

Identificação de Embarcações em Imagens Aerotransportadas de Radar de Abertura Sintética na Área Marítima do Brasil

Sérgio Roberto Horst Gamba^{1,2}
Edson Eyji Sano³

¹Comando-Geral de Operações Aéreas – COMGAR / Força Aérea Brasileira – FAB
SHIS QI- 05 – Área Especial 12, Brasília - CEP 71615-600 - DF, Brasil
horsthess@msn.com

²Universidade Federal de Brasília - UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília - CEP 70910-900 - DF, Brasil
horsthess@msn.com

³Embrapa Cerrados
BR-020 km 18 CEP: 73301-970 – Planaltina, DF, Brasil
sano@cpac.embrapa.br

Abstract. This study deals with the identification of vessels in airborne synthetic aperture radar (SAR) images. The objective is to identify the optimal GIS-based integration approaches, image enhancements, morphological filters, classifiers and processors that enable better identification of ships in SAR images from the coastal areas of Brazil. The methodology included the analysis of five digital images from three study areas (Port of Tubarão (Es), Port of Santos (SP), and Snake Island (RS)) were exported to MS Excel™ spreadsheet and statistical packages SPSS™ and MINITAB™ to be analyzed statistically. The images were further processed using ENVI 4.5 on different highlights (2% linear, Gaussian, equalization, square root and contrast from 50 to 200), morphological filters (dilation, erosion, opening and closing), non-supervised classifiers (ISODATA and K-means clustering), supervised classifiers (parallelepiped, minimum distance, Mahalanobis distance, maximum likelihood, spectral angle map, divergence of spectral information, binary encoding and support vector machine) and processors (by decorrelation highlight, saturation and synthetic color image). Results of this study showed that the the most appropriate SAR image to identify vessels was the L-band with HH, VV and VH, or HH, VV and HV polarizations, followed by application of contrast enhancement of 50-200, morphological opening filter and classifier support vector machine or synthetic color image processor.

Key words: Remote Sensing, Radar Images, Targets. Sensoriamento Remoto, Imagens Radar, Alvos.

1. Introdução

O transporte marítimo representa mais de 95% do comércio exterior brasileiro. Em tempos de globalização, os produtos nacionais dependem de insumos importados, de tal sorte que interferências sobre livre trânsito nos mares podem levar a nação ao colapso. É importante para o país conhecer melhor os detalhes do que representa a Área Marítima para seus interesses. Na Área Marítima, há a presença constante de embarcações que realizam principalmente a navegação de cabotagem (propósitos comerciais entre portos de um mesmo país) e de longo curso (propósitos comerciais entre portos de um país e portos estrangeiros). Existe também a possibilidade de presença de navios militares estrangeiros que necessitam serem monitorados (Vidigal et al., 2006).

A Área Marítima, por ocupar uma região de 4,5 milhões de km², isto é, uma área equivalente a mais de 50% de sua extensão territorial (Vidigal et al., 2006), necessita de mais uma forma de vigilância que complemente as já existentes (reconhecimento visual e fotográfico). O imageamento por *Radio Detection And Ranging* (radar) permite a aquisição de imagens sob condições meteorológicas desfavoráveis (presença de nuvens e chuva), além de recobrir grandes áreas e possibilitar monitoramento à noite.

A nova tecnologia de imageamento pelo sensor de radar de abertura sintética (SAR – *synthetic aperture radar*) a bordo da aeronave R-99 do Segundo do Sexto Grupo de Aviação (2/6 GAv) da Força Aérea Brasileira (FAB), permite a obtenção de informações valiosas sobre os alvos navais.

Os objetivos deste trabalho são: identificar os métodos de geoprocessamento, o tipo de realce de contraste, os filtros morfológicos, os classificadores e os transformadores que permitem melhor identificação de embarcações em imagens SAR da Área Marítima do Brasil.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Caracterizações da área de estudo

Neste estudo, foram selecionadas três regiões com comprovada concentração de embarcações mercantes e militares: Porto de Santos, Porto de Tubarão e Ilha das Cobras (Figura 1). Os limites das áreas estão definidos como sendo para o Porto de Santos, ponto superior esquerdo $23^{\circ}54'17''\text{S}/046^{\circ}24'09''\text{W}$ e ponto inferior direito $24^{\circ}01'34''\text{S}/46^{\circ}14'26''\text{W}$; para o Porto de Tubarão, ponto superior esquerdo $20^{\circ}14'53''\text{S}/40^{\circ}22'44''\text{W}$ e ponto inferior direito $20^{\circ}21'57''\text{S}/40^{\circ}11'44''\text{W}$; e para a Ilha das Cobras, ponto superior esquerdo $22^{\circ}53'20''\text{S}/43^{\circ}10'55''\text{W}$ e ponto inferior direito $22^{\circ}54'20''\text{S}/43^{\circ}09'43''\text{W}$.



Figura 1. Áreas de estudo. De cima para baixo, Porto de Tubarão, Ilha das Cobras e Porto de Santos.

2.2 Metodologia

Coletaram-se imagens SAR da aeronave R-99, em março de 2008 e em agosto de 2010, em cinco bandas/polarizações (X_{HH} , L_{HH} , L_{HV} , L_{VV} e L_{VH}) para o Porto de Santos, Porto de Tubarão e Ilha das Cobras, totalizando 15 imagens. As imagens foram obtidas com resolução espacial de 3m, em formato TIF, e georreferenciadas em sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e *datum* WGS-84.

As imagens foram processadas no aplicativo *Environment for Visualizing Images* (ENVI) por meio de realce de contraste, filtros, classificadores e transformadores, inicialmente com tamanho de aproximadamente 11 km x 65 km para então serão recortadas no tamanho aproximado de 1,8 km x 3 km (Porto de Santos), 8 km x 12 km (Porto de Tubarão) e 1,6 km x 1,6 km (Ilha das Cobras), sendo salvas no formato TIF. Nas etapas de classificação e transformação, foram selecionadas três imagens (bandas/polarizações) de cada porto que

apresentarem menor ruído e menor correlação, para possibilitar a composição de imagens com três bandas.

Os valores digitais de amplitude das 15 imagens foram exportados do ENVI 4.5 para o Excel, Statistical Package for Social Sciences (SPSS) e MINITAB para serem analisados estatisticamente (análise de médias, desvio-padrão, correlação de Pearson (F e P), correlação múltipla, Análise de Variância (ANOVA), coeficiente Kappa e matriz de autovetores) (Mecocci et al, 1995). As imagens foram processadas em diferentes realces (linear 2%, gaussiano, equalização, raiz quadrada e contraste de 50 a 200), filtros morfológicos (dilatação, erosão, abertura e fechamento), classificadores não-supervisionados (isodata e K-médias), classificadores supervisionados (paralelepípedo, distância mínima, distância Mahalanobis, máxima verossimilhança, *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Spectral Information Divergence* (SID), codificação binária e *Support Vector Machine* (SVM)) e transformadores (realce por decorrelação, de saturação e *Synthetic Color Image* (SCI)). A Figura 2 representa um fluxograma do processo seguido neste trabalho.

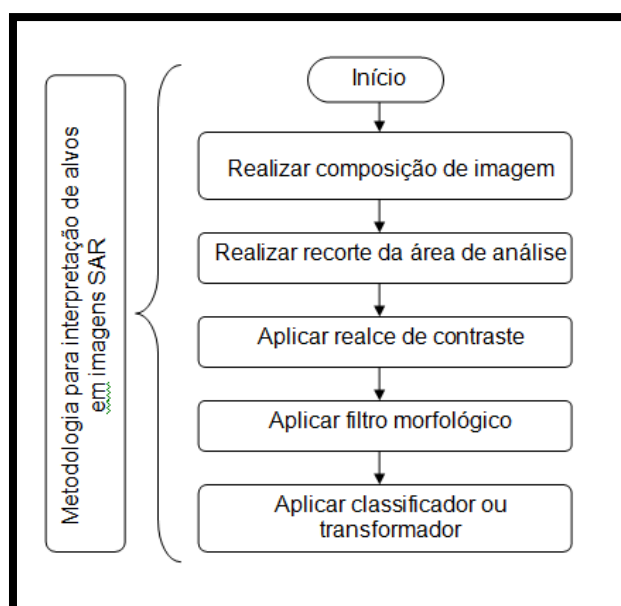


Figura 2. Fluxograma que representa o processo para interpretar embarcações em imagens SAR.

3. Resultados e Discussão

3.1 Realce de Contraste

A manipulação de contraste é uma transformação radiométrica pixel-a-pixel, realizada para aumentar a discriminação visual das feições de baixo contraste presentes na imagem. Cada nível de cinza do pixel é modificado por uma transformação específica, sem levar em consideração os níveis de cinza dos pixels vizinhos. Esta operação é realizada através da manipulação do histograma da imagem. O histograma de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza da imagem em termos de número de pixels para cada nível de cinza (Richards e Jia, 2006).

Aplicando os realces de contrastes disponíveis do aplicativo ENVI 4.5 (linear 2%, gaussiano, equalização, raiz quadrada e contraste de 50 a 200) nas áreas de estudo, verificaram-se os seguintes resultados sobre a imagem L_{HH} , com o filtro morfológico abertura, no Porto de Tubarão (Figura 3):

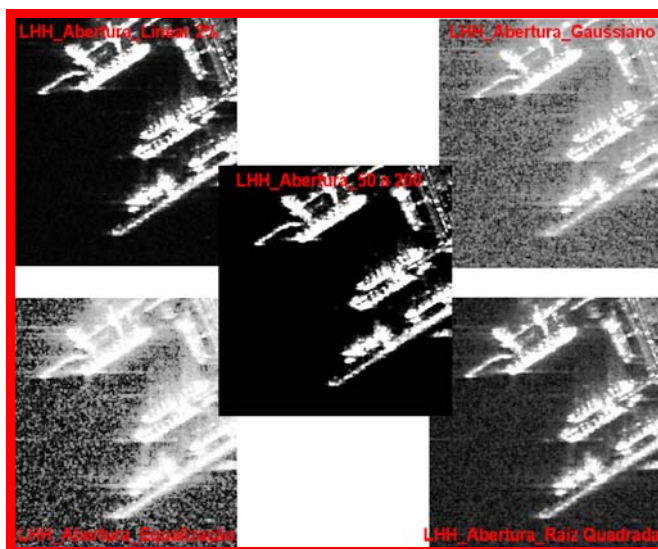


Figura 3. Imagens SAR na banda L e polarização HH da região de Porto de Tubarão, realçadas com filtro abertura.

Conforme a Tabela 1, observaram-se que a menor média e o maior desvio-padrão (Freund e Simon, 2000) representam o melhor contraste, o de 50 a 200. Após a análise e a escolha do tipo de realce de contraste, o passo seguinte foi a escolha dos filtros morfológicos mais adequados para a identificação dos elementos de interpretação.

Tabela 1. Médias e correspondentes desvios-padrões de imagens na banda L, polarização HH e filtro abertura de Porto de Tubarão, realçadas por cinco técnicas de aumento de contraste.

Tipos de Contrastes	Médias	Desvios-Padrões
Linear 2%	49,74	67,29
Gaussiano	125,88	44,22
Equalização	129,68	77,62
Raiz Quadrada	88,83	68,29
Contraste de 50 a 200	39,50	79,78

3.2 Filtro

Uma das características das imagens é o parâmetro frequência espacial (número de mudanças nos valores de nível de cinza por unidade de distância, em relação a qualquer parte da imagem). Existindo poucas variações nos níveis de cinza ao longo de uma área, esta recebe a denominação de área de baixa frequência. Se os valores dos níveis de cinza variam abruptamente ao longo de distâncias muito curtas, então temos uma área de alta frequência (Mecocci et al, 1995; Rechiuti, 1996). As filtragens espaciais são úteis em processamento de imagens SAR para destacar as bordas, feições lineares em determinadas direções e padrões de textura, através do realce ou da supressão de determinadas frequências espaciais (Richards e Jia, 2006).

Os resultados das filtragens na região do Porto de Tubarão, imagem L_{HH} , são mostrados na Figura 4 e na Tabela 2. Selecionaram-se as imagens que permitiram visualização nítida das embarcações. Os resultados satisfatórios foram encontrados para os filtros abertura e erosão, os quais apresentaram menores valores de média e desvio-padrão.

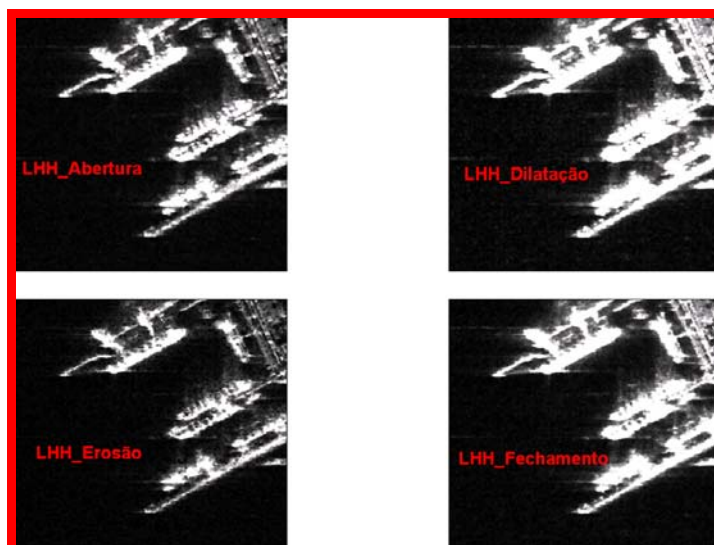


Figura 4. Imagens SAR da região de Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarização HH e realçadas com quatro filtros morfológicos distintos.

Tabela 2. Valores digitais médios e os correspondentes desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto de Tubarão obtidas na banda L e polaridade HH e realçadas com diferentes filtros morfológicos.

Parâmetro de Imageamento	Filtros Morfológicos	Médias	Desvios-Padrões
L_{HH}	Sem filtro	55,45	77,57
	Abertura	48,03	74,20
	Dilatação	70,48	91,88
	Erosão	36,71	63,46
	Fechamento	59,52	83,96

3.2 Classificação

A classificação de imagens SAR consiste em associar cada pixel da imagem a um rótulo, descrevendo um objeto real. Os níveis de cinza associados a cada pixel, definidos pela radiância das matérias que compõe esse pixel, são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (água, vegetação, solo, rocha, etc.), denominados temas (Schowengerdt, 2007). Uma imagem SAR classificada permite a produção de um mapa temático, o que facilita a identificação dos elementos de interpretação.

Em uma análise da variação conjunta entre as bandas/polarizações (L_{HH} , L_{VV} , L_{HV} e L_{VH}), necessita-se aplicar os métodos de análise multivariada (correlação). Não foi utilizada a banda X, porque apresentou muitos ruídos. Podem-se eliminar as bandas que tem alto coeficiente de correlação, pois uma baixa correlação entre bandas sugere que as mesmas contêm algum tipo de informação que não é encontrada nas demais bandas (Rosa, 1995).

Os dados da Tabela 3 foram obtidos através do aplicativo SPSS 16.0. Estes dados representam 256 níveis digitais com nível de significância de 1%. As banda/polarizações que apresentaram baixa correlação entre si foram L_{HH} , L_{VV} e L_{VH} para o Porto de Tubarão.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson para as imagens SAR de Porto de Tubarão obtidas na banda L e polarizações HH, HV, VH e VV.

	L _{VH}	L _{HV}	L _{VV}	L _{HH}
L _{VH}	1,000	0,992	0,746	0,490
L _{HV}	0,992	1,000	0,707	0,552
L _{VV}	0,746	0,707	1,000	0,378
L _{HH}	0,490	0,552	0,378	1,000

Com base nos dados da Tabela 3, a melhor combinação de imagens do Porto de Tubarão foi L_{HH}_L_{VV}_L_{VH} para a aplicação dos seguintes classificadores:

- Não-supervisionados: Isodata e K-médias; e
- Supervisionados: paralelepípedo, distância mínima, distância Mahalanobis, máxima verossimilhança, SAM, SID, *binary encoding* e SVM (Richards e Jia, 2006).

Um subproduto da matriz de confusão que auxilia na avaliação do classificador é o coeficiente Kappa (K). Uma das vantagens alegadas para uso do K é que ele incorpora a informação dos pixels mal classificados e os bem classificados (Mather, 2006). A Eq. 1 apresenta a equação que fornece o valor de K.

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad (1)$$

A Tabela 4 representa o resultado das classificações no Porto de Tubarão (L_{HH}_L_{VV}_L_{VH}). Observaram-se que os classificadores Máxima Verossimilhança e SVM, na Figura 5, apresentaram melhores resultados, ou seja, os pixels foram mais bem classificados.

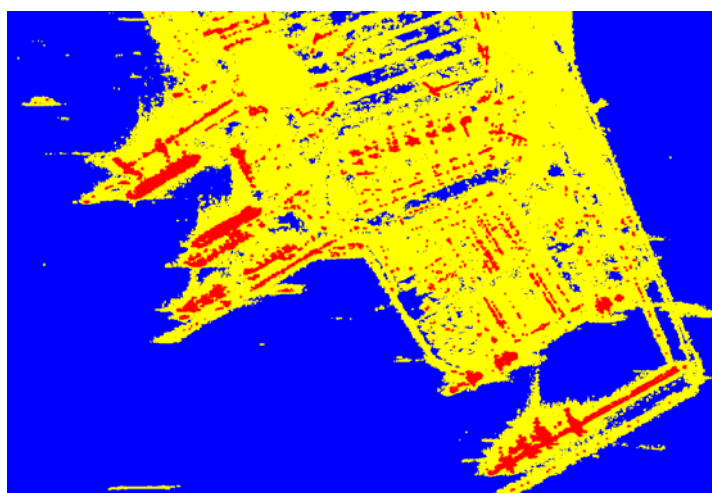


Figura 5. Resultado da classificação pelo método SVM envolvendo as imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV.

Tabela 4. Coeficiente Kappa. Porto de Tubarão.

	Coeficiente Kappa	Acurácia Geral
Isodata*	-0,0409	8,0287%
K Médias*	-0,0409	8,0287%
Paralelepípedo**	-0,0148	14,1338%
Distância Mínima**	0,6905	82,0982%
Distância Mahalanobis**	0,6799	81,1715%
Máxima Verossimilhança**	0,7534	85,5097%
Mapeador de Ângulo Espectral**	0,0486	8,9695%
Divergência de Informação Espectral**	0,1601	36,8121%
Codificação Binária**	0,0000	0,000%
Máquina de Vetor Suporte Linear*	0,9054	95,4382%

* três classes. ** cinco classes.

3.3 Transformador

Considerando as três transformações da Tabela 5, aplicadas na combinação $L_{HH_LHV_LVH}$ Porto de Tubarão, verifica-se que a maior média e o menor desvio-padrão são a representação das imagens que permitem uma melhor identificação dos elementos de interpretação. Estes resultados demonstram na Figura 6 que o transformador SCI foi o mais apropriado para interpretação de imagens SAR.

Tabela 5. Médias e desvios-padrões das imagens SAR da região de Porto de Tubarão obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV e realçadas por três técnicas distintas.

Transformadores Espectrais	Médias	Desvios Padrões
Realce por Decorrelação	52,32	1,000
Realce de Saturação	69,78	66,781
Imagem Colorida Sintética	109,34	27,374

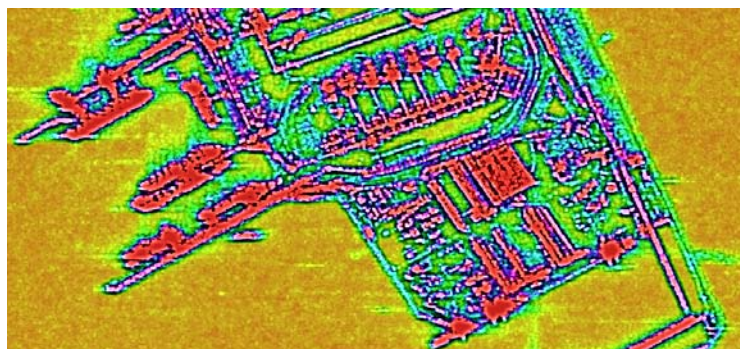


Figura 6. Imagens SAR da região do Porto de Tubarão, obtidas na banda L e polarizações HH, VH e VV, realçadas pelo método SCI.

4. Conclusões

Verificou-se no processamento das imagens SAR que o realce de contraste de 50 a 200, os filtros abertura e erosão, os classificadores distância mínima e SVM, bem como o transformador SCI seriam a seqüência a ser adotada para definir os elementos de interpretação, a fim de permitir a interpretação de imagens SAR.

Os elementos de interpretação possíveis de serem observados nas imagens SAR são a tonalidade, a forma e o tamanho.

Agradecimentos

Ao COMGAR, por ter disponibilizado as imagens SAR para este trabalho.

Referências Bibliográficas

Freund, J. E.; Simon, G. A. **Estatística Aplicada**. Editora Bookman. Porto Alegre, RS: [s.n.], 2000.

Mather, M. P. **Computer Processing of Remotely Sensed Images**. England: [s.n.], Wiley, 2006.

Mecocci, A.; Benelli, G.; Garzelli, A.; Bottalico, S. **Radar Image Processing for Ship-Traffic Control**. Elsevier Science B. V. v 13, n 2, p. 119-128, March 1995.

Rechiuti, L. V. **Processamento de Imagens Digitais**. Instituto de Estudos Avançados. São José dos Campos, SP: [s.n.], 1996.

Richards, J. A.; Jia, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. New York: [s.n.], Springer, 2006.

Rosa, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 3ª ed., 1995.

Schowengerdt, R. A. **Remote Sensing**. Models and Methods for Image Processing. San Diego: Academic Press, 3ª Edição, 2007.

Vidigal, A. A. F.; Cunha, M. B.; Fernandes, L. P. C.; Mendes, I. A.; Silva, N.; Oliveira, L. L.; Júnior, O. B. C.; Albuquerque, A. T. M.; Rodrigues, E. G.; Almeida, J. A. N. **Amazônia Azul**. O Mar que nos Pertence. Rio de Janeiro: Editora Record, 2006, 305 p.