



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**TESE DE DOUTORADO**

**RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA APLICADO AO  
MAPEAMENTO E RECONHECIMENTO DE ZONAS ÚMIDAS  
COSTEIRAS**

**Tese apresentada por:**

**SHEILA GATINHO TEIXEIRA**

**Orientador: Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho (UFPA)**

---

**BELÉM  
2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

T266r Teixeira, Sheila Gatinho

Radar de abertura sintética aplicado ao mapeamento e reconhecimento de zonas úmidas costeiras / Sheila Gatinho Teixeira; orientador: Pedro Walfir Martins e Souza Filho – 2011  
xxii, 105 f.: il.

Tese (doutorado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2011.

1. Sensoriamento remoto. 2. Coeficiente de retroespalhamento. 3. Manguezais. 4. Campos inundáveis. 5. Microtopografia. 6. Ângulo de incidência. 7. ALOS-PALSAR. 8. RADARSAT. I. Souza Filho, Pedro Walfir Martins e, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22º ed.: 621.3678

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA APLICADO AO  
MAPEAMENTO E RECONHECIMENTO DE ZONAS ÚMIDAS  
COSTEIRAS**

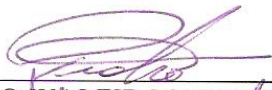
TESE APRESENTADA POR

**SHEILA GATINHO TEIXEIRA**

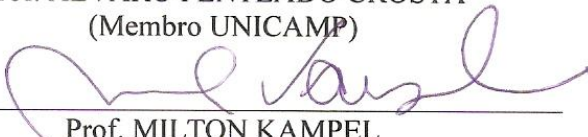
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutora em  
Ciências na Área de GEOLOGIA.**

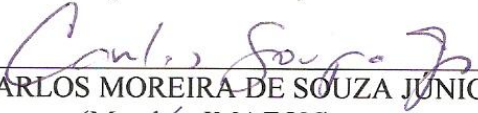
**Data de Aprovação: 09 / 12 /2011**

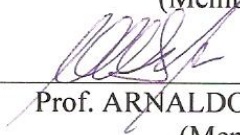
**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. PEDRO WALFIR MARTINS E SOUZA FILHO  
(Orientador-UFPA)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. ALVARO PENTEADO CRÓSTA  
(Membro UNICAMP)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. MILTON KAMPEL  
(Membro-INPE)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. CARLOS MOREIRA DE SOUZA JÚNIOR  
(Membro-IMAZON)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. ARNALDO QUEIROZ DA SILVA  
(Membro-UFPA)

*Aos meus pais, Nailene e Reinaldo,  
a minha irmã, Amanda e ao Alexandre,  
por todo amor e apoio que sempre me  
dedicaram.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pela realização desta tese.

Para mim, é com alegria e prazer, que expresso aqui meus sinceros agradecimentos a diversas pessoas e instituições, sem as quais não seria possível a realização desta tese.

À Universidade Federal do Pará – comunidade de ensino e pesquisa aberta na Amazônia.

Ao PPGG – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA, pela oportunidade da realização do curso de doutorado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado durante os primeiros doze meses de desenvolvimento desta tese.

À Petrobras pelo suporte financeiro através do projeto *PIATAM mar* que tornou possível as viagens de campo.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais através da Supervisora Cristiane Sousa, do Gerente Tomaz Lobato, do Superintendente Regional Manfredo Ximenes e do Diretor de Relações Institucionais Fernando Carvalho, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho através da licença concedida para a finalização da tese.

Ao Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho, não apenas pela orientação, mas também pelo apoio, dedicação e compreensão.

Ao Prof. Dr. Arnaldo Queiroz, pelas sugestões e ensinamentos repassados durante a fase final deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT/UFPA), Suzan Rodrigues, Wilson da Rocha, Diogo Corrêa, Paulo José de Oliveira, Lourival Gomes, Glenda Carvalho e Karla Nascimento, pela amizade, apoio durante os trabalhos no LAIT e também pela convivência harmoniosa durante o período de execução desta tese.

Ao companheiro imprescindível em todas as etapas de campo, Afonso Quaresma (UFPA). Agradeço toda a dedicação, por não medir esforços em tornar possível o levantamento de dados para este trabalho. Agradeço também todos aqueles que me ajudaram nos levantamentos dos dados de campo, como oceanógrafo Gustavo Miranda, o geógrafo Wilson da Rocha e o geólogo Diogo Corrêa.

À amiga, Prof. Dra. Ana Valéria Pinheiro, pela solidariedade, paciência e grande amizade durante o período de execução deste trabalho.

E em especial aos meus pais e minha irmã, por sempre acreditarem em mim e ao meu esposo Alexandre Lins, pelo encorajamento, por sua compreensão, companheirismo e apoio durante toda a realização desta tese.

*“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”*

*Chico Xavier*

## RESUMO

O uso de imagens SAR na identificação de zonas úmidas costeiras, sob diferentes configurações de aquisição e diferentes condições ambientais é um tema de pesquisa na fronteira do conhecimento na área de sensoriamento remoto. Para que seja avaliada as potencialidades do uso de imagens SAR em ambientes costeiros tropicais foi escolhida uma Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense para ser investigada, dado o estado de preservação da área de estudo, onde observa-se, principalmente os ecossistemas manguezais, campos salinos e campos inundáveis por água doce. Imagens RADARSAT e ALOS PALSAR em diferentes modos de imageamento foram adquiridas em diferentes condições ambientais. Em imagens RADARSAT-1 *Wide* 1 foi possível a separação entre os manguezais e os campos inundáveis, nas estações seca e chuvosa, principalmente quando as imagens foram adquiridas em condições de precipitação nula, pois havendo umidade no sistema a separação entre estes ambientes tende a diminuir pelo incremento no retroespalhamento. Não foi verificada a influência da condição de maré alta, nos valores de retroespalhamento das imagens RADARSAT-1. A classificação automática contextual baseada na frequência conseguiu separar os manguezais dos campos inundáveis e da água, nas duas estações do ano. As imagens RADARSAT-1 *Wide* e *Fine*, adquiridas durante o período chuvoso, sob altas precipitações, diferentes condições de maré e diferentes ângulos de incidência ( $20^\circ$  -  $47,8^\circ$ ) foram transformadas pelo método de análise por principal componente que atestou que as mesmas são altamente correlacionadas. A análise do retroespalhamento destas imagens mostrou uma baixa separabilidade para ângulos de incidência menores ( $20^\circ$  a  $31^\circ$ ), enquanto que nas imagens adquiridas em ângulos de incidência maiores ( $41^\circ$  a  $47^\circ$ ) a separabilidade é um pouco maior, quando analisado os ambientes manguezais e campos inundáveis. Em imagens multipolarizadas RADARSAT-2 e PALSAR-HH, adquiridas na estação seca, em áreas de campos inundáveis, salinos e pastejados foi verificado que o parâmetro de microtopografia  $H_{RMS}$ , das áreas de campos, influenciou cerca de 49% os valores de  $\sigma^0$ , da imagem PALSAR-HH. Para as imagens RADARSAT-2, nas polarizações HV e VH, esta influência foi baixa, cerca de 24% e 26%, respectivamente. Nas polarizações paralelas a microtopografia não exerceu influência nas variações de sigma zero. Portanto, imagens SAR podem ser consideradas uma excelente fonte de dado para o reconhecimento e monitoramento de zonas úmidas costeiras tropicais.

**Palavras-chaves:** Sensoriamento remoto. Coeficiente de retroespalhamento. Manguezais. Campos inundáveis. Microtopografia. Ângulo de incidência. ALOS-PALSAR e RADARSAT.



## ABSTRACT

The use SAR images in the identification of coastal wetlands under, different acquisition settings and different environmental conditions is a subject of research at the frontier of knowledge in remote sensing. For that evaluates the potential use of SAR images in coastal tropical environments was chosen an Environmental Protection Area of “Baixada Maranhense” to be investigated, due the preservation state of the study area, where there is mainly mangrove ecosystems, salt marshes and freshwater marshes. RADARSAT and ALOS PALSAR images in different imaging modes were acquired under different environmental conditions. In RADARSAT-1 Wide images was possible the separation between the mangroves and freshwater marshes, in dry and rainy seasons, especially when the images were acquired under conditions of zero precipitation, because if there is moisture in the system, the separation between these environments tends to decrease due the increase in backscattering. There was no influence of the high tide condition in backscattering values RADARSAT-1 images. The frequency-based contextual classification method was able to separate the mangroves, freshwater marshes and water in two seasons. Images RADARSAT-1 Wide and Fine, acquired during the rainy season under high rainfall, different tide conditions and different incidence angles ( $20^{\circ}$  -  $47.8^{\circ}$ ) were transformed by the method of principal component analysis which attested that they are highly correlated. The backscattering analysis of these images showed a low separability for small incident angles ( $20^{\circ}$  to  $31^{\circ}$ ), while the images acquired at incidence angles larger ( $41^{\circ}$  to  $47^{\circ}$ ) separability is slightly higher when analyzed mangroves and freshwater marshes. In multipolarized RADARSAT-2 and PALSAR-HH images, acquired in the dry season, but under different conditions of precipitation, in areas of freshwater marshes, salt marshes and pastures was verified that the microtopography parameter  $H_{RMS}$  influenced about 49 %  $\sigma^0$  values of PALSAR – HH image. For RADARSAT-2 images, the HV and VH polarizations, this influence was low, about 24% and 26%, respectively. In parallel polarizations microtopography did not influenced the variations of sigma zero. Therefore, SAR images can be considered an excellent source of data for the recognition and monitoring of tropical coastal wetlands.

**Keywords:** Remote sensing. Backscattering coefficients. Mangroves. Freshwater marshes. Microtopography. Incidence angles. ALOS-PALSAR and RADARSAT.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

## PARECER


### Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de SHEILA GATINHO TEIXEIRA

A banca examinadora da tese de doutorado de **SHEILA GATINHO TEIXEIRA** intitulada "**RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA APLICADO AO MAPEAMENTO E RECONHECIMENTO DE ZONAS ÚMIDAS COSTEIRAS**" composta pelos Professores Doutores Pedro Walfir Martins e Souza Filho (Orientador-UFPA), Álvaro Penteado Crosta (UNICAMP), Carlos Moreira de Souza Júnior (IMAZON), Milton Kampel (INPE) e Arnaldo de Queiroz da Silva (UFPA) após a apresentação oral e arguição da candidata, emite o seguinte parecer.

A candidata apresentou contribuição relevante ao conhecimento sobre a o uso das micro-ondas para caracterização e mapeamento de ambientes costeiros úmidos, tendo como área de estudo a região do Golfão Maranhense, com a utilização de abordagens quantitativas. A apresentação oral foi clara, bem estruturada e de conteúdo relevante, demonstrando conhecimento da literatura e discussão dos dados apresentados. Na arguição a candidata defendeu sua tese e a hipótese principal nela formulada, bem como respondeu às várias questões gerais e específicas apresentadas. O documento está bem redigido e bem estruturado. Contribuições foram feitas pela banca visando melhoria do trabalho para submissão de artigos científicos.

Com base no exposto, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado.

Belém, 9 de dezembro de 2011

  
Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho (Orientador-UFPA)

Prof. Dr. Álvaro Penteado Crosta (UNICAMP)

  
Prof. Dr. Carlos Moreira de S. Júnior (IMAZON)

  
Prof. Dr. Milton Kampel (INPE)

  
Prof. Dr. Arnaldo Queiroz da Silva (UFPA)