

Processamento Digital de Imagens SAR/ERS-1 na Caracterização de Feições Oceanográficas

GLAUBER ACUNHA GONÇALVES^{1,2}
CARLOS ALBERTO EIRAS GARCIA^{1,2}

¹FURG - Fundação Universidade do Rio Grande
Caixa Postal 474 - CEP 96201-900 - Rio Grande, RS, Brasil
{glauber, garcia}@calvin.ocfis.furg.br

²CEPSRM - Centro Estadual de Pesquisa em Sens. Remoto e Meteorologia - UFRGS
Caixa Postal 15044 - CEP 91501-970 - Porto Alegre, RS, Brasil

Abstract. A set of SAR images of the “Parque Nacional Marinho de Abrolhos” has been digitally processed to recognize ocean features such as waves, streams, eddies and bottom topography. In this paper, we describe the result of a serie of tests using different algorithms to enhance the bottom topography in the region. The sigma, the Lee and the multilevel algorithms here been found to be the most appropriate in our case and is recommended for use in SAR ocean images

Keywords: SAR, ocean images.

1. Introdução

Os sensores SAR (*Sythetic Aperture RADAR*) têm se mostrado cada vez mais úteis na caracterização remota de determinadas grandezas físicas dos mais diversos ambientes, objetos de investigação científica nos últimos anos. No meio oceanográfico, mais do que um instrumento complementar ou alternativo, as imagens SAR são hoje ferramentas indispensáveis no reconhecimento de feições da dinâmica costeira, de ondas, correntes, vórtices e da topografia de fundo [conforme Alpers e Hennings (1984), Alpers (1988), Beal (1991), Gower (1988), de Loo e Van Hultem (1978) e Johannensen (1992)]. Prova de que ainda outras informações podem ser obtidas a partir destas imagens são as correlações já encontradas entre a seção transversal radar, característica física da superfície que determina as propriedades do espalhamento do sinal emitido pelo sensor SAR, a salinidade [Singh et al, (1990)] e componentes biológicos [Nilsson e Tildesley, (1995)].

As perspectivas acima expostas motivaram o Laboratório de Oceanografia Física da Universidade do Rio Grande a iniciar estudos visando o domínio da tecnologia envolvida no processamento de tais imagens. Uma área piloto foi escolhida para uma série de testes visando a obtenção de uma metodologia eficaz para a extração de feições oceanográficas destas imagens.

Este trabalho objetiva encontrar, entre outras, feições de topografia de fundo na região do Banco de Abrolhos através das imagens SAR.

2. A Área de Estudo

O Parque Nacional Marinho de Abrolhos é uma área pertencente ao mar territorial brasileiro mais precisamente localizada na costa sul da Bahia, situada entre as latitudes 17°20' - 18°10'S e longitudes 38°35' - 39°20'W e faz parte da plataforma continental leste do Brasil.

A região é politicamente importante por tratar-se de um parque nacional marinho, cuja área é objeto de proteção ambiental. Seus recifes constituem exemplares únicos no Oceano Atlântico e algumas das variedades de corais encontradas diferem-se de todas as demais existentes no planeta. Compõe ainda a paisagem da região um pequeno arquipélago de ilhas vulcânicas [Leão, (1982)].

A área do Banco de Abrolhos apresenta uma conformação alargada da plataforma continental, que em quase toda a suas extensão é estreita, não ultrapassando os 50 km em média, mas na região chega a 200 km.

Dados de observações climatológicas e oceanográficas podem ser obtidos para aferição das operações de laboratório, uma vez que o IBAMA e a Marinha do Brasil mantêm postos avançados de monitoramento na Ilha de Santa Bárbara.

3. Dados e Metodologia

As Imagens

O estudo está sendo realizado com base em 6 imagens originais do sensor AMI (Active Microwave Instrument) do ERS-1 adquiridas pela estação receptora de Cuiabá nos dias 19 de junho e 24 de julho de 1992.

São três cenas consecutivas da área descrita no ítem acima. No presente trabalho uma imagem servirá para ilustrar a metodologia empregada.

As imagens possuem resolução espacial de 12,5 x 12,5 m e dimensões de 8200 x 7600 píxeis de 16 bits.

O Processamento Digital das Imagens

Na totalidade do estudo foram levantados e testados procedimentos computacionais para a redução do *speckel*, correção radiométrica, correção de visada lateral, georeferência e reamostragem, realce de imagem, realce e detecção de bordas e linhas, análise textural e análise espectral.

Para o processamento foram utilizadas basicamente duas plataformas computacionais: um PC Pentium e uma estação Sun SparcStation II. Foram feitas implementações de algoritmos em linguagem C++ e foram testados os sistemas MatLab 5.0 for Windows e o sistema ERDAS Imagine for Windows versão 8.2, ambos dotados da capacidade de operar algumas das tarefas envolvidas no trabalho e descritas abaixo [ERDAS, Inc (1995) e Thompson e Shune (1995)].

Inicialmente foi realizada uma análise de resolução. Aspectos da dualidade resolução x *speckel* foram avaliados, considerando questões sobre a necessidade prática de resoluções espaciais extremamente altas e dos tempos de processamento envolvidos. Já na observação visual do *speckel* presente na imagem ficou clara a inconveniência de se utilizar resolução espacial de 12.5 m. Quanto ao tempo de processamento envolvido, mesmo depois de reduzir para 8 bits a resolução radiométrica, as imagens ocupam em torno de 65 Mb, obrigando o seu fracionamento em áreas de interesse para o processamento nas plataformas disponíveis. Ainda assim depende-se um tempo elevado e o efeito do *speckel* obriga a um grande número de iterações das rotinas que o reduzem, provocando de qualquer maneira a degradação da resolução. Assim os trabalhos foram desenvolvidos em imagens amostradas por médias das imagens originais, com resoluções de 50 e 100 m.

Pode-se sumarizar as etapas cumpridas no processamento das imagens disponíveis, classificadas pela ESA como *Precision Images* (imagens *multi-look*, já em coordenadas de terreno e corrigidas de distorções radiométricas de sensor) através do fluxograma exposto na figura 1. A seguir procurar-se-á descrever sumariamente a metodologia abordada em cada etapa.

Supressão do ruído “speckel”. Speckel é um ruído inerente ao imageamento por radiação coerente, como o caso das microondas usadas em SAR. Devido a este ruído a imagem apresenta em toda a sua extensão uma aparência textural fina. Uma breve explicação do processo segue abaixo.

O sinal de microondas lançado pelo sensor SAR é extremamente coerente. Como em um laser, as ondas viajam regularmente em fase. A interação com o alvo é

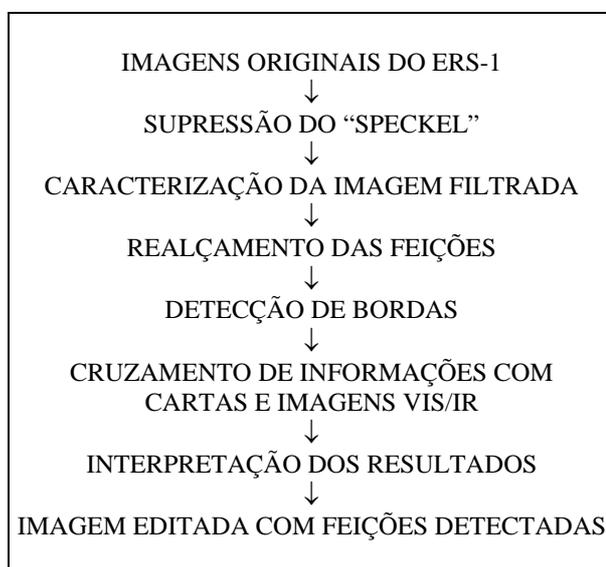


fig. 1 - Fluxograma do processamento de imagens aplicado para extração de feições oceanográficas.

as simples ou múltiplas reflexões sofridas numa mesma célula de resolução faz com que o sinal retorne em fases diversas daquela emitida pelo sensor. Uma vez fora de fase, as ondas interferem entre si construtiva ou destrutivamente, produzindo píxeis mais claros ou mais escuros para uma mesma região imageada, onde seria esperado uma uniformidade na intensidade do sinal recebido.

Antes de qualquer outra operação, uma imagem SAR deve passar por uma redução deste ruído. Esta é uma operação onde não existem procedimentos convencionais descritos. Muitos algoritmos devem ser testados na busca de um resultado ótimo para determinado tipo de imagem. Todos eles provocam alterações na imagem e possíveis perdas de informação e degradação de resolução, principalmente pelo fato do “speckel” ser um ruído multiplicativo e não aditivo como a maioria dos ruídos presentes nas imagens. Por este motivo sugere-se [Jain (1989) e Askne (1991)] que cada caso deve ser analisado conforme suas características próprias.

Nesta etapa, foram propostos diversos algoritmos na tentativa de determinar qual filtro produziria melhor resultado nas imagens SAR/ERS-1 do presente trabalho. Foram testados os seguintes filtros:

- média;
- mediana;
- média por análise de região;

- Sigma:
- Lee
- Filtro Homomórfico
- Crimmins

Descrições e implementações destes filtros são encontradas em [Press (1988), Jain (1989), Prat (1990) e Thompson e Shune (1995)].

Os filtros média e mediana são implementações triviais de um filtro suavizador tipo “passa baixas”. O filtro média por análise de região, para cada pixel da imagem, constitui uma janela em seu entorno e subdivide esta em regiões com base no seu posicionamento angular. Em seguida computa os valores de variância para cada sub-janela e atribui ao pixel de interesse o valor da média da sub-janela de menor variância.

Os filtros Sigma e de Lee utilizam a distribuição estatística dos contadores digitais de uma janela móvel para estimar o valor do pixel central da janela, dito pixel de interesse. O filtro Sigma baseia-se na probabilidade da distribuição Gaussiana. Assume-se que 95% dos pixels amostrados devem apresentar um contador digital nunca afastado de 2 desvios padrões da média. Assim o pixel de interesse recebe o valor da média dos pixels da janela que satisfazem a esta condição.

O filtro de Lee é um filtro de estatística local. Assume-se que o pixel de interesse deve apresentar média e variância compatíveis com a média e a variância de todos os pixels contidos na janela.

O filtro denominado homomórfico fundamenta-se no fato do ruído *speckel* ser multiplicativo na imagem. Basicamente aplica-se um filtro de Wiener numa imagem resultante da computação do logaritmo da imagem original.

O filtro de Crimmins é uma adaptação de um filtro morfológico que busca a suavização das formas dos objetos imageados.

Caracterização da imagem filtrada. A extração de características é um processo indicativo da qualidade das respostas dos filtros aplicados a uma imagem e pode ser executado pelos seguintes métodos:

- caracterização espacial
- caracterização espectral
- detecção de bordas e linhas
- características das formas
- representação por momentos
- textura

Após a imagem ter sido filtrada de seus ruídos mais descaracterizadores, neste tópico procurou-se determinar as principais características da imagem pelas abordagens espacial, espectral e textural. A caracterização por bordas e linhas foi considerada em tópico específico dada sua importância no processo de detecção de feições.

A abordagem espacial foi executada através de análise de histograma. Foram consideradas as seguintes medidas para caracterização do histograma das imagens em estudo:

- dispersão
- média
- variância
- energia média
- distorção
- curtose
- entropia

Na abordagem espectral foram analisadas as potências espectrais da imagem transformada por Fourier na busca de características frequências espaciais presentes na imagem, principalmente nas áreas portadoras de padrões indicadores de ondas .

Na abordagem textural, além da utilização das medidas espaciais da média, variância, distorção e curtose, muito úteis neste tipo de análise, foi utilizada a chamada função de autocorrelação, cuja proporcionalidade com a rudez (“aspereza”) da textura é citada por [Jain (1989)].

Realçamento da imagem. Com a utilização de modelagem de histograma, por equalização e “matching” (com função gaussiana) e uso de operadores espaciais como filtros passa-banda e direcionais buscou-se o realçamento e a otimização no padrão de visualização das imagens, objetivando tornar o mais claro possível as feições presentes na imagem.

Deteção de bordas e linhas. Para a detecção de bordas foram utilizados os mais comuns operadores de gradiente, como Prewitt, Sobel e o chamado Isotrópico, além do uso do operador primeira derivada direcional para o filtro exponencial simétrico. Este último é uma implementação do operador máximo gradiente indicado pela ESA em seu manual PRINCIPLES OF RADAR IMAGERY publicado em 1993.

Cruzamento das imagens com as cartas. Extraídas as diversas informações das imagens pelos processos acima descritos, o conjunto dos dados foram integrados em um ambiente geoprocessador com dados de cartas náuticas na busca de interpretar os possíveis sinais de feições oceanográficas da cena. Desta interpretação resultou uma imagem anotada por elementos indicadores das feições detectadas a serem interpretadas.

4. Resultados

Na supressão de ruído *speckel* foi especialmente interessante comparar os resultados obtidos com os filtros média, Lee, Sigma e Crimmins. O filtro de

Crimmins apresenta ótimos resultados somente após a 4^a ou 5^a iteração o que consome um tempo de processamento excessivo. O filtro média, como era de se esperar apenas suaviza os efeitos do ruído mas não elimina as maiores aberrações. Tem a vantagem de ser processado rapidamente e serve como um indicador do nível de ruído geral da imagem e para visualização superficial de baixa resolução. Com o filtro mediana consegue-se extrair melhor os maiores efeitos do ruído, porém perde-se muito dos gradientes naturais e característicos da imagem.

O consagrado filtro de Lee e o filtro Sigma apresentaram resultados bastante próximos onde as diferenças somente são percebidas a nível de análise de histograma. Neste trabalho optou-se pelo uso de uma combinação dos dois filtros aplicados sucessivamente.

As figuras 2, 3, 4 e 5 representam uma seqüência ilustrativa da metodologia utilizada neste trabalho. Na figura 2 é apresentada a imagem amostrada da original numa resolução de 100 m. Cada 8x8 píxeis da imagem original formam 1 píxel desta imagem. Na figura 3 a imagem passou por um processo de redução de *speckel* envolvendo a aplicação sucessiva do filtro Sigma com uma janela de 3x3 e 5x5 com coeficientes de variação da ordem de 0.1 e 0.05, respectivamente, e do filtro estatística local de Lee, com uma janela de 5x5. Mesmo visualmente é clara a melhoria na qualidade da imagem. Na figura 4 foram realçados os principais gradientes presentes na imagem pela passagem de um operador derivativo de primeira ordem. Pode-se notar a riqueza de detalhes presentes, neste caso indicativos da topografia de fundo, de características de circulação e mesmo das áreas de recifes.

Na figura 5 é apresentada uma imagem resultante de uma análise de dispersão na imagem filtrada do *speckel* (figura 3) que mostra o padrão regular da textura em toda a imagem, comprovando o excelente resultado na supressão do ruído, e ao mesmo tempo apresenta feições bastante realçadas na região dos recifes e dos bancos.

As características apresentadas nas imagens após o processamento foram conclusivamente úteis na análise de topografia de fundo (especialmente na região, que está situada em águas relativamente rasas 15 a 20 m, com a presença de bancos onde a profundidade da água não ultrapassa os 4 ou 5 m), no reconhecimento de padrões de ondas superficiais formadas pelo vento e na detecção de elementos de circulação.

5. Conclusões

Os melhores resultados para a supressão do *speckel* sem afetar os gradientes significativos da imagem foram obtidos com um combinação dos filtros sigma e Lee. Também mostrou-se promissor e merecedor de aprofundamento o filtro homomórfico.

No aspecto geral, os estudos realizados somente comprovaram o quanto promissor é o uso de tais imagens no estudo de características oceanográficas. O fino detalhamento das formas que aparecem nas imagens, associados a riqueza textural das mesmas, por si só já constituem fator motivador para a continuidade dos trabalhos no estudo de outras regiões e na busca de detectar outras características que, com certeza, também aparecem em tais imagens.



fig. 2 - Imagem original resolução 100x100 m

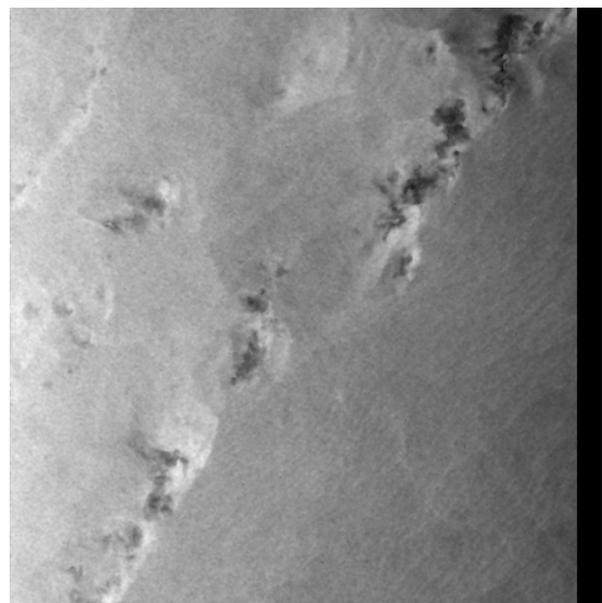


fig. 3 - Redução do *speckel* pela aplicação de uma sucessão de filtros (sigma e Lee).



fig. 4 - realce de gradientes por *multilevel*

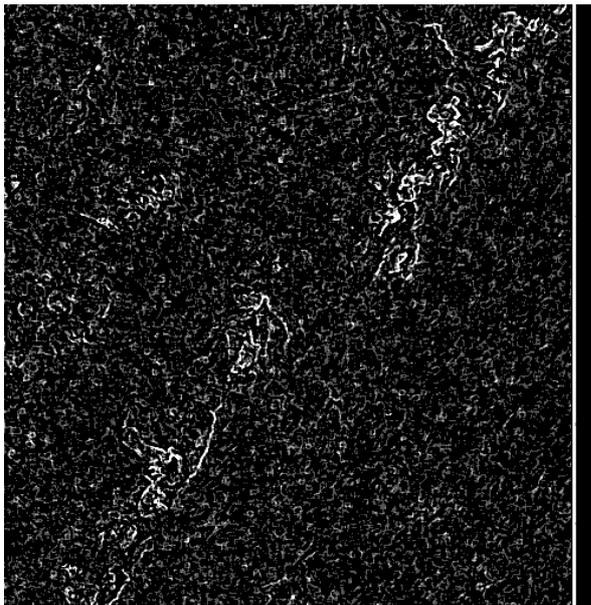


fig. 5 - análise textural por dispersão

6. Referências Bibliográficas

Alpers, W., **IMAGING OCEAN SURFACE WAVES BY SAR - A REVIEW**, 1987

Alpers, W. e Hennings, I., **A THEORY OF THE IMAGING MACHANISM OF UNDERWATER BOTTOM TOPOGRAPHY BY REAL AND SYNTHETIC APERTURE RADAR**, J. Geophysical Research, vol. 89, n. c6, 10529 a 10546, 1984.

Askne, J., **ERS-1 AND REMOTE SENSING BY SAR**, Chalmers University of Tecnology, 1993

Beal, R.C., Gerling, T.W., Monaldo, F.M. e Tilley, D.G., **MEASURING OCEAN WAVES FROM SPACE: 1978 TO 1988**, J. Remote Sensing, 1991, vol. 12, n. 8, 1713 a 1722, 1991.

de Loor,G.P., **REMOTE SENSING OF THE SEA, ANALYSIS OF AVAILABLE DATA AND RESULTS OF NOORDWIJK**, Rep. PHL. 1978-53, 1978.

ERDAS, Inc., **ERDAS IMAGINE FIELD GUIDE**, 1995.

Gower, J.F.R., **LAS MEDICIONES DEL MAR POR SATÉLITE: POSIBILIDADES QUE OFRECEN Y PROBLEMAS QUE PLANTEAN**, UNESCO, 1988.

Jain, A. K., **FUNDAMENTALS OF DIGITAL IMAGE PROCESSING**, Prentice-Hall Inc., p. 267 a 400, 1989.

Johannessen, J. A., Roed, L.P. e Wahl, T., **EDDIES DETECTED IN ERS-1 SAR IMAGES AND SIMULATED IN REDUCED GRAVITY MODEL**, J. Remote Sensing, vol. 14, n. 11, 2203 a 2213,1993.

Johannessen, J. A., Rufenach, C.L., Scheffler, A.O. e Shuchman, R.A., **C-BAND SAR MEASUREMENTS OF MOVING OCEAN WAVES IEARSS**, vol. 8, 1098 a 1103, 1988.

Leão, Z.M.A.N., **MORPHOLOGY, GEOLOGY AND DEVELOPMENTAL HISTORY OF THE SOUTHERNMOST CORAL REEFS OF WESTERN ATLANTIC ABROLHOS BANK, BRAZIL** - University of Miami, 1982.

Nilsson, C.S. e Tildesley, P.C., **IMAGING OF OCEANIC FEATURES BY ERS-1 SAR**, J. Geophysical Research, vol. 100, n. c1, 953 a 967, 1995.

Pratt, W. K., **DIGITAL IMAGE PROCESSING**, John Wiley & Sons, 1992.

Press, W. H., **NUMERICAL RECIPES IN C**, Cambridge University, p. 398 a 470, 1988.

Thompson, C. M. e Shure, L., **IMAGE PROCESSING TOOLBOX FOR USE WITH MATLAB**, The Math Works Inc., p. 1-60 a 1-72, 1995.