

Estudo das possibilidades de monitoramento e detecção de objetivos de interesse de defesa utilizando imagens CBERS.

João Ricardo da Cunha Croce Lopes
SQN 111, bloco “B”, apto 606, 70754-020 Brasília, DF, Brasil.
croce@croce.ggf.br

Abstract. The use of image satellite to monitoring and detection objectives assure to the country that possess these national environment the autonomy of surveillance and reconnaissance for planning actions in locals of hard access or regions with low populations. The compatibility to act or react a facts or incidents quickly was test in this study. The free images of China Brazil Earth Resources Satellite allied to SPRING, free software, enable a grate tool for Brazilian govern and for all people how wants monitoring ours frontiers or helping with methods, dados and knowledge one planning or our country defense.

Keywords: remote sensing, monitoring, detection, defense, sensoriamento remoto, monitoração, detecção, defesa.

1. Introdução

“As informações, como conhecimento necessário à sobrevivência do homem, são tão antigas como ele próprio. Os erros cometidos em vista da falta ou do desuso de informações, somados às naturais e conseqüentes sanções, são antigos e alcançam nossos dias.” (Lopes, 2001).

O surgimento das imagens de satélite possibilitou, além da criação de um nível de percepção mais global, complementar as fotografias aéreas, os levantamentos de campo e a obtenção de informações de grandes extensões da superfície terrestre.

Com a publicação da Portaria Normativa Nº 447 do Ministério da Defesa, de 26 de abril de 2004, a qual dispõe sobre a Política de Sensoriamento Remoto de Defesa, verificam-se os seguintes pressupostos básicos:

- as imagens geradas por Sensoriamento Remoto asseguram ao Sistema de Inteligência de Defesa o monitoramento territorial das regiões brasileiras de difícil acesso ou das regiões caracterizadas por grandes vazios demográficos e/ou cartográficos;
- buscar autonomia nacional crescente, mediante contínua nacionalização de meios, nela incluídas pesquisa e desenvolvimento e o fortalecimento da indústria nacional, em harmonia com a Política de Defesa para a Área de Ciência e Tecnologia;
- o desenvolvimento das atividades relacionadas com Sensoriamento Remoto aperfeiçoará o Sistema de Inteligência de Defesa, proporcionando condições para se obter eficácia na produção de conhecimentos de Inteligência, mediante adequada integração das fontes humanas, de sinais e de imagens; e
- as atividades de Sensoriamento Remoto nas Forças Armadas são orientadas para atender às necessidades da Defesa Nacional.

Com base nos pressupostos apresentados acima, o estudo foi orientado a pesquisar se os conhecimentos levantados através de sensoriamento remoto (fontes do tipo imagem CBERS) e processados segundo uma metodologia específica, possibilitam o reconhecimento preciso de objetivos de interesse militar, e de que dimensão. Também foi pesquisado se a resolução temporal existente possibilita um monitoramento eficiente. Ou seja, é possível um “alerta antecipado”?

A necessidade e urgência de se conhecer e monitorar nossas fronteiras e missões de paz, em toda extensão do território nacional ou fora deste, faz com que este estudo seja de grande interesse, embora ainda necessite de pesquisas, visando o estabelecimento de rotinas e

procedimentos de integração a outros sistemas, para terem sua eficiência testada e comprovada.

2. Objetivo

O principal objetivo deste trabalho foi testar e discutir a eficiência e as limitações das imagens CBERS para a detecção e reconhecimento de objetivos de interesse militar, bem como a determinação do tempo de resposta para a detecção, tudo utilizando tecnologia nacional. As características das imagens utilizadas, a heterogeneidade dos objetivos, o intuito de executar o trabalho sem custo algum (software livre e imagens disponíveis), aliado à determinação da resolução temporal, constituíram-se num desafio para o método empregado.

3. Material

Através de contato pessoal e meios eletrônicos foram adquiridas as seguintes imagens:

- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>), onde foram adquiridos os dados sobre os sensores do satélite CBERS2 e também as seguintes imagens: órbita ponto 157/117 (Formosa - GO), órbita ponto 153/126 (Guaratinguetá - SP), órbita ponto 152/125 (Resende - RJ), órbita ponto 151/126 (Rio de Janeiro - RJ) e órbita ponto 152/126 (Angra dos Reis - RJ);

- Centro de Informações Geográficas do Exército (CIGEx), onde foram adquiridas as imagens do satélite SPOT, para comparação, órbita ponto 722/396 e órbita ponto 720/395, além das cartas digitais;

- Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo (CISCEA) do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), onde foram adquiridas as seguintes imagens: RADAR de abertura sintética (SAR) da aeronave EMB 145 R-99B – Guaratinguetá na banda “L” polarização “HH”, “HV”, “VH”, “VV” e na banda “X” na polarização “HH”, nas resoluções espaciais de 06 (seis) e 03 (três) metros.

- Empresa Space Imaging, imagem das usinas nucleares de Angra dos Reis.

- Fotografias aéreas com as respectivas características e órgãos fornecedores para comparação.

Tabela 1 – Algumas das fotografias aéreas utilizadas

Data	Fonte	Objetivo	Scanneada	Avaliação	Dados da câmera
18 Jul 99	RAF	Art Cmp	Art 155 Lvtr	DETECTOU	3000 Ft / 153,30 mm
18 Jul 99	RAF	L Vtr	L Vtr	DETECTOU	3000 Ft / 153,30 mm
18 Jul 99	RAF	Art otomelara	Otomelara	DETECTOU	3000 Ft / 153,30 mm
20 Out 02	1/6°GA _v	Instalações Militares	EsAO	DETECTOU	1/10000 – Vertical
20 Out 02	1/6°GA _v	Instalações Militares	Afonso	DETECTOU	1/10000 – Vertical
21 Jun 85	1/6°GA _v	Instalações Militares	Pontes resende	DETECTOU	1/10000 – Vertical

As fotografias aéreas foram scanneadas com DPI 300 visando uma resolução igual ou maior que 2 metros para as respectivas alturas de imageamento, e quando em fotografia vertical, também com DPI 300 para uma escala de 1/10000 e DPI 150 para escalas de 1/25000.

Foram utilizadas as seguintes bases cartográficas:

A base cartográfica empregada para o alvo aeródromo e ponte de Guaratinguetá foi a Carta Topográfica Digitalizada de 1:50.000, IBGE, 1982, Folha SF.23-Y-B-VI-4, Guaratinguetá - SP, assim como arquivos vetoriais digitais do Programa de Observação Espacial (POESIA/IBAMA).

A base cartográfica empregada para os alvos localizados na cidade de Resende foi a Carta Topográfica Digitalizada de 1:25.000, DSG, 1982, Folha SF.23-Y-B-VI-4, Resende – SE.

A base cartográfica empregada para os alvos localizados na cidade do Rio de Janeiro foi a Carta Topográfica Especial Digitalizada de 1:25.000, DSG, 1993, Vila Militar – RJ.

A base cartográfica empregada para os alvos localizados na cidade de Angra dos Reis foi a Carta Topográfica Digitalizada de 1:25.000, IBGE, 1990, Angra dos Reis – RJ.

A base cartográfica empregada para o alvo localizado na cidade de Formosa foi a Carta Topográfica Digitalizada de 1:25.000, DSG, 1985, Folha SD. 23 – Y – C – V – 1- NE, Formosa – GO.

4. Métodos

Para analisar e avaliar as imagens procedeu-se uma metodologia quantitativa e qualitativa, a qual foi dividida em quatro etapas.

Primeiramente foi realizado um levantamento dos objetivos de interesse militar. Este levantamento foi orientado a objetivos estratégicos e táticos.

Os objetivos estratégicos foram levantados através do site “sistemas de armas” (<http://sistemadearmas.sites.uol.com.br/>), são eles: aeródromos; embarcações; energia elétrica; equipamentos eletrônicos e telecomunicações; instalações ferroviárias; instalações industriais; petróleo e derivados; pontes; portos e estaleiros; terreno, topografia e vegetação; vias de comunicação; e instalações militares.

Os objetivos táticos levantados foram os equipamentos bélicos de posse das Forças Armadas Brasileiras e em equipamentos de posse de alguns países da América do Sul e baseados no banco de dados de objetivos da OTAN.

Após o levantamento, estes equipamentos foram catalogados em relação as suas características de tamanho e tipo de ambiente em que operam (terrestre, aquático ou aéreo), **Figura 1.**

Após a delimitação de que tipo de informação tática ou estratégica pode ser útil, foi realizada uma análise qualitativa e uma análise quantitativa da capacidade das imagens CBERS em detectar alvos.

A segunda etapa foi subdividida em duas fases. Na primeira foram determinados alvos de controle com certas características tais como: tamanho, características geométricas favoráveis, grau de reflectância e possibilidade de imageamento. Na segunda foram adquiridas as imagens CBERS dos alvos de controle através do catálogo de imagens do CBERS (site da web), inteiramente grátis.

A seleção e determinação dos alvos de controle foram realizadas em 05 (cinco) cidades diferentes (Formosa, Rio de Janeiro, Angra dos Reis, Resende e Guaratinguetá) com o intuito de não ocorrer vícios de imagem, ou seja, não utilizar apenas uma imagem, a qual poderá conter erros geométricos, radiométricos ou outros e sim utilizar várias imagens de vários sensores para comparação e que foram obtidas em diversas órbitas.

Os seguintes alvos foram delimitados por possuírem as características apropriadas para determinação de suas resoluções (Novo, 1995).

Alvo 1 – Pavilhão do comando da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais localizada na Vila Militar, na cidade do Rio de Janeiro - RJ, sendo um alvo fixo (tamanho), de geometria regular, reflectância do alvo favorável, possuir monitoramento existente.

Alvo 2 – Ponte rodoviária (A) sobre o rio Paraíba localizada na cidade de Resende – RJ, sendo um alvo fixo (tamanho), de geometria regular, reflectância do alvo parcialmente favorável, possuir monitoramento existente.

Alvo 3 – Ponte de passagem para pedestre sobre o rio Paraíba localizada na cidade de Resende – RJ, sendo um alvo fixo (tamanho), de geometria regular, reflectância do alvo parcialmente favorável, possuir monitoramento existente.

Alvo 4 – Ponte rodoviária (B) sobre o rio Paraíba localizada na cidade de Resende – RJ, sendo um alvo fixo (tamanho), de geometria regular, reflectância do alvo favorável (parcialmente concreto), possuir monitoramento existente.

Alvo 5 – Usina Nuclear Angra 1 e Angra 2 localizadas próximo a cidade de Angra dos Reis – RJ, sendo um alvo fixo (tamanho), de geometria regular, reflectância do alvo favorável (concreto), possuir monitoramento existente e objetivo militar de importância estratégica.

Alvo 6 – Ponte rodoviária localizada na cidade de Guaratinguetá – SP, sendo um alvo fixo (tamanho), de geometria regular, reflectância do alvo favorável (asfalto), possuir monitoramento existente.

Alvo 7 - Aeródromo localizado na cidade de Guaratinguetá – SP, sendo um alvo fixo (tamanho), de geometria regular, reflectância do alvo favorável, possuir monitoramento existente.

Alvo 8 - Aeródromo localizado na cidade de Formosa – GO, sendo um alvo fixo (tamanho), de geometria regular, reflectância do alvo favorável, possuir monitoramento existente.

Após a delimitação dos sensores a serem avaliados e a aquisição das respectivas imagens foi executada a terceira etapa, a qual constituiu - se em uma avaliação pontual e uma análise digital correlacionando e avaliando a dimensão real com a apresentada na imagem. Foram utilizadas imagens de outros sensores contendo o mesmo alvo de controle com o intuito de determinar o erro geométrico e estatístico.

A avaliação pontual dos alvos relacionados retirou dúvidas relativas ao tamanho real, características particulares tais como material da superfície das pontes e aeródromos, altura do pavilhão, características da infra-estrutura e meso-estrutura, tipo e composição do material, comprimento, largura e detalhes especiais. Os dados colhidos pontualmente foram relacionados no questionário de visitação e fotografados para análise.

A análise digital foi composta em três partes, uma visual, uma geométrica e outra estatística. Em cada uma os resultados relevantes são extraídos e ao final são comparados, visando evidenciar a capacidade de designação de alvos.

A análise e o tratamento das imagens CBERS, SPOT, SAR e fotografias aéreas foram realizados com uso do software nacional SPRING - Sistema de Processamento de Imagens Georeferenciadas versão 3.6.2. (baixada da internet) O acabamento e impressão do trabalho foram elaborados com o uso do mesmo software.

A análise visual envolveu a comparação de um grupo de alvos de naturezas diferentes (alvos de 1 a 8), buscando identificar a nitidez de cada alvo, bem como sua interpretação, em cada imagem fotográfica, RADAR, e digital analisada.

A análise foi baseada na metodologia de levantamento de objetivos militares através de técnicas de interpretação de imagens (LOPES, 2001) e como resultado da análise há a verificação visual da detecção ou não do alvo de controle.

Para executar a identificação com nitidez de cada alvo de controle foram executados os seguintes procedimentos de processamento digital de imagens: passagem dos filtros FROST e LEE nas imagens RADAR, passagem do filtro passa – alta e manipulação do histograma nas imagens espectrais e apenas manipulação do histograma nas imagens fotográficas scanneadas, tudo objetivando minimizar as discrepâncias dos pixels com características de ruído. Após o

tratamento da imagem, cada alvo foi recortado da imagem original para uma nova imagem para apresentação.

A análise geométrica envolveu a identificação espacial dos alvos de controle, sua medição nas cartas topográficas (digital e em papel), medição nas imagens (fotografias aéreas e imagens de satélites) e confecção do questionário de medição geométrica para cada alvo.

Continuadamente ao trabalho de processamento digital de imagens e procedimentos de análise geométrica foi executada a avaliação do tempo de processamento da estação de trabalho padrão, bem como a designação das coordenadas geográficas ou UTM do alvo.

A estação de trabalho padrão (ETP) escolhida teve como base a configuração das estações de trabalho da Seção de Inteligência de Imagens da Escola de Instrução Especializada (Centro de ensino de Inteligência de Imagens), configuração esta que é disponível no mercado.

A determinação do tempo de processamento de uma determinada ETP é necessária pois este intervalo de tempo faz parte da resolução temporal e da conseqüente designação oportuna de alvos. Os dados de tempo de processamento fazem parte do questionário de medição das imagens.

A análise estatística foi dividida em duas partes. Na primeira parte foi realizado o cálculo da média e do desvio padrão, exclusivamente nas imagens SAR e espectrais, e em suas composições, com objetivo de identificar a que apresentou melhor resultado entre elas, relativo à resolução radiométrica. Na segunda parte, foi feita uma classificação temática por pixel, em uma mesma área de interesse, nas imagens espectrais visando calcular a acurácia da classificação em cada imagem, tudo para verificar a acurácia de detecção de cada sensor empregado.

Das avaliações e análises realizadas (pontual, digital e estatística) resultaram uma grande quantidade de dados, os quais foram traduzidos em tabelas de atributos de cada alvo com os respectivos resultados dos sensores, tendo em vista a execução da etapa 4 que tem por objetivo realizar uma comparação dos resultados.

Na última etapa da metodologia, já dispondo dos dados de capacidade de detecção, localização, resolução temporal aproximada e dos dados de necessidade de informações de interesse, foi realizada uma análise lógica comparativa dos dados com o objetivo de determinar que objetivo possa ser melhor detectado, reconhecido, localizado e designado em função dos resultados obtidos das análises visual, geométrica e estatística das imagens.

ESPECIFICAÇÃO: SISTEMA LANÇADOR DE FOGUETES 100 mm RAYO	ORIGEM: CHILE	ESPECIFICAÇÃO: SISTEMA LANÇADOR DE FOGUETES 100 mm RAYO	ORIGEM: CHILE
		OBS: - O SISTEMA RAYO ESTÁ SENDO CONSTRUÍDO NUM CONDOMÍNIO ENTRE A FAMAS (CHILE) E A ROYAL ORDNANCE - O SISTEMA LANÇADOR É ADAPTADO AO CHASSIS MAN SX 2000 4X4, COM CAPACIDADE PARA 24 FOGUETES EM DOIS CONJUNTOS LANÇADORES TIPO CADEITE RETANGULAR DE 12 CÉLULAS CADA. - O VEÍCULO EFETUA NAVEGAÇÃO NO TERRENO POR MEIO DE SISTEMA INERCIAL DE NAVEGAÇÃO INTEGRADO A ESTE. - EXISTEM CÉLULAS DE LANÇAMENTO PRODUZIDAS ESPECIALMENTE PARA TREINAMENTO, COM AS MESMAS CARACTERÍSTICAS DA DE COMBATE, PORÉM COM CALIBRE DE 70 MM E ALCANCE DE 10 KM. - CADA BATERIA É CONSTITUÍDA DE TRÊS CARROS LANÇADORES E UM SISTEMA DE CONTROLE DE TIRO.	
DIMENSÕES: COM: 7,20M LARG: 3,20M ALT: 2,20M		ELEVACÃO: CAMPO DE GIRO: 360°	
ALCANCE MAX. DE TIRO: 40 KM CADÊNCIA DE TIRO: 24 f/g		OPERADORES: CHILE	

Figura 1 - Exemplo de catalogação de alvos táticos.

5. Resultados

Os principais resultados deste trabalho foram tabelas expressando os resultados obtidos com o método efetuado, em função das características dos alvos de controle e as imagens e amostradas.

Tabela 2 - Resultado da análise visual comparativa da textura dos alvos.

Alvos de Controle	Sensores					Verifica-se que a resolução espacial do sensor utilizado é fundamental
	CBERS	SPOT	SAR	Ikonos	Foto Ae	
Aeródromo – Guara	5	-	9	-	-	
Ponte - Guara	5		7			
Pavilhão	5	7	-	-	9	
Angra 1	5	-	-	9	9	
Angra 2	5	-	-	9	9	
Ponte rod A	5	7	-	-	9	
Ponte rod B	5	7	-	-	9	
Ponte pedestre	5	7	-	-	9	

Como exemplo de resultado da análise visual, conforme apresentado na **Figura 2**, observa-se que o pavilhão foi melhor visualizado na fotografia aérea, posteriormente na imagem do satélite SPOT e quase não pode ser observado quando da utilização simples da imagem CBERS. Observamos que, neste caso, a utilização das imagens do CBERS é válida apenas com utilização das ferramentas de PDI, principalmente restauração de pixels para uma resolução menor.

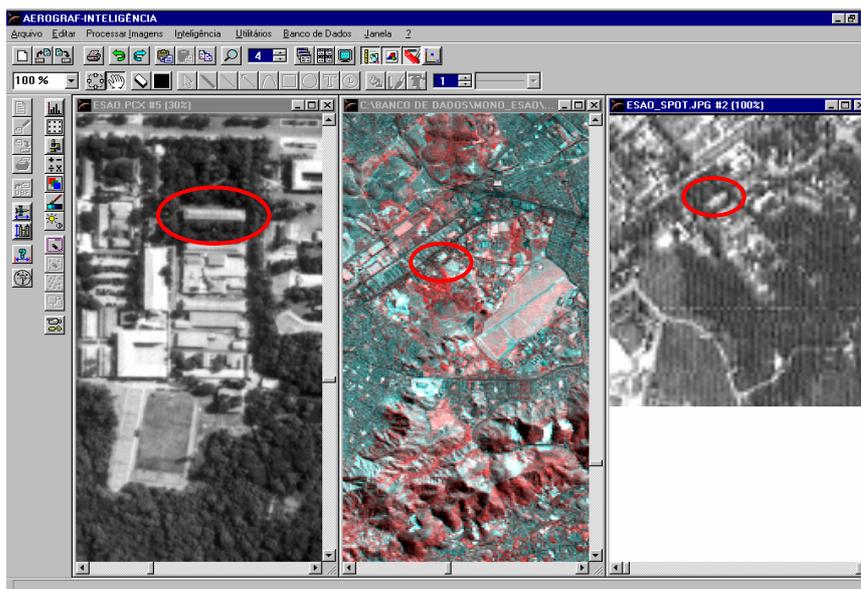


Figura 2 - da esquerda para a direita – Foto Aérea, imagem CBERS e imagem SPOT.

Tabela 3 - Alguns dos resultados da análise geométrica através das imagens CBERS.

Alvo de controle	Média das avaliações geométricas		Alvo de controle	Média das avaliações geométricas	
	Comprimento	Largura		Comprimento	Largura
Pavilhão	87,85	67,08	Aeródromo Guaratinguetá	2237,19	162,81
	71,64	28,88		2226,06	162,81
	75,00	22,42		2247,79	173,68

Tabela 4 – Resultados comparativos da capacidade de detecção dos alvos levantados

Alvos de Controle	Estatística de erro comparativo			Melhor resultado com a imagem CBERS
	Geométrica X Pontual (metros)	Maior resolução capaz de detecção, com menor erro	Exatidão estatística X reflectância	
Aeródromo – Guará	6,608 x 1,5145	10 m XHH – 6 LHV – 6	LHV – 97,14 %	Banda 2 adicionada a banda 3, com realce
Ponte – Guará	8,2575 x 1,6275	10 m Xi3 LHH – 6	Xi3 - 88,03%	Banda 2 adicionada a banda 3, com realce
Pavilhão	5,00 x 5,65	10 m	90,00%	Banda 2 equalizada
Angra 1	0,00	2 m	93,43%	Banda 3 c/ realce
Angra 2	0,00	2 m	74,94%	Banda 3 c/ realce
Ponte rod A	0,131 x 0,03	10 m	86,21%	Banda 2 + PDI
Ponte rod B	3,78 x 0,00	10 m	81,25%	Banda 2 + PDI
Ponte pedestre	5,8 x 2,08	3 m	79,71%	Banda 4 + PDI
Aeródromo – Formosa	9,098 x 3,68	10 m	75,79%	Composição 4R2G3B

6. Discussão

Em relação à capacidade de detecção de objetivos de interesse militar, utilizando tecnologias, métodos e meios nacionais, foi possível, com os resultados das análises visual, geométrica e estatística das imagens, confirmar a metodologia de análise de imagens e comprovar a capacidade de detecção e localização de alvos através de imagens CBERS.

Foi verificado que, em se utilizando imagens CCD, através de análise visual somente, é necessária muita experiência em interpretação de imagens, pois a resolução espacial atual apenas possibilita a detecção de objetivos de grandes dimensões, os quais normalmente são fixos, como por exemplo, os objetivos estratégicos - refinarias, estaleiros, aeródromos, e outros.

Quando da utilização das imagens aliadas às técnicas de processamento digital de imagens, as imagens CCD possibilitam a detecção, localização (*.geotiff) e algum reconhecimento, o qual deverá ser complementado através de imagens com melhor resolução espacial, exemplo, imagens do R-99 B na polarização Xi, ou HH, ou até mesmo, um reconhecimento fotográfico.

Com a análise estatística foi possível confirmar a natureza do objetivo, tendo em vista que, para fins militares, somente é necessário a confirmação de existência ou não do alvo.

Através da análise comparativa dos resultados com as características dos objetivos táticos catalogados, foi possível verificar que de posse de apenas as imagens CCD do sistema CBERS, não é possível a detecção de objetivos táticos, apenas em raros casos de deslocamentos de grande quantidade de viaturas ou grande quantidade de aeronaves estacionadas. Torna-se mais fácil a detecção de embarcações de grandes dimensões.

Baseado nos dados coletados como características do sistema, a possibilidade de aquisição sem custo de imagens via internet e a disponibilidade de um software para trabalho com as imagens (SPRING), também disponível na internet, a monitoração de alguma área alvo é possível. Sendo o campo de visada de $\pm 32^\circ$ da câmera CCD, isso possibilita a

monitoração consecutiva de 03 (três) dias com visada lateral, sendo uma grande ferramenta ao sensoriamento remoto nacional.

7. Conclusão

Este estudo analisou as possibilidades de monitoramento e detecção de objetivos de interesse militar, utilizando tecnologias, métodos e meios nacionais, orientado no sentido de defesa, e, como pesquisa, não representa a palavra oficial de qualquer uma das Forças, e sim, a curiosidade de um pesquisador.

Com o estudo foi possível testar e discutir a eficiência e as limitações das imagens CBERS para a detecção e reconhecimento de objetivos de interesse militar, tudo utilizando tecnologia nacional.

Verificou-se que nos dias atuais é possível monitorar dentro e fora do território nacional através das imagens CBERS, com relativa continuidade, detectando objetivos estratégicos.

A busca da autonomia nacional crescente, seja através do desenvolvimento de satélites, seja através de disponibilização de imagens e softwares livres através da internet, possibilita uma grande ferramenta de apoio à decisão.

8. Referências

CRÓSTA, Álvaro P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. rev. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993, 1992.

DPI/INPE, **Manual de Processamento Digital de Imagens**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 99 p.

MOREIRA, Maurício A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 250 p.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e aplicações**. São José dos Campos, 1995.

ROCHA, César H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2000.

LOPES, João R. C. C. **Sensoriamento Remoto aplicado à Inteligência**. Brasília: Estado Maior do Exército (EME), 2001. 313 p.