mais difícil de tratar se não houvesse imagens multiespectrais (BASTOS, 2002).

Além da classificação pixel a pixel, existe ainda a classificação por regiões. Segundo Moreira (2005) ela tem o objetivo de identificar e rotular, como uma classe, os polígonos que apresentam mesma similaridade de níveis de cinza através de segmentação. Sendo considerada um avanço, já que considera não apenas os níveis de cinza, mas sua distribuição, simulando a textura. Entre as opções de classificadores deste tipo estão o Bhattacharya e o Isoseg. O primeiro é um classificador utilizado na classificação supervisionada. O Isoseg é um algoritmo de agrupamento não supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões que foram caracterizadas por atributos estatísticos, como a matriz de covariância e a média, que serve para estimar o valor central de cada classe.

Bhattacharya é usado como classificador por regiões, para medir estatisticamente a separabilidade entre um par de classes espectrais, isto é, ele mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. Ele requer a intervenção do analista, através da criação de amostras de treinamento, formadas pelo processo de segmentação. O limiar de aceitação é uma restrição imposta pelo analista ao sistema, indicando a porcentagem de pixels de uma classe que será posteriormente classificada (MOREIRA, 2005). Este método obedece a seguinte equação:

$$b_{ij} = \frac{1}{8} * (mi - mj)^T * \frac{Ci + Cj}{2} * (mi - mj) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\frac{Ci - Cj}{2}}{\sqrt{|Ci| * |Cj|}} \right) \qquad (4)$$

Sendo:

m_i e m_j = vetores de médias das classes i e j;

C_i e C_j= matrizes de covariâncias das classes i e j;

T = a matriz transposta do determinante;

ln = o logaritmo neperiano.

Uma questão importante na classificação, que tem despertado atenção dos especialistas em sensoriamento remoto, é a avaliação da precisão da classificação. A lição a ser aprendida é baseada na expressão "uma classificação não está completa até a sua precisão ser validada". Um dos meios mais comuns de expressar a precisão de uma classificação é a preparação de uma matriz de erro de classificação (matriz de confusão). Matrizes de erro comparam, em uma categoria, a relação entre dados de referência conhecida (verdade do terreno) e os resultados correspondentes de uma classificação automatizada. Várias características sobre o desempenho da classificação são expressas através da matriz de erro. Uma vez coletados os dados de precisão em uma matriz de erro, eles normalmente estão sujeitos à interpretação detalhada e análise estatística (LILLESAND e KIEFER, 1994).

CONCLUSÃO

O Sensoriamento Remoto possibilita aplicações em inúmeras áreas: agricultura, geologia, recursos hídricos, estudo de solos, florestas, etc. O uso de imagens de satélite pode ser diretamente vinculado à avaliação, monitoramento e mapeamento eficientes de diversas áreas, como por exemplo, o gerenciamento e diagnóstico do comportamento e o potencial agrícola de uma região.

A aplicação de dados de imagens orbitais em redes e extração de dados vetoriais é uma das aplicações mais recorrentes em análise ambiental e urbana. Através de múltiplos processamentos é possível realçar informações de interesse e com ajuda de sistemas dedicados ao processamento de imagens, essas informações podem ser capturadas. Essas informações quando integradas em bases de dados vetoriais e manipuladas em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica, podem trazer respostas rápidas e fundamentais sobre os diversos elementos existentes na área de interesse.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVERY, T.E.; BERLIN, G.L. Forestry Applications. Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation. 5th ed. New York: Macmillian, p. 263-285, 1992.

BASTOS, V. P. Técnicas de Segmentação de Imagens para Recuperação de Informações Visuais. 2002. Disponível em: <http://atlas.ucpel.tche.br/~vbastos/>. Acesso em: 04/12/2005.

CÂMARA, G. C., M. A.; HEMERLY, A. S. Anatomia de sistemas de informação geográfica. Campinas: Instituto de Computação da UNICAM, 1996. p.193.

CAMPBELL, J. B. Introduction to remote sensing. New York: The Guilford Press, 1996. p.622.

CCRS. D. E. Tutorial on the Fundamentals of Remote Sensing. 1998. Disponível em: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/>. Acesso em: 25/04/2001.

CRÓSTA, A.P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Campina, São Paulo: IG/UNICAMP, 1992. p. 170.

CRÓSTA, A.P.; SOUZA, C.R. Sensoriamento Remoto. Anuário Fator Gis 97: o guia de referência do Geoprocessamento. Curitiba: Sagres, p.10-21, 1997.

FLORENZANO, T.G. Imagens de Satélites para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. p. 97.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. v. 9, 1999. p. 92.

INTERSAT. Sensores Remotos. Disponível em <http://www.intersat.com.br/>.Acesso em: 27/08/2002.

JENSEN, R. J. Introdutory digital image processing. New Jersey, 1996. p. 307.

LILLESAND, T. M.; KIEFER. Remote sensing and image interpretation. New York, 1994. p.750.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa, 2005. 313 p.

NASA. Disponível em: www.nasa.gov.com. Acesso em: 03/12/2005.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1992. p. 308.

OLIVEIRA, L. I. D. M.; CHAVES, J. M.; ROCHA, W. D. J. S. A. D. F. Discriminação de vegetação no município de Lençóis Chapada Diamantina -Bahia. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2005, Anais... Goiânia. Simpósio. 16-21 abril, 2005. p.4193-4200.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. Fraction images derived from Landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas. Canadian. Remote Sensing Environment. v. 21, p.67-74, 1995.

SPRING. INPE/DPI. Instituto Nacional Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. 2004. Disponível em <http://www.inpe.br/spring>. Acesso em: 10/04/2004.