

MAPEAMENTO DE RECIFES NA APA COSTA DOS CORAIS, PE/AL ATRAVÉS DE IMAGENS SAR DO RADARSAT-1

FREDERICO DE MORAES RUDORFF¹
DOUGLAS FRANCISCO MARCOLINO GHERARDI²

¹Bosista – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Rua Guiana, 113, 12.223-300 – São José dos Campos – SP
fmrudorff@yahoo.com.br

²Pesquisador - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 – São José dos Campos – SP
douglas@ltid.inpe.br

Abstract: Coral reefs are ecosystems of crucial importance given their high biological diversity and productivity. They are also relevant for traditional fishing communities and tourism activities. Many researches on coral reef habitat mapping have been conducted using optical remote sensing. However, SAR images have not yet been used for this purpose. This paper evaluates the use of SAR RADARSAT-1 images to map exposed coral reefs at the Environmental Protection Area of "Costa dos Corais", located at the northeastern coast of Brazil, between the states of Pernambuco and Alagoas. Adaptive filters were applied on the SAR image and tested for speckle noise suppression. A digital classification was performed and the classification accuracy was evaluated through an error matrix between the SAR image classification and a ground truth map resulted from a TM Landsat-5 classification. The results indicate that it is possible to map exposed coral reefs from the fine mode of SAR RADARSAT-1 images, specially for poorly surveyed regions by optical sensors, due to intense cloud cover.

Keywords: remote sensing, coral reefs, SAR, mapping, speckle filters, classification

1. Introdução

Os ecossistemas de recifes coralíneos, apontados como um dos ambientes naturais mais ameaçados do planeta, são áreas prioritárias para a proteção ambiental e devem ter limitação de uso, conforme estabelecido pela Agenda 21 no capítulo 17 (<http://www.mma.gov.br/>). Estes ecossistemas são também ambientes de grande importância econômica, pois representam a fonte de recursos pesqueiros para muitas comunidades tradicionais que dependem da pesca artesanal (Moberg e Folke, 1999). O ambiente dos recifes de corais, além de apresentarem alta diversidade e elevada produtividade biológica, atuam também como quebra-mares naturais protegendo a costa da erosão e de danos causados por ondas de tempestade (Clark, 1995).

No Brasil os recifes se estendem de forma descontínua por cerca de 2.400 km, desde o Parcel de Manuel Luís, MA (cerca de 01° S) até os recifes de Viçosa, na área de Abrolhos (cerca de 18° S), além de ilhas oceânicas como o Atol das Rocas e Fernando de Noronha (Castro, 1997).

Dentro do tema sobre o conhecimento dos ambientes recifais brasileiros o mapeamento dos recifes de coral é considerado um dos assuntos prioritários em função da ausência quase total de informações sobre a localização dos recifes submersos e do baixo grau de detalhamento no mapeamento dos recifes emergentes (Castro, 1997). O mapeamento preciso da distribuição espacial de recifes é fundamental para navegação, pesquisa e gerenciamento destes ecossistemas.

Segundo Braga e Gherardi (2000) o estudo de recifes de coral vêm sendo realizado através de imagens de satélites de sensoriamento remoto desde o final da década de 70 do século passado. O uso desta tecnologia tem avançado significativamente com o desenvolvimento de novos sistemas sensores (Kuchler *et al.*, 1986), entretanto, o uso tem se limitado aos sistemas óticos que operam nas regiões visível e infravermelho do espectro eletromagnético, tais como: TM, ETM⁺, HRV, câmeras fotográficas, entre outros (Green *et al.*, 2000; Sherbinin *et al.*, 2002; Ahmad *et al.*, 1994; Stofle *et al.*, 1994). No Brasil, metodologias propostas para o mapeamento de recifes costeiros através do uso de imagens orbitais de sensoriamento remoto ótico indicam que as imagens do sensor TM a bordo do satélite americano Landsat-5 são mais adequadas que as imagens do sensor HRV a bordo do satélite francês Spot (Braga e Gherardi, 2000).

Metodologias para o mapeamento de recifes de corais empregando o uso de imagens de radar de abertura sintética (SAR) em nível orbital ainda não foram testadas no Brasil. O SAR é um radar imageador que opera no comprimento de onda do espectro eletromagnético correspondente às microondas (Palme *et al.* 1996). Apesar das microondas não penetrarem na água, devido à reflexão especular, sensores orbitais como o SAR a bordo do RADARSAT-1 tem ampla aplicação para o mapeamento e monitoramento da zona costeira (Palme *et al.* 1996) sendo possível, entre outros, extrair a linha de costa devido ao contraste do sinal retroespalhado entre os ambientes terrestres e aquáticos (Vrielig e Sanden, 2002). Ambientes aquáticos são considerados lisos para as microondas de tal forma que apresentam um espalhamento especular fazendo com que apareçam em tonalidade escura nas imagens SAR. Já os ambientes terrestres são considerados rugosos apresentando um espalhamento difuso aparecendo em tonalidade de cinza média a clara nestas mesmas imagens (Palme *et al.* 1996). Desta forma, os recifes emergentes podem ser identificados e diferenciados nas imagens SAR em função da diferença na rugosidade entre estes ambientes (Stamples *et al.*, 1998).

2. Objetivo

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial das imagens SAR do RADARSAT-1 no mapeamento dos recifes costeiros na Área de Proteção Ambiental “Costa dos Corais”. Outros objetivos específicos do trabalho foram:

1. Identificar recifes costeiros através de imagens SAR do RADARSAT-1;
2. Testar filtros para redução do ruído *speckle*;
3. Avaliar a precisão da classificação não supervisionada em relação ao mapa temático elaborado a partir de imagens TM do Landast-5 para a mesma área.

3. Área de estudo

A Área de Proteção Ambiental (APA) Costa dos Corais foi implementada em 1997 com o apoio do IBAMA. É a maior unidade federal de conservação marinha do país, abrangendo uma área de 4.590 km², que vai desde Paripueira, AL até Tamandaré, PE, abrangendo uma região de 12 municípios.

3. Metodologia

A imagem utilizada para este estudo já se encontrava disponível em arquivo e foi adquirida pelo sensor SAR do RADARSAT-1 no dia 22 de dezembro de 2001 às 20:49. Segundo a tábua de maré disponível no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) o nível de maré no Porto de Suape, localizado a 40km ao sul de Recife, PE, era de 1,7 m às 21:45, horário disponível mais próximo da hora de imageamento do satélite RADARSAT-1 no dia 22 de dezembro de 2001. A imagem RADARSAT, banda C e polarização HH, foi adquirida no fine mode, feixe F3, formato CEOS ,16 bits, projeção UTM e *datum* SAD69.

A etapa inicial de processamento da imagem, onde se aplicaram diversos filtros para a redução de ruído *speckle*, foi realizada através do *software* PCI. Para esta tarefa, foram testados os seguintes filtros: GAMA, Lee, Kuan, Frost, Enhanced Frost, Block Average, Detetor de Borda e Coeficiente de Variação com janelas 3x3, 5x5 e 7x7. *Speckle* é um ruído inerente de sistemas imageadores, como SAR, que utilizam processamento coerente. Este ruído degrada a qualidade da imagem, prejudicando a interpretação da imagem e classificação de alvos (Nyoungui, *et al.*, 2002). A seguinte etapa foi a transformação de escalonamento linear da imagem de 16 bits para 8 bits.

A imagem foi então importada para o software SPRING onde foram feitos o registro, a segmentação, a classificação e a edição das imagens. A imagem não foi ortoretificada, pois a área imageada é considerada plana. O registro foi realizado a partir de uma imagem Landsat-5 previamente registrada. Foram selecionados seis pontos de controle, aplicando então o modelo polinomial de primeiro grau. O erro obtido a partir dos pontos de controle foi de 0,571 pixel. Para diminuir o tempo de processamento e descartar o excesso de informações, antes da segmentação, imagem foi recortada retirando a costa e a parte do mar que não continha os recifes.

Para realizar a classificação, as imagens foram pré-segmentadas, o que torna possível realizar uma classificação baseada em polígonos, ao invés de uma classificação baseada em pixels. A classificação baseada em pixels é problemática uma vez que imagens SAR apresentam ruído *speckle*. Portanto, o método por regiões é mais indicado para este tipo de imagem (Beauchemin *et al.*, 1998 *in* Costa, 1998). A segmentação foi realizada baseada através da técnica de crescimento por regiões numa imagem previamente filtrada. Neste método os polígonos são agregados a partir de pixels individuais, crescendo interativamente até que todos os pixels tenham sido processados. Os limiares dos números digitais de similaridade e tamanho de área foram testados através de tentativa e erro até obter a melhor imagem segmentada para os alvos de interesse.

Para extrair as informações da radiometria da imagem original, a classificação foi feita a partir da imagem SAR original e da imagem segmentada. Uma vez classificada, foi realizada uma edição matricial na imagem, considerando a classificação feita a partir da imagem TM do Landsat-5 como verdade de campo. Posteriormente foi feito um cálculo de precisão da classificação, comparando os resultados da matriz de erro entre as imagens classificadas não editadas e editadas da imagem SAR do RADARSAT com a classificação da imagem TM do Landsat-5. Para este cálculo foi feita uma matriz de confusão entre as imagens classificadas.

4. Resultados e discussão

Os filtros que apresentaram os melhores desempenhos foram: Gama, Lee, Kuan, Frost e Enhanced Frost, seguindo o critério de avaliação de preservação de bordas e supressão de *speckle*. O filtro Kuan foi o que atendeu melhor os requisitos e, portanto, foi o escolhido para a segmentação.

A janela 3x3 foi a que teve melhor desempenho, pois reduziu o *speckle* de forma satisfatória preservando as bordas. Os filtros com janelas maiores reduziram melhor o *speckle*, entretanto, as bordas ficaram mais borradas e perderam a nitidez. Nas **Figuras 1 e 2** está representada uma parte da imagem antes e depois de ter sido aplicado o filtro Kuan com janela 3x3, respectivamente.

Na **Tabela 1** está representada a matriz de erro. Nas colunas estão os dados de referência obtidos da imagem classificada a partir da imagem TM. Nas linhas estão os dados da classificação não supervisionada obtidos da imagem SAR. A precisão do usuário reflete a porcentagem de pixels da imagem classificada do SAR que tiveram a mesma classificação que a imagem classificada do TM. A precisão do produtor representa a porcentagem de pixels classificados do TM que tiveram a mesma classificação do SAR. O valor da precisão do usuário para recife intermareal de 79,3% indica que a imagem SAR conseguiu identificar com boa precisão a localização dos recifes emersos. Entretanto, a baixa precisão do produtor (6,3%) reflete a baixa capacidade do SAR em identificar os recifes submersos. A precisão do produtor de 99% para água indica que quase todos os pixels desta classe foram classificados corretamente pelo SAR. A precisão do usuário não foi tão alta (90,2%) porque houve confusão entre as classes recife intermareal, recife submerso, piscina, areia sobre recife, ruídos próximos à linha de costa e obras de engenharia costeira. Tudo indica que a maior parte dos alvos que não foram detectados pelo SAR estavam submersos.

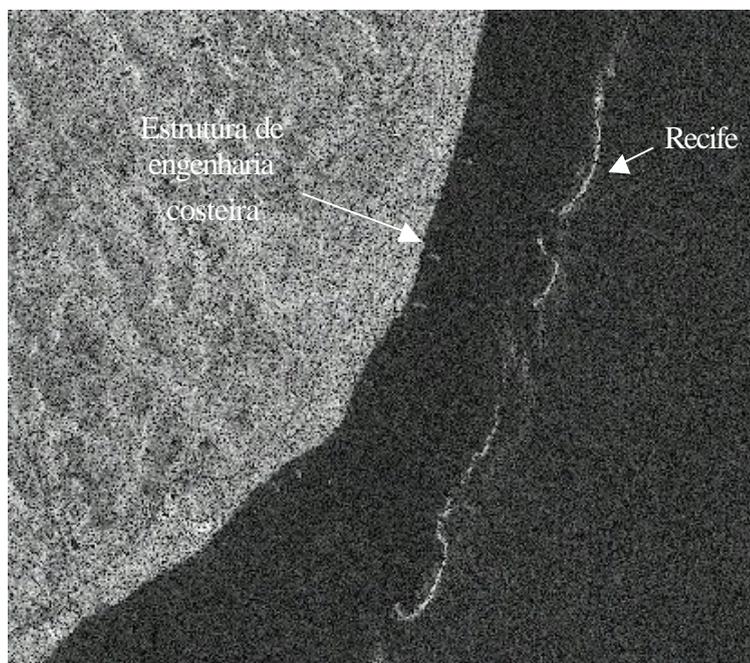


Figura 1 - Imagem SAR do RADARSAT-1 bruta.

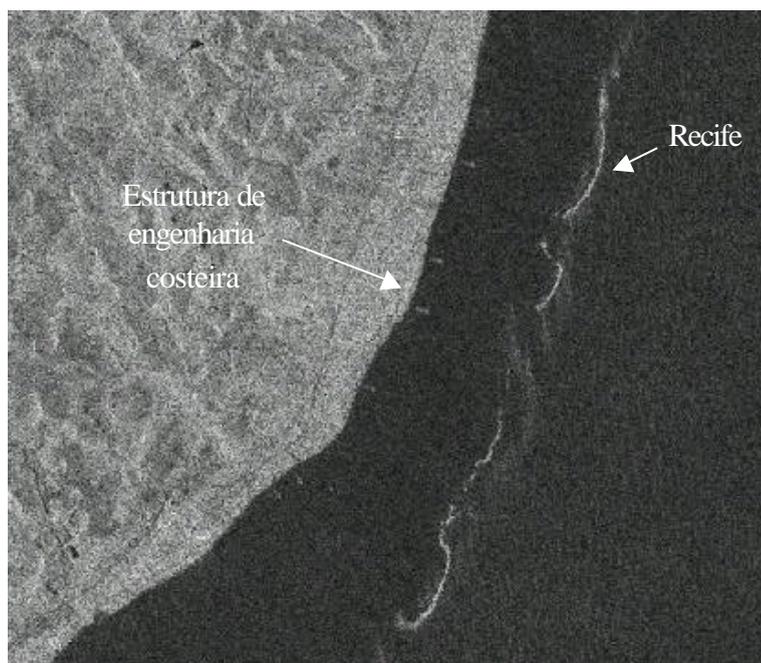


Figura 2 - Imagem SAR do RADARSAT-1 após filtro Kuan com janela 3x3.

Os números digitais de similaridade e de tamanho de área que melhor segmentaram a imagem foram 10 e 5, respectivamente. A classificação com limiar de aceitação de 99% foi a que melhor representou os recifes. Na **Figura 3** está representada uma parte da imagem classificada e editada.

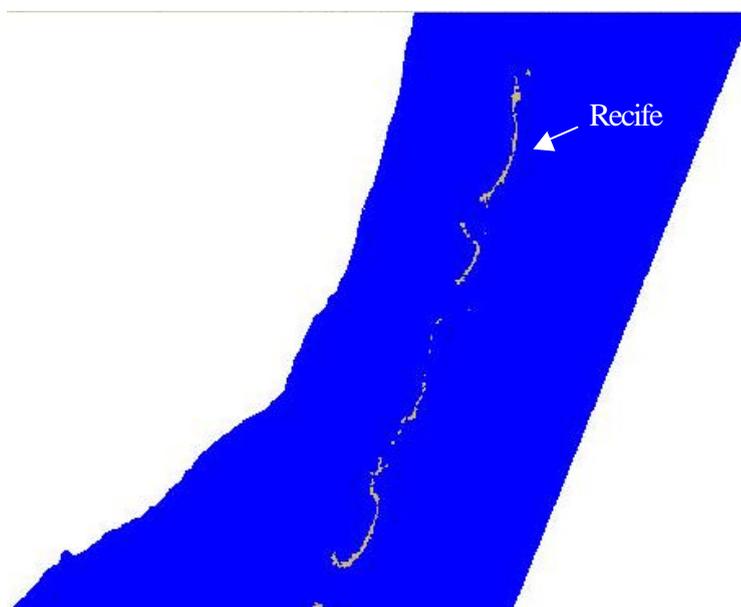


Figura 3. Detalhe da imagem classificada e editada.

Na **Tabela 2** estão representados os dados de referência e da classificação após uma edição matricial. O aumento da precisão do usuário para a classe recife intermareal se deve, em grande parte, à eliminação da confusão gerada próximo à linha de costa. Esta

confusão ocorreu devido ao recorte realizado na imagem original que acabou não eliminando todos os pixels do continente. A boa precisão, tanto do usuário quanto do produtor para a classe ilha indica que o sensor SAR é eficiente para distinguir a interface terra-água. Cabe notar que parte da confusão referente a esta classe ocorreu devido às mudanças na morfologia da ilha, uma vez que a imagem do TM foi adquirida em setembro de 1998, ou seja, três anos antes da imagem do SAR. Os pixels classificados como recife emerso que estavam sobre ou próximos de recifes submersos na imagem referência foram classificados como recifes submersos. Todavia, a precisão de 30,4% é considerada baixa e a maior parte da confusão foi com a classe água.

Tabela 1. Matriz de erro entre as imagens classificadas do SAR/RADARSAT-1 e do TM/Landsat-5.

Dados da Classificação	Dados de Referência						Total da linha	Precisão do usuário (%)
	Recife intermareal	Recife submerso	Piscina	Ilha	Areia sobre recife	Água		
Recife intermareal	14588	18	0	53	37	3710	18406	79,3
Água	216725	54265	619	3	8491	2571683	2851786	90,2
Total	231313	54283	619	56	8528	2575393		
Precisão do produtor (%)	6,3	0	0	0	0	99,9		

Tabela 2. Matriz de erro entre as imagens classificada e editada do SAR/RADARSAT-1 e do TM/Landsat-5.

Dados da Classificação	Dados de Referência						Total da linha	Precisão do usuário (%)
	Recife intermareal	Recife submerso	Piscina	Ilha	Areia sobre recife	Água		
Recife intermareal	4554	4	0	0	37	680	5275	86,3
Recife submerso	0	14	0	0	0	32	46	30,4
Ilha	0	0	0	53	0	29	82	64,6
Água	216759	54265	619	3	8491	2574652	2854789	90,2
Total da coluna	221313	54283	619	56	8528	2575393		
Precisão do produtor (%)	2,1	0,0	0,0	94,6	0,0	99,9		

5. Conclusão

No presente estudo o filtro Kuan com janela 3.3 foi o mais adequado para a remoção de ruído *speckle* e manutenção das bordas. A matriz de erro mostrou uma precisão acima de 80% para a classe recife intermareal, indicando que a imagem SAR *fine mode* do RADARSAT-1 pode identificar recifes de coral emersos. A aquisição da imagem do SAR durante a maré alta prejudicou a classificação dos recifes submersos devendo-se observar a

programação do dia e hora da aquisição das imagens para que as mesmas sejam obtidas durante a maré baixa.

6. Referências

- Ahmad, W.; Neil, D. T. An evaluation of Landsat Thematic Mapper (TM) digital data for discriminating coral reef zonation: Heron Reef (GBR). *International Journal of Remote Sensing*, 1994. v. 15, no. 13, p. 2583-2597.
- Braga, C.Z.F., Gherardi, D.F.M (2001). Mapeamento de recifes costeiros utilizando imagens orbitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu, 2001. *Proceedings*. São Paulo: Fábrica da Imagem, Seções Orais – Oceanografia. p. 13.
- Castro, C. B. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha – Recifes de Coral. <http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/recifes/>, 1997.
- Clark, J. R. Coastal Zone Management Handbook. Florida, *CCR*, 1995. p. 89– 1001
- Costa, M. P. D.; Novo, E. M. L. M.; Ahern, F.; Mitsuo II, F.; Mantovani, J. E.; Ballester, M. V.; Pietsch, R. W. The Amazon Floodplain Through Radar Eyes: Lago Grande de Monte Alegre Case Study. *Canadian Journal of Remote Sensing*, dez. 1998. v. 24, no. 4, p. 339-349.
- Filho, F. W. M. S. Avaliação e Aplicação de Dados de Sensores Remotos no Estudo de Ambientes Costeiros Tropicais Úmidos, Bragança, Norte do Brasil. *Tese de Doutorado*. Universidade Federal do Para, Belém, 2000. 218 p.
- Green, E. P.; Mumby, P. J.; Edwards, A. J.; Clark, C. D. Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. *Paris, United Nations Educational*, 2000. p. 129-175.
- Kuchler, D. A.; Jupp, D. L. B.; Claasen, D. B. R.; Bour, W. Coral Reef Remote Sensing Applications. *Geocarto International*, 1986, vol. 4.
- Moberg, F.; Folke, K. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 1999. v. 29, p. 215-223.
- Nyongui, A. N.; Tonye, E.; Akono, A. Evaluation of speckle filter and texture analysis methods for land cover classification from SAR images. *International Journal of Remote Sensing*, 2002. v. 23, n. 9, p. 1895-1925.
- Palme, U. W.; Mura, J. C.; Novo, E. M. L. M.; Soares, J. V.; Kux, H. J. H. Curso – Sensoriamento Remoto por Radares. *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Salvador, abril, 1996.
- Sherbinin, A.; Raustiala, K; Kline, K. Remote sensing data: Valuable support for environmental treaties. *Environment*, jan-feb. 2002. v. 44, 20 p.
- Staples, G. C.; Hurely, J; Burns R. S.. Coastal Zone Monitoring with RADARSAT-1. *RADARSAT International*, 1998. 70 p.
- Stoffle, R., W.; Halmo, D. B.; Wagner, T. W.; Luczkovich, J. J. Reefs from space: satellite imagery, marine ecology, and ethnography in the Dominican Republic. *Human Ecology: An Interdisciplinary Journal*, 1994. v. 22, p. 355.
- Vrieling, A.; Sanden, J. Satellite Remote Sensing for Monitoring Coastline Dynamics of the Canadian Beaufort Sea Coast. *Geomatics Canada*. Canada Centre for Remote Sensing. Nov. 2000. 35 p.