

DETECÇÃO DE EXSUDAÇÕES DE ÓLEO UTILIZANDO IMAGENS  
DO SATÉLITE RADARSAT-1 NA PORÇÃO *OFFSHORE* DO  
DELTA DO NIGER

Carlos Eduardo Dias Roriz

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

---

Dr. Fernando Pellon de Miranda, Ph.D.

---

Prof. Luiz Landau, D.Sc.

---

Dr. Raimundo Almeida Filho, D.Sc.

---

Dr. Ricardo Perez Bedregal, D.Sc.

---

Prof. José Luis Drummond Alves, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

RORIZ, CARLOS EDUARDO DIAS

Detecção de exsudações de óleo utilizando imagens do satélite RADARSAT-1 na porção *offshore* do Delta do Niger [Rio de Janeiro] 2006

IX, 267 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Sensoriamento remoto. 2. Exsudações de óleo. 3. Delta do Niger. 4. Sistemas petrolíferos. 5. RADARSAT-1. 6. Radar de abertura sintética (SAR).

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

A meus pais, Paulo e Nilza.

A meus tios, Carlos Alberto e Maria Aparecida.

A Antonella, com amor, pelo carinho e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade representada por este programa de mestrado, assim como pela saúde e força de vontade necessárias ao seu pleno aproveitamento.

Agradeço à Agência Nacional do Petróleo (ANP) e à COPPE/UFRJ, por todo apoio institucional, financeiro e tecnológico durante a execução deste estudo.

Gostaria de expressar meus profundos agradecimentos ao Dr. Fernando Pellon de Miranda (Petrobras/CENPES) e ao Dr. Luiz Landau (LAMCE/COPPE/UFRJ), pela orientação e discussão durante a confecção desta dissertação.

Aos doutores Raimundo Almeida Filho (INPE), Ricardo Perez Bedregal (LAB2M/COPPE/UFRJ) e José Luis Drummond Alves (LAMCE/COPPE/UFRJ) por terem aceitado integrar a banca examinadora.

Ao Centro Brasileiro de Recursos RADARSAT (CBRR/COPPE/UFRJ), por toda infra-estrutura e bases de dados disponibilizadas durante a minha permanência no laboratório.

Aos amigos Enrico Campos Pedroso (CBRR/COPPE/UFRJ) e Carlos Henrique Beisl (CBRR/COPPE/UFRJ), pelas críticas, sugestões e discussões durante a realização desta dissertação. Agradeço também a todos os outros funcionários e amigos do CBRR, que também contribuíram para a finalização desta pesquisa.

Aos colegas do Mestrado, pela excelente relação pessoal que criamos e que espero manter ao longo de minha carreira.

Agradeço ainda a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

Resumo da dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

DETECÇÃO DE EXSUDAÇÕES DE ÓLEO UTILIZANDO IMAGENS  
DO SATÉLITE RADARSAT-1 NA PORÇÃO *OFFSHORE* DO  
DELTA DO NIGER

Carlos Eduardo Dias Roriz

Junho/2006

Orientadores: Fernando Pellon de Miranda

Luiz Landau

Programa: Engenharia Civil

Esta dissertação tem por objetivo identificar a presença de exsudações de óleo na porção *offshore* do Delta do Niger utilizando dados do satélite RADARSAT-1. Tais imagens, obtidas com um radar de abertura sintética (SAR), foram processadas por meio do algoritmo USTC (*Unsupervised Semivariogram Textural Classifier*). Com o propósito de identificar os falsos alvos nas imagens SAR gerados por fenômenos naturais, foram utilizados para a comparação dados meteorológicos e oceanográficos também adquiridos por satélites. Os resultados da classificação USTC foram a seguir comparados com informações geológicas e geofísicas a partir de sua integração a um banco de dados digitais geo-referenciados e de sua manipulação utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esse ambiente computacional permitiu a aplicação na área de estudo do procedimento de hierarquização (*ranking*) proposto por Miranda *et al.* (2000), o qual inclui critérios tectônicos, temporais e ambientais. Tal metodologia tornou possível o cálculo do fator de confiabilidade ( $F_{c\text{ geral}}$ ) para cada exsudação de óleo interpretada nas imagens RADARSAT-1. As exsudações de óleo identificadas no presente estudo sugerem a existência de sistemas petrolíferos ativos na porção *offshore* do Delta do Niger. O fenômeno de exsudação ocorre principalmente nos domínios tectônicos transicional e compressional.

Abstract of dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DETECTION OF OIL SEEPS USING RADARSAT-1 IMAGES IN  
THE OFFSHORE PORTION OF THE NIGER DELTA

Carlos Eduardo Dias Roriz

June/2006

Advisors: Fernando Pellon de Miranda

Luiz Landau

Department: Civil Engineering

The objective of this dissertation is to detect oil seeps in the offshore portion of the Niger Delta using RADARSAT-1 data. These Synthetic Aperture Radar (SAR) images were processed by means of the USTC algorithm (Unsupervised Semivariogram Textural Classifier). Meteorological and oceanographic ancillary spaceborne data were then utilized to rule out false targets generated by natural phenomena that lead to misinterpretation. Results of USTC classification were further compared with geological and geophysical information as part of a georeferenced digital database manipulated using a Geographic Information System (GIS). Such a computational framework permitted the application in the investigated area of the ranking procedure devised by Miranda *et al.* (2000), which includes tectonic, temporal and environmental criteria. This methodology made possible the calculation of a confidence factor ( $F_{c \text{ overall}}$ ) for each interpreted seepage slick. Seepage slicks identified in this study strongly suggest the existence of active petroleum systems in the offshore portion of the Niger Delta. Seepage occurs mostly within the compressional and translational tectonic domains.

## SUMÁRIO

	Páginas
<b><u>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</u></b>	1 - 7
1.1 – Motivação científica para a realização do trabalho.....	1
1.2 – Objetivos.....	1
1.3 – Justificativa do estudo.....	2
1.4 – Localização da área de estudo.....	2
1.5 – Características hidrológicas, oceânicas e atmosféricas da área de estudo.	3
1.6 – Descrição sucinta da metodologia proposta.....	4
<b><u>CAPÍTULO 2 – GEOLOGIA DO PETRÓLEO NO DELTA DO NIGER</u></b>	8 - 31
2.1 – Geologia regional.....	8
2.2 – Evolução tectono-estratigráfica do Delta do Niger.....	15
2.3 – Sistemas petrolíferos do Delta do Niger.....	25
<b><u>CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS</u></b>	32 – 49
3.1 – Materiais.....	32
3.1.1 – Dados de sensoriamento remoto.....	32
3.1.1.1 – Imagens do satélite RADARSAT-1.....	32
3.1.1.2 – Dados meteorológicos e oceanográficos.....	34
3.1.2 – Dados geológicos.....	35
3.1.3 – Localização dos pontos de amostragem por <i>piston cores</i> .....	36
3.1.4 – Dados geofísicos.....	36
3.1.5 – Dados batimétricos e altimétricos.....	36
3.1.6 – Banco de dados digitais geo-referenciados.....	37
3.2 – Metodologia.....	39
3.2.1 – Aquisição das imagens com resolução degradada ( <i>quicklooks</i> ).....	39
3.2.2 – Análise visual dos <i>quicklooks</i> e escolha das imagens de resolução plena ( <i>full resolution</i> ).....	39
3.2.3 – Processamento digital das imagens de radar.....	40
3.2.4 – Interpolação dos dados batimétricos.....	44

3.2.5 – Digitalização e interpolação dos dados de isópacas, gravimétricos e de profundidade do embasamento magnético.....	45
3.2.6 – Critérios para o estabelecimento de <i>ranking</i> das exsudações de óleo na superfície do mar.....	45
<b><u>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES</u></b>	50 - 78
4.1 – Resultados obtidos com o sensoriamento remoto.....	50
4.2 – Definição do <i>ranking</i> .....	50
4.3 – Integração, análise e interpretação dos dados.....	54
<b><u>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u></b>	79 – 81
<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	82 – 87
<b><u>ANEXO 1 – DETECÇÃO DE EXSUDAÇÕES DE ÓLEO UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR</u></b>	88 – 154
A1.1 – Fundamentos de radar.....	89
A1.1.1 – O radar de abertura real e o radar de abertura sintética.....	100
A1.1.2 – O sistema RADARSAT-1.....	104
A1.2 – Utilização de imagens de radar para a detecção de exsudações e derramamentos de óleo no mar.....	110
A1.2.1 – Reconhecimento de feições similares (falsos alvos) às exsudações de óleo nas imagens de radar.....	115
A1.2.2 – Utilização de dados meteorológicos e oceanográficos como suporte à interpretação de exsudações de óleo no mar.....	135
A1.2.2.1 – Mapas de intensidade do campo de vento.....	135
A1.2.2.2 – Mapas de temperatura da superfície do mar (TSM).....	138
A1.2.2.3 – Mapas de temperatura do topo de nuvens (TTN).....	141
A1.2.2.4 – Mapas de concentração de clorofila-a.....	144
A1.2.2.5 – Mapas de altura significativa de ondas.....	146
A1.2.3 – Exemplos da utilização de imagens RADARSAT-1 na detecção de exsudações de óleo.....	147

<b><u>ANEXO 2 – CATÁLOGO DOS QUICKLOOKS UTILIZADOS NA ANÁLISE VISUAL</u></b>	155 – 175
--	-----------

<b><u>ANEXO 3 – CATÁLOGO DAS INFORMAÇÕES OBTIDAS COM O SENSORIAMENTO REMOTO</u></b>	176 – 262
---	-----------

A3.1 – 08 de agosto de 1996.....	176
A3.2 – 18 de fevereiro de 1998.....	187
A3.3 – 25 de janeiro de 1998.....	203
A3.4 – 26 de outubro de 1996.....	235
A3.5 – 08 de setembro de 1996.....	252

<b><u>ANEXO 4 – TABELAS</u></b>	263 - 267
---------------------------------	-----------

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 – Motivação científica para a realização do trabalho

O Delta do Niger é a vigésima maior província petrolífera do mundo (Tuttle *et al.*, 1999). Suas reservas são estimadas em 22,5 bilhões de barris de óleo, 770 milhões de barris de condensado e 124 trilhões de pés cúbicos de gás (Haack *et al.*, 2000). A produção diária de óleo é da ordem de 2,1 milhões de barris, enquanto que a de condensado é de 85.000 barris (Haack *et al.*, 2000). Estas grandes reservas ocorrem tanto na porção *onshore*, como na região da plataforma continental. Nos últimos anos, a região de águas mais profundas (talude continental) tem sido alvo de esforços exploratórios. Com o propósito de identificar possíveis exsudações de óleo na superfície do mar nesta área de fronteira exploratória, utilizaram-se técnicas avançadas de processamento de imagens aplicadas aos dados do satélite RADARSAT-1, de modo a auxiliar nas atividades de prospecção. A detecção de tais exsudações nas imagens de radar dá indícios da existência de um sistema petrolífero ativo na porção *offshore*, como também auxilia na identificação de possíveis rotas de migração do óleo proveniente das rochas geradoras e/ou dos reservatórios presentes nas unidades do Cretáceo e do Terciário do Delta do Niger.

### 1.2 – Objetivos

Este trabalho teve como objetivo principal a detecção de exsudações de óleo na porção *offshore* do Delta do Niger (Nigéria, costa oeste da África), utilizando imagens do satélite RADARSAT-1. Tais feições foram integradas com informações geológicas armazenadas em um banco de dados digitais geo-referenciados. Desta forma, pretende-se contribuir para a identificação de sistemas petrolíferos ativos na região, como subsídio à exploração de hidrocarbonetos.

### 1.3 – Justificativa do estudo

A porção *offshore* do Delta do Niger foi dividida pelo governo nigeriano em uma série de blocos denominados de OPL (*Oil Prospecting License*). A Petrobras (operadora), juntamente com a ExxonMobil e a Statoil, recebeu a concessão para a exploração em uma destas licenças; o bloco OPL-324. Com o propósito de identificar a presença de exsudações de óleo através das técnicas de sensoriamento remoto por radar nas cercanias do bloco OPL-324, a Petrobras contou com a colaboração do Centro Brasileiro de Recursos RADARSAT (CBRR), localizado na COPPE/UFRJ, como parte do Centro de Excelência em Geoquímica (CEGEQ), uma parceria estratégica desta instituição com o CENPES. Assim, a presente dissertação discute as bases científicas desse estudo de detecção de exsudações de óleo na porção *offshore* do Delta do Niger.

### 1.4 – Localização da área de estudo

A região de estudo selecionada para o desenvolvimento desta dissertação localiza-se na porção *offshore* do Delta do Niger na Nigéria, costa oeste do continente africano (Fig. 1.1), entre as latitudes de 0<sup>o</sup> e 7<sup>o</sup> (norte) e longitude de 2<sup>o</sup> e 9<sup>o</sup> (leste).

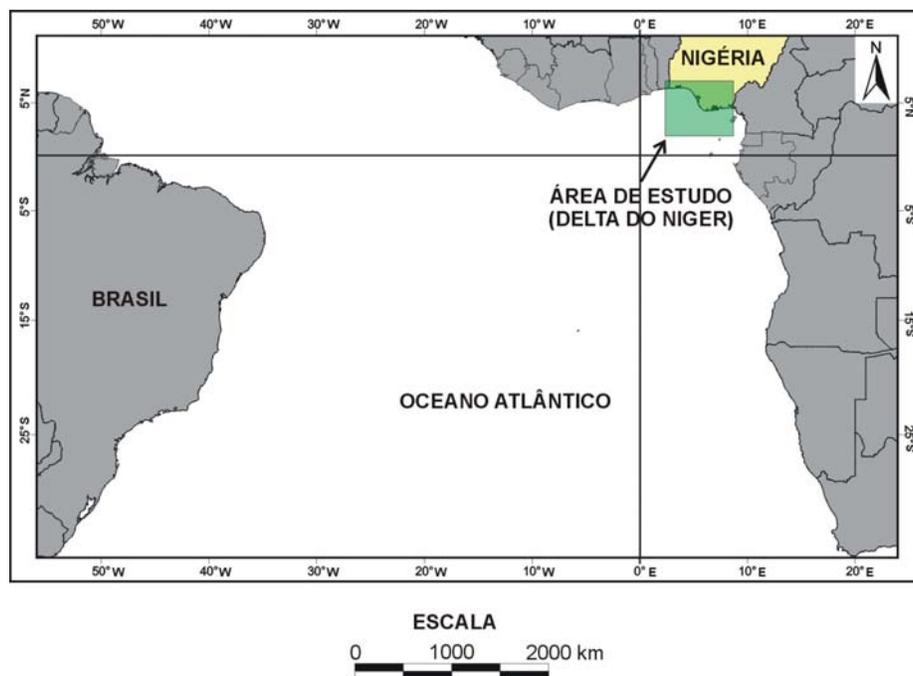


Figura 1.1 - Mapa de localização da área de estudo.

## 1.5 – Características hidrológicas, oceânicas e atmosféricas da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Niger cobre uma área de aproximadamente 2,3 milhões de km<sup>2</sup>. Os fluxos de sedimento nesta bacia provêm de duas fontes principais: da sub-bacia do Rio Niger e da sub-bacia do Rio Benue. A carga sedimentar mais grossa, transportada pelos canais fluviais da sub-bacia do Rio Niger, é da ordem de  $0,3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, enquanto que a carga mais fina, transportada em suspensão, é de  $4,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano (Ibe *in* Stewart, 2004). Já na sub-bacia do Rio Benue, a mais grossa é de  $0,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano e a mais fina é de  $11 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano (Ibe *in* Stewart, 2004). Os sedimentos transportados pelos canais fluviais presentes nestas sub-bacias são depositados na planície deltaica e/ou despejados no mar. No período de agosto a novembro, ocorre a descarga máxima dos rios ( $> 15.000$  m<sup>3</sup>/s), enquanto que no período de janeiro a junho, as menores ( $< 6.000$  m<sup>3</sup>/s) (WDN, 2006).

O embate oblíquo das ondas, com altura variando entre 45 e 250 cm, cria correntes de deriva litorânea (com velocidades de até 1 m/s), que têm a capacidade de redistribuir  $0,74 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano de sedimentos ao longo da costa (Ibe *in* Stewart, 2004). Além disso, correntes de retorno com velocidades de 0,5 m/s podem transportar os sedimentos até 1,6 km da costa (Ibe *in* Stewart, 2004). A amplitude média da maré semidiurna é de 1,43 metros, enquanto que a máxima é de 2,2 metros (WDN, 2006).

A região é afetada por duas correntes oceânicas superficiais, a da Guiné e a de Benguela (Fig. 1.2). A Corrente da Guiné flui para leste ao longo da margem equatorial africana, aproximadamente na latitude de 3<sup>o</sup>N (CIMAS, 2006). Ao alcançar a longitude de 5<sup>o</sup>W, ela ganha força e pode atingir velocidades de até 1 m/s (CIMAS, 2006). Esta corrente possui duas fontes principais (CIMAS, 2006): a Contra Corrente Norte Equatorial e a Corrente das Canárias (Fig. 1.2). A Corrente da Guiné é caracterizada por áreas de ressurgência e de alta produtividade biológica. No verão (maio a setembro), as águas geladas da zona de ressurgência causam uma intensificação da corrente. Ao se aproximar do lobo oeste do Delta do Niger, ela se move no sentido NE, perpendicularmente às isóbatas. A Figura 1.3 mostra o mapa da velocidade e da direção das correntes superficiais na região do Golfo da Guiné. A partir da longitude 2<sup>o</sup>E, a Corrente da Guiné passa a fluir no sentido NE devido à interação com a Corrente de Benguela. Esta última, por sua vez, flui de sul para norte ao longo da costa oeste africana,

com velocidade que varia de 0,11 m/s (mínimo) a 0,23 m/s (máximo), sendo limitada a oeste pela Corrente Sul Equatorial e a leste pela Corrente da Angola (Fig. 1.2) (CIMAS, 2006). As velocidades mais altas ocorrem no sul durante o verão e ao norte durante o inverno (CIMAS, 2006). Ao se aproximar do equador a corrente se move no sentido NE. Mapas regionais do campo de vento na região do Delta do Niger indicam que o sentido predominante dos ventos é NE, ou seja, paralelo à direção das correntes atuantes na área (Fig. 1.4).

#### 1.6 – Descrição sucinta da metodologia proposta

A metodologia proposta para este trabalho consiste de três componentes:

A – Compilação de dados:

- Coleta de dados bibliográficos;
- Compilação dos dados geológicos e geofísicos a partir das informações bibliográficas adquiridas;
- Coleta de dados batimétricos do programa ETOPO5;

B – Componente sensoriamento remoto: aquisição e processamento.

- Levantamento das imagens de arquivo do satélite RADARSAT-1 nos modos de operação *W1*, *W2*, *SCN1* e *SCN2* existentes na região de abrangência do bloco OPL-324;
- Aquisição das imagens de resolução degradada (*quicklooks*) para serem submetidas à análise visual;
- Análise visual dos *quicklooks* com o objetivo de selecionar aqueles que contenham um maior número de feições interpretadas como possíveis exsudações de óleo e que também apresentem as características de condições meteorológicas e oceanográficas mais favoráveis a esse tipo de estudo;
- Solicitação das imagens originais com resolução plena, com base nos resultados do item anterior;
- Processamento das imagens de resolução plena (fase 1) - filtragem para a redução do *speckle* e realce de contraste;

- Processamento das imagens de resolução plena (fase 2) - Utilização do classificador USTC (*Unsupervised Semivariogram Textural Classifier*) proposto por Miranda *et al.* (2004);
- Processamento das imagens de resolução plena (fase 3) - ajuste da PCT (*PseudoColor Table*) mais adequada e agregação das classes obtidas no item anterior para a separação entre superfícies lisas e rugosas;
- Processamento das imagens de resolução plena (fase 4) - Vetorização automática de polígonos no formato *raster* através da utilização de um algoritmo específico e posterior discriminação das feições interpretadas como exsudações de óleo;

C – Componente de integração e análise de dados:

- Integração das informações geológicas, geofísicas e batimétricas com os dados de sensoriamento remoto em um banco de dados digitais geo-referenciados residente em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas);
- Hierarquização das exsudações de óleo, com o objetivo de se obter um fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ ) a partir de critérios tectônicos ( $f_{c\text{ tectônico}}$ ), temporais ( $f_{c\text{ temporal}}$ ) e ambientais ( $f_{c\text{ ambiental}}$ );
- Utilização de técnicas de processamento de imagem para o realce de dados geológicos e geofísicos;
- Confecção de mapas integrando os diferentes tipos de informações geológicas e geofísicas com as feições representativas de exsudações de óleo;
- Análise dos resultados e estabelecimento de conclusões.

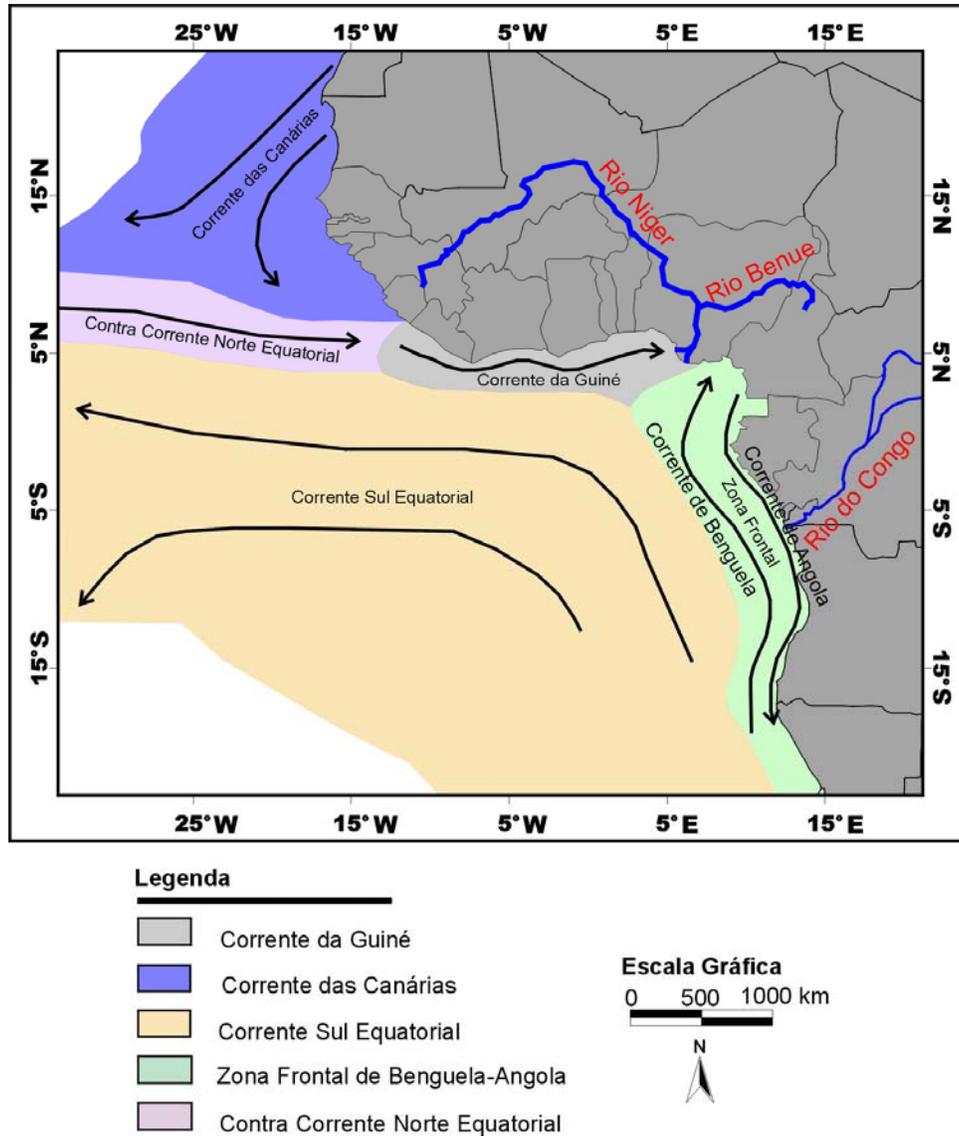


Figura 1.2 - Mapa das correntes oceânicas superficiais presentes na região do Golfo da Guiné. A costa da Nigéria é influenciada principalmente pelas Correntes da Guiné e Benguela (compilado de CIMAS, 2006).

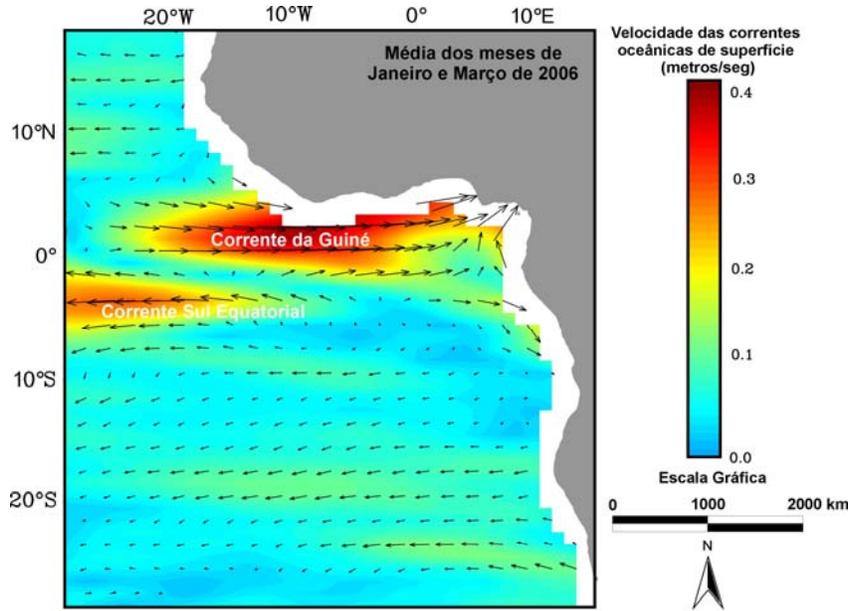


Figura 1.3 - Mapa da velocidade média das correntes oceânicas para o período de janeiro a março de 2006. A partir da longitude 2°E, a Corrente da Guiné passa a fluir no sentido NE devido à interação com a Corrente de Benguela. O produto foi adquirido no *website* do sistema OSCAR ([www.oscar.noaa.gov](http://www.oscar.noaa.gov)).

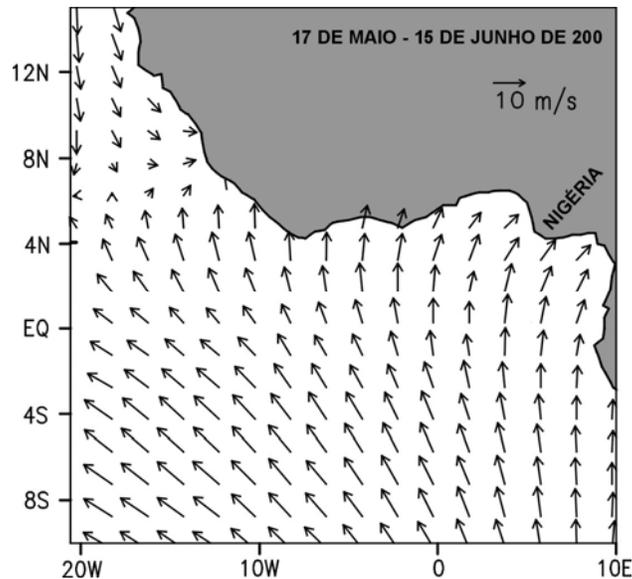


Figura 1.4 - Mapa da direção do campo de vento obtido pelo sensor SeaWinds, a bordo do satélite QuickSCAT no período de 17 de maio a 15 de junho de 2000. O sentido predominante dos ventos na região do Delta do Niger é NE, ou seja, paralelo à direção das correntes atuantes na área (modificado de Grodsky & Carton, 2000).

## CAPÍTULO 2

### GEOLOGIA DO DELTA DO NIGER

#### 2.1 – Geologia regional

Durante a maior parte do Fanerozóico, a Nigéria se encontrava na porção central do paleocontinente Gondwana (Doust & Omatsola, 1990). A partir do Neo-Jurássico (Lehner & Ruiters, 1977), este paleocontinente fragmentou-se, formando os atuais continentes africano e sulamericano. No estágio inicial de abertura do Atlântico Sul, junções triplíceis foram desenvolvidas ao longo do *rift* e, no decorrer da evolução tectônica, um dos braços das junções era abortado, enquanto que os outros dois braços continuavam a se desenvolver. O braço abortado deu origem aos denominados aulacógenos (e.g. Bacia do Recôncavo e o Estreito (*trough*) de Benue-Abakaliki).

Na região do Estreito de Benue-Abakaliki, as zonas de fratura oceânicas do Cretáceo (Romanche, Chain e Charcot) possuem extensões no continente africano (Evamy *et al.*, 1978), estando conseqüentemente articuladas com o arcabouço estrutural da área emersa (Tuttle *et al.*, 1999). Estas zonas de fratura marcam os limites falhados do *rift* (Lehner & Ruiters, 1977). O controle das zonas de fratura oceânicas (Romanche, Chain e Charcot) é nítido quando se observa a imagem batimétrica e altimétrica (Fig. 2.1) da região do Golfo da Guiné. Consta-se que as zonas de fratura possuem o mesmo *trend* estrutural do Estreito de Benue-Abakaliki, evidenciando, com isto, o forte condicionamento que as primeiras exerceram na evolução tectônica do estreito.

A Figura 2.2 exhibe dois *trends* principais de lineamentos magnéticos (Benkleil *in* Saugy & Eyer, 2003), onde o principal deles possui direção ENE-WSW e está associado às zonas de fratura oceânicas (Saugy & Eyer, 2003). A cadeia vulcânica de Camarões com orientação NNE-SSW, é o lineamento magnético mais jovem presente na área (Paleoceno) (Saugy & Eyer, 2003). Já o *trend* NW-SE, segundo Evamy *et al.* (1978), pode ser resultante do falhamento de blocos ocorrido ao longo da borda do continente africano durante o estágio inicial de deriva continental. Para Benkleil *in* Saugy & Eyer (2003), este

*trend* NW-SE está relacionado a um ajustamento estrutural tardio em função de um arqueamento da bacia durante o Cretáceo (Gálico).

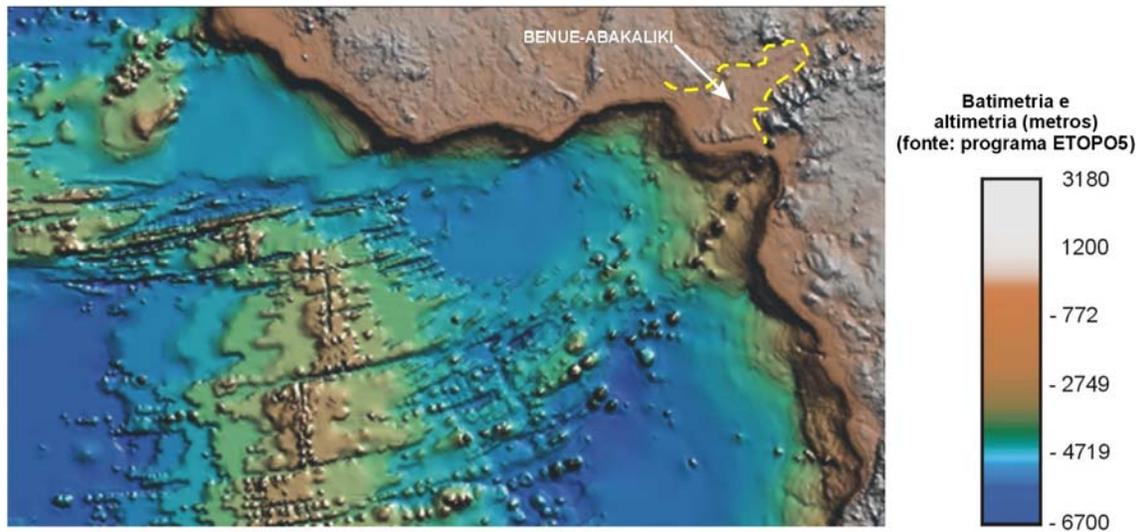


Figura 2.1 - Imagem batimétrica e altimétrica da costa oeste da África sombreada de nordeste ( $43^\circ$  de azimute e  $57^\circ$  de elevação). Na imagem mostrada é nítida a articulação das zonas de fratura do Cretáceo com o *rift* abortado de Benue-Abakaliki.

O estágio *rift* no Estreito de Benue-Abakaliki persistiu até meados do Cretáceo (Gálico) (Lehner & Ruitter, 1977), sendo interrompido devido a uma inversão da bacia durante o Santoniano (Doust & Omatsola, 1990). Tal inversão está possivelmente relacionada à troca do pólo de rotação da placa ou devido à restrição do movimento da placa africana em função da primeira fase tectônica dos Alpes (Doust & Omatsola, 1990).

Neste contexto de ruptura continental, foi desenvolvida a província petrolífera do Delta do Níger. Inicialmente, o *rift* foi preenchido por depósitos do Cretáceo. No final do Eoceno, o delta começou a ser construído sobre a margem continental (Burke, 1973 e Damuth *in* Hooper *et al.*, 2002). De acordo com Lehner & Ruitter (1977), a sedimentação deltaica teve início durante o Oligoceno, enquanto que a atual forma começou a se estabelecer durante o Mioceno. Após o processo de *rift*, o tectonismo gravitacional se tornou o principal agente deformacional, com os folhelhos móveis introduzindo deformação interna devido à carga deltaica sobreposta (Tuttle *et al.*, 1999).

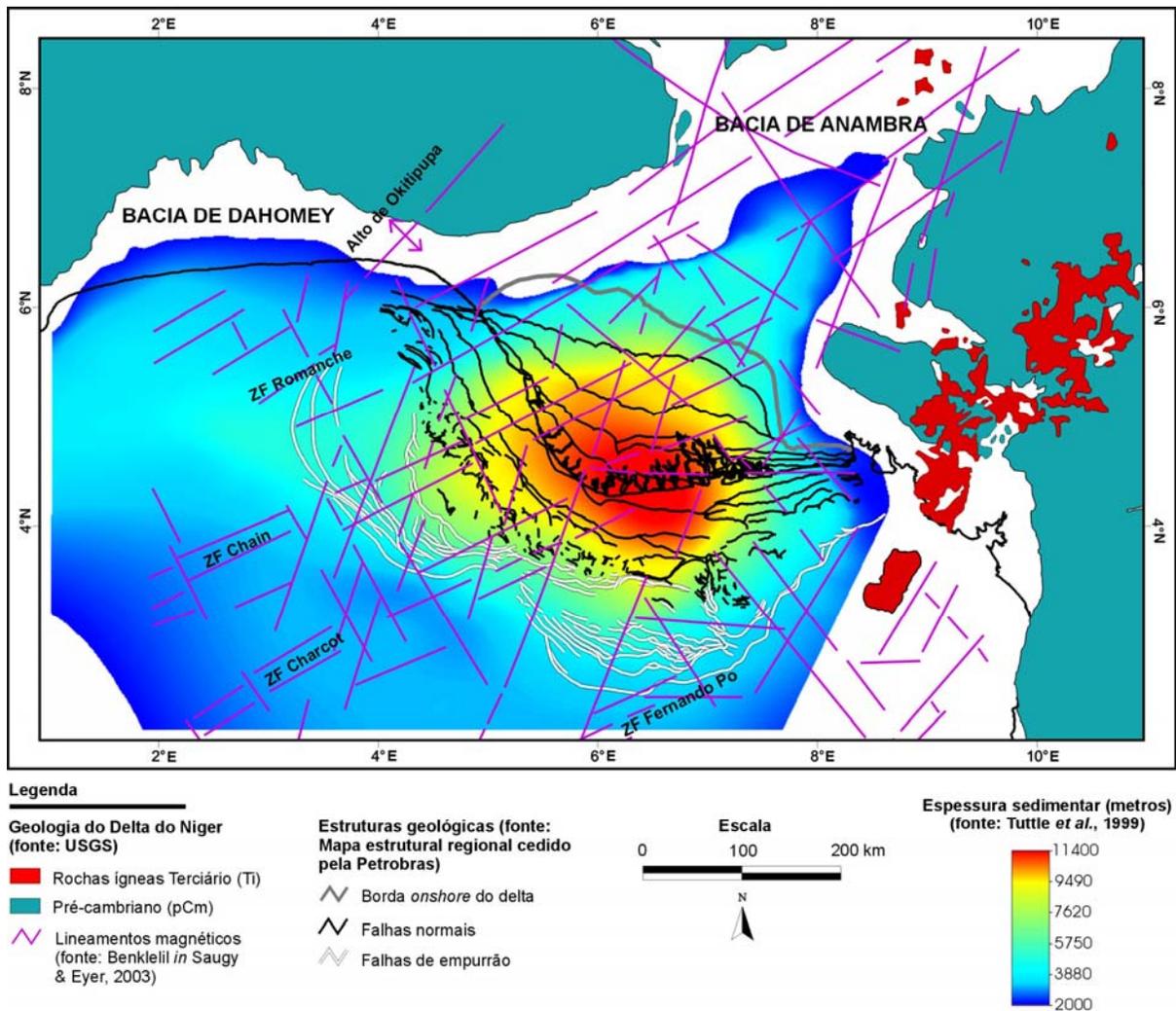
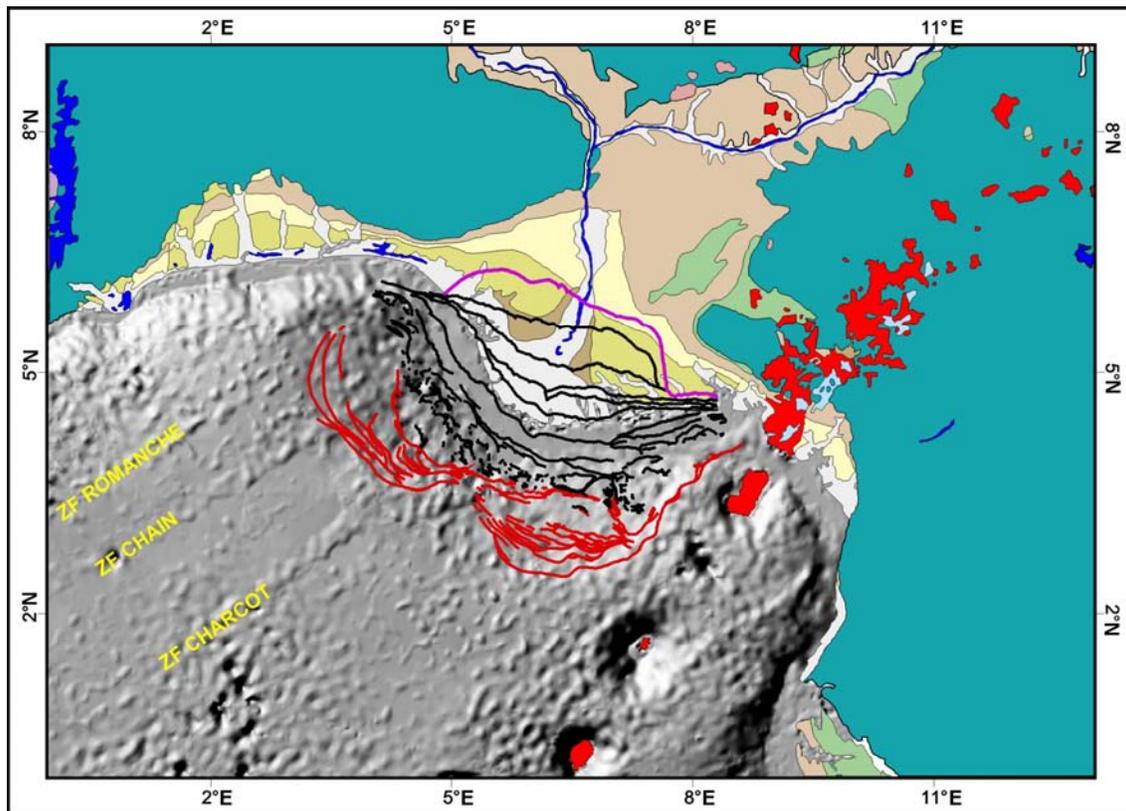


Figura 2.2 – Imagem do mapa de isópacas integrado aos dados estruturais do Delta do Niger. Os lineamentos magnéticos identificados por Benkleil *in* Saugy & Eyer (2003) também estão representados na figura.

As progradações propiciaram a formação de uma espessa sucessão de sedimentos marinhos e marinhos marginais que continuam a ser depositados até os dias de hoje (Whiteman, 1982 e Doust & Omatsola *in* Hooper *et al.*, 2002). O pacote sedimentar moderno possui espessura de até 12 km (Fig. 2.2) e cobre uma área de aproximadamente 140.000 km<sup>2</sup> (Hooper *et al.*, 2002), compreendendo dois lobos principais. O primeiro foi construído na direção oeste e o segundo na direção sul (Hooper *et al.*, 2002) (Fig. 2.3). Segundo Doust & Omatsola (1990), as áreas fontes dos sedimentos seriam as rochas cristalinas das terras altas do complexo do embasamento

da Guiné, sedimentos do Cretáceo e do Terciário oriundos destes complexos e material derivado das zonas vulcânicas de Camarões.



**Legenda**

**Geologia do Delta do Niger  
(fonte: USGS)**

- Água (rio ou lago)
- Holoceno (Qe)
- Cenozóico (QT)
- Pleistoceno (Qp)
- Terciário (T)
- Rochas ígneas - Terciário (Ti)
- Terciário - Cretáceo (TK)
- Rochas ígneas Quaternário (Qv)
- Cretáceo (K)

- Cretáceo inferior (KL)
- Rochas ígneas Mesozóico (Mi)
- Ordoviciano - Cambriano (Ocm)
- Pré-cambriano (pCm)

**Estruturas geológicas (fonte:  
Mapa estrutural regional cedido  
pela Petrobras)**

- Borda *onshore* do Delta
- Falha normal
- Falha de empurrão

**Escala**

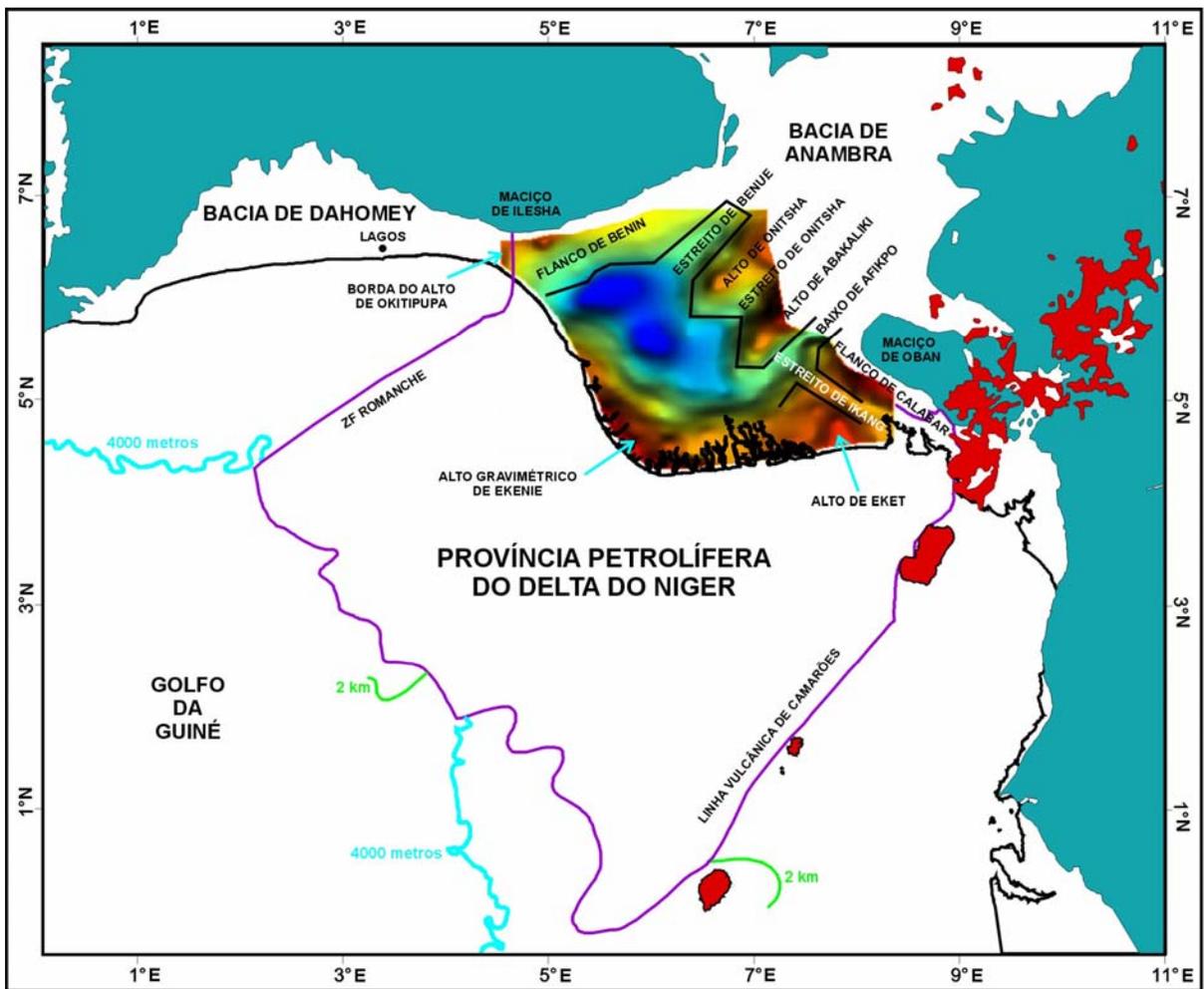
0 100 200 km



Figura 2.3 - Mapa geológico e estrutural integrado à imagem batimétrica sombreada de sudeste (132° de azimute e 53° de elevação) do Delta do Niger.

De acordo com Tuttle *et al.* (1999), a província petrolífera do Delta do Niger abrange, na porção *onshore*, terrenos sedimentares do sul da Nigéria e sudoeste de Camarões. O limite norte é definido pelo Flanco de Benin, enquanto que o limite nordeste é definido pelos afloramentos do Cretáceo nos Altos de Onitsha e Abakaliki (Fig 2.4). Já a porção ESE da província é limitada pelo Flanco de Calabar. Estes limites podem ser observados na imagem do mapa gravimétrico de anomalia Bouguer (em mgal) apresentado na Figura 2.4. Segundo Evamy *et al.* (1978), esta é a melhor informação obtida a respeito da configuração do embasamento (até aquela data) uma vez que o dado magnético (Fig. 2.5) não foi capaz de resolver algumas das estruturas do embasamento observadas no dado gravimétrico (*e.g.* Alto de Onitsha e Estreito de Onitsha). Uma feição interessante que pode ser observada na imagem do mapa gravimétrico de anomalia Bouguer é o Alto de Ekenie (Fig. 2.4) (o embasamento magnético é também elevado nesta região (Fig. 2.5)). De acordo com Evamy *et al.* (1978), a assinatura gravimétrica nesta área é consideravelmente mais alta do que aquelas registradas na porção onde os afloramentos do embasamento granítico ocorrem. Contudo, segundo tais autores, não existem evidências da presença de um embasamento raso nesta região que possa ser observado em linhas de reflexão sísmica e dados de poços. Segundo Evamy *et al.* (1978), o alto gravimétrico de Ekenie pode ser interpretado como uma crosta transicional com densidade mais alta que a crosta continental de composição granítica que aflora na porção noroeste. Tais rochas, como consequência, originariam valores gravimétricos mais elevados, sem que necessariamente ocorra um embasamento mais raso (Hospers *in* Evamy *et al.*, 1978).

Já o limite *offshore* da província é definido pela linha vulcânica de Camarões, a leste. O limite oeste é definido pela zona de fratura oceânica de Romanche, que separa o Delta do Niger da Bacia de Dahomey (Tuttle *et al.*, 1999) (Figs. 2.4 e 2.5). O limite sul da província é definido pela isópaca de 2000 metros e pela isóbata de 4000 metros na região sul e sudeste onde a espessura sedimentar é maior que 2000 metros (Tuttle *et al.*, 1999) (Figs. 2.4 e 2.5).



**Legenda**

**Geologia do Delta do Niger**  
(fonte: USGS)

- Rochas ígneas Terciário (Ti)
- Pré-cambriano (pCm)
- ~ Isópaca de 2 km  
(fonte: Tuttle *et al.*, 1999)

- ~ Isóbata de 4000 metros  
(fonte: Tuttle *et al.*, 1999)
- ~ Limites *onshore* dos blocos do embasamento em subsuperfície  
(fonte: Evamy *et al.*, 1978)
- ~ Limite *offshore* da província petrolífera do Delta do Niger  
(fonte: Tuttle *et al.*, 1999)

**Anomalia Bouguer (mgal)**  
(fonte: Evamy *et al.*, 1978)

**Escala**  
0 100 200 km

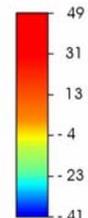


Figura 2.4 - Mapa mostrando os limites da província petrolífera do Delta do Niger nas porções *onshore* e *offshore* da Nigéria. Pode-se observar na imagem do mapa gravimétrico de anomalia Bouguer (em mgal) colorizada e sombreada de sudeste ( $134^\circ$  de azimute e  $73^\circ$  de elevação) os principais blocos do embasamento que limitam a província na porção *onshore*.

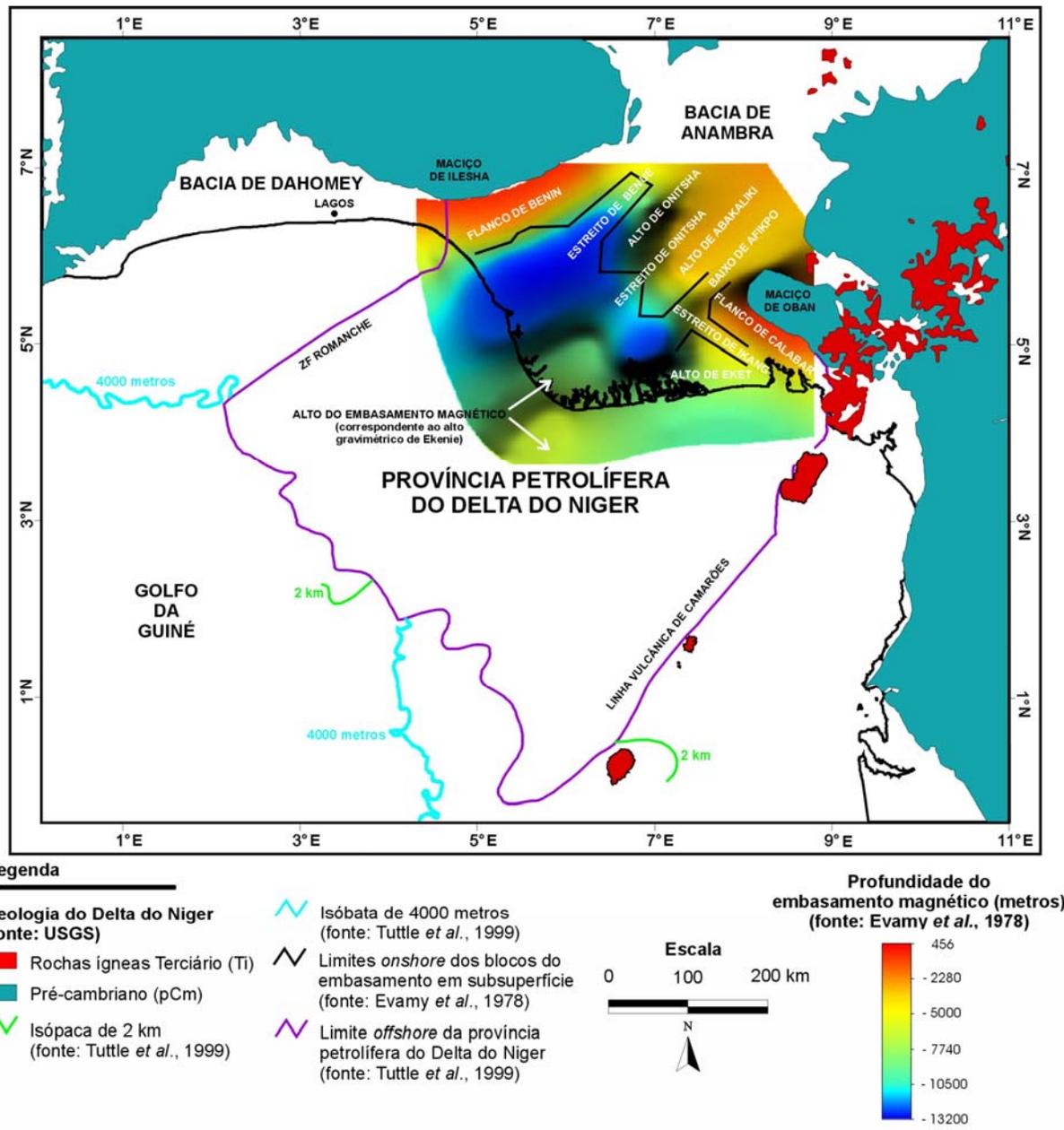


Figura 2.5 - Mapa mostrando os limites da província petrolífera do Delta do Niger nas porções *onshore* e *offshore* da Nigéria. Pode-se observar na imagem do mapa do embasamento magnético colorizado e sombreado de sudeste ( $134^{\circ}$  de azimute e  $73^{\circ}$  de elevação) alguns dos principais blocos do embasamento que limitam a província na porção *onshore*. Algumas das estruturas identificadas na imagem gravimétrica não estão resolvidas no dado magnético (e.g. Alto de Onitsha e Estreito de Onitsha).

## 2.2 – Evolução tectono-estratigráfica do Delta do Niger

O pacote sedimentar depositado no Estreito de Benue-Abakaliki pode ser dividido em quatro unidades geológicas principais (Fig. 2.6), quais sejam: depósitos do Cretáceo, Formação Akata, Formação Agbada e Formação Benin. As três últimas fazem parte da seção terciária do Delta do Niger. As Figuras 2.7, 2.8 e 2.9 mostram seções geológicas ao longo do Delta do Niger.

Os depósitos do Cretáceo depositados onde, hoje, é o Delta do Niger, só podem ser extrapolados a partir das seções expostas na Bacia de Anambra, localizada a nordeste (Figs. 2.3 e 2.7) (Tuttle *et al.*,1999). Do Campaniano ao Paleoceno, a linha de costa na Bacia de Anambra era côncava (Hospers *in* Tuttle *et al.*,1999). A interação entre esta paleolinha de costa e as correntes oceânicas atuantes na região resultou, durante as transgressões marinhas, em uma sedimentação deltaica dominada pela ação de marés (Reijers *et al. in* Tuttle *et al.*,1999). Em períodos de regressões marinhas, a sedimentação deltaica passava a ser dominada pela ação de rios (Reijers *et al. in* Tuttle *et al.*,1999). Segundo Petters & Ekweozor (1982), na porção distal da bacia ocorria uma sedimentação marinha com a deposição de folhelhos negros ricos em carbono orgânico, relacionados a um evento anóxico global durante o Neo-Cretáceo. Em um estudo geoquímico detalhado, realizado no Delta do Niger, Haack *et al.* (2000), identificaram, ainda, a presença de rochas geradoras do Neocomiano de origem lacustre, depositadas, provavelmente, no estágio inicial de deriva continental. A distribuição dos folhelhos cretácicos abaixo da bacia do Delta do Niger é desconhecida, uma vez que tais depósitos ainda não foram perfurados por poços exploratórios na porção *offshore* (Tuttle *et al.*,1999). Porém, as Figuras 2.8 e 2.9, interpretadas a partir de linhas sísmicas regionais, sugerem que tais unidades estão restritas, em sua grande parte, às zonas de fratura oceânicas de Romanche e Chain.

Os folhelhos marinhos da Formação Akata (Paleoceno ao Recente) estão presentes na base da seqüência terciária (Fig. 2.7) (Tuttle *et al.*,1999). Na porção superior desta formação, também ocorrem depósitos turbidíticos (típicos de depósitos de leques de mar profundo) (Tuttle *et al.*,1999). Segundo estes autores, a Formação Akata foi depositada durante os períodos de mar baixo, quando a matéria orgânica terrestre e argilas foram transportadas para águas profundas, onde o ambiente era de baixa energia

e deficiente em oxigênio. De acordo com Doust & Omatsola (1990), a espessura desta formação pode atingir 7000 metros. Sua presença pode ser observada por todo o delta, onde se encontra sob condições de alta pressão, tornando-se móvel (Tuttle *et al.*, 1999). O excesso de pressão, o grau de compactação e o soterramento são os fatores que controlam a mobilidade do folhelho, e não o tipo de argila (Morley & Guerin, 1996). Vários mecanismos foram sugeridos para explicar a geração de pressão anômala de fluidos nos poros das rochas durante o soterramento (Morley & Guerin, 1996). Os dois principais são: (A) Desidratação durante a transição entre esmectita e illita (Bruce *in* Morley & Guerin, 1996); (B) A geração de hidrocarbonetos, em particular a transição de óleo para gás (Baker *in* Morley & Guerin, 1996). Este último, provavelmente, é o processo mais importante para a geração do excesso de pressão.

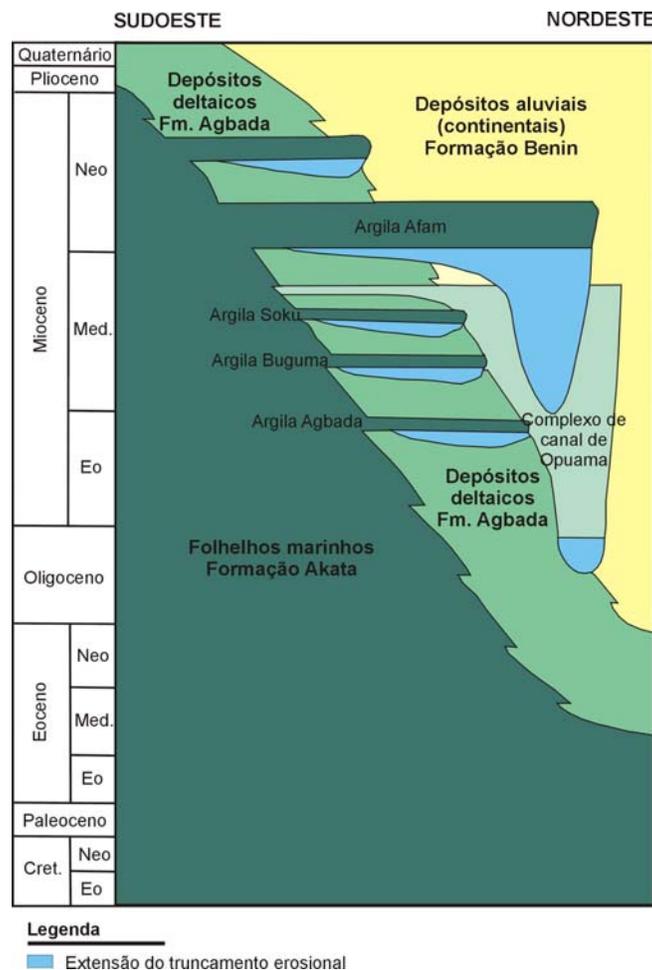


Figura 2.6 - Carta estratigráfica da seqüência terciária do Delta do Niger (modificado de Shannon & Naylor, 1989 e Doust & Omatsola *in* Tuttle *et al.*, 1999).

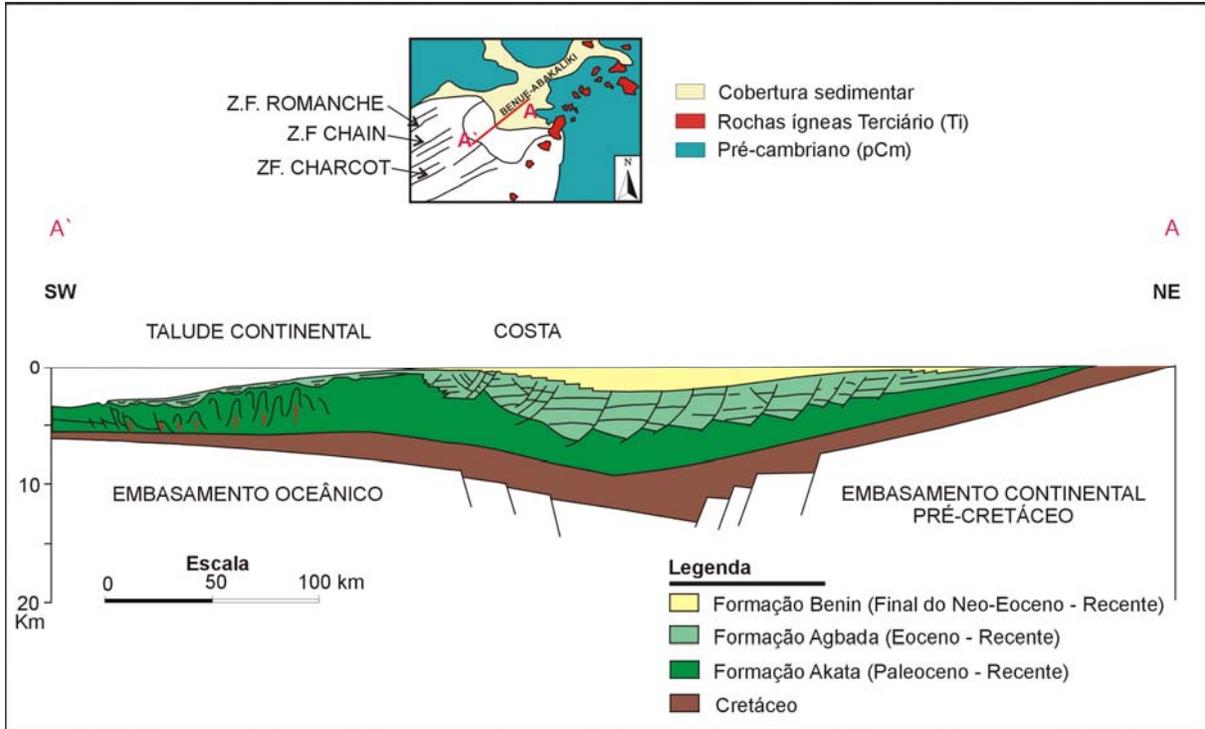


Figura 2.7 - Seção geológica com orientação *dip* ao longo do Delta do Niger mostrando as diferentes unidades litoestratigráficas (modificado de Whiteman *in* Cohen & McClay, 1996 e Thomas *in* Cameron *et al.*, 1999).

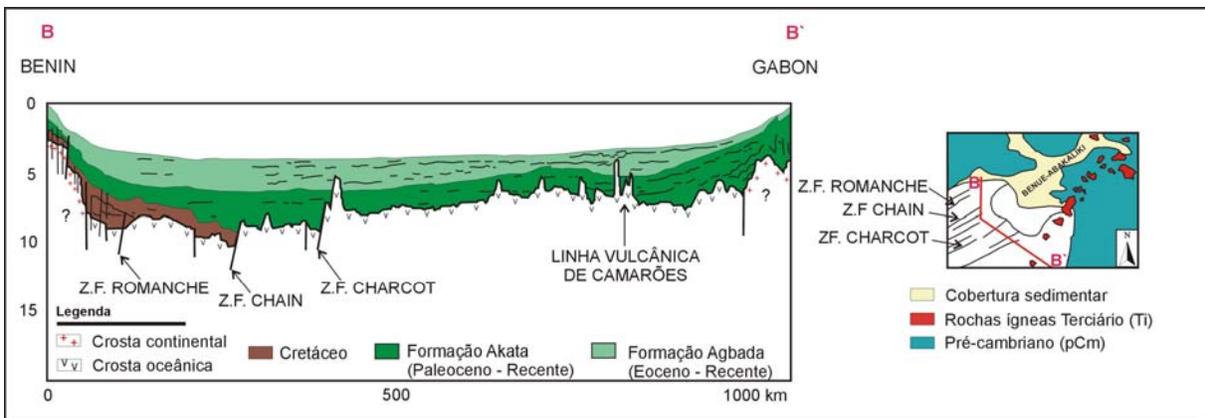


Figura 2.8 - Seção geológica no Golfo da Guiné baseada em perfis sísmicos. A superfície irregular do embasamento oceânico é devida aos altos e baixos relacionados às zonas de fraturas oceânicas (modificado de Lehner & Ruiters, 1977).

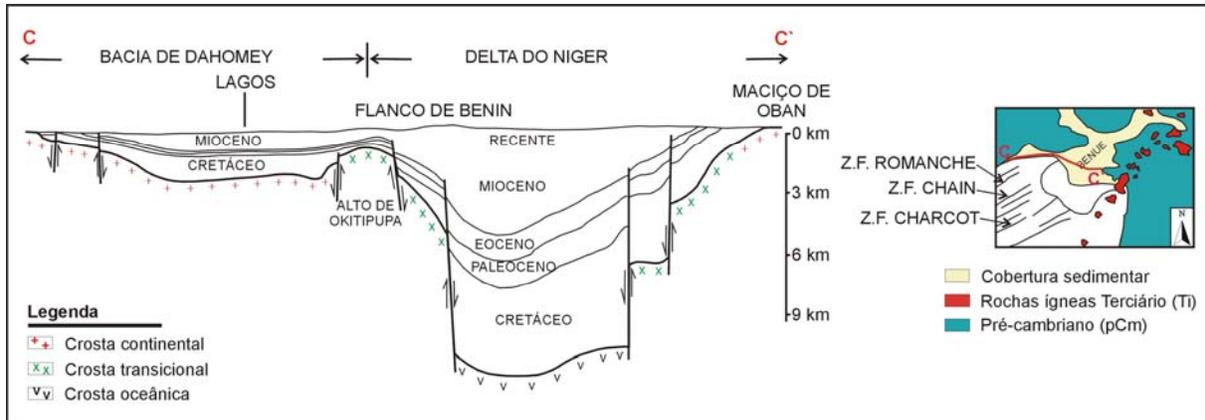


Figura 2.9 - Seção geológica ao longo da porção *onshore* da Bacia de Dahomey e do Delta do Niger mostrando a configuração estrutural do embasamento em cada bacia (modificado de Whiteman *in* Stewart, 2004).

Sobreposta aos folhelhos marinhos da Formação Akata, ocorrem depósitos parálicos da Formação Agbada (Fig. 2.7) (Eoceno ao Recente) (Tuttle *et al.*, 1999). Esta formação possui uma espessura de aproximadamente 3700 metros (Doust & Omatsola, 1990). Segundo Tuttle *et al.* (1999), sua porção inferior possui proporções iguais de folhelho e areia, enquanto que na porção superior aumenta a quantidade de areia. É bom ressaltar que a seção terciária do Delta do Niger foi dividida com base, principalmente, nas razões de areia e folhelho (Tuttle *et al.*, 1999).

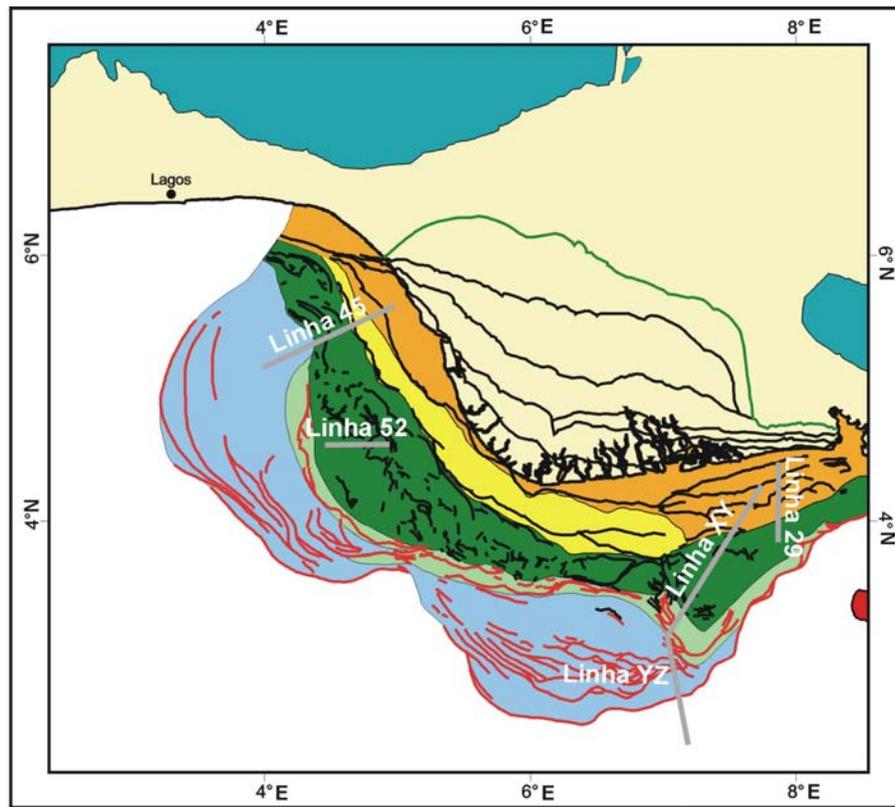
A Formação Agbada é recoberta por depósitos aluviais e de planície costeira (Doust & Omatsola, 1990) da Formação Benin (final do Eoceno Superior ao Recente, conforme Tuttle *et al.*, 1999). Segundo Avbovbo *in* Tuttle *et al.* (1999), esta formação pode atingir até 2000 metros de espessura.

Segundo Tuttle *et al.* (1999), a carga deltaica depositada acima dos folhelhos móveis da Formação Akata introduziu deformações internas nestas duas unidades (Agbada e Benin). Morley & Guerin (1996) individualizaram uma série de províncias tectônicas ao longo do Delta do Niger, a saber: província de falhas de crescimento sintéticas, província de falhas de crescimento antitéticas, província de diápiros, província de empurrões de diápiros e província de empurrões e dobramentos (Fig. 2.10).

Pode-se observar nas linhas sísmicas regionais XY e YZ (Fig. 2.11) o padrão estrutural dos domínios tectônicos presentes ao longo do Delta do Niger. Na porção mais a nordeste da linha XY, predominam falhas de crescimento sintéticas e antitéticas. Já na porção central e sudoeste, predominam os diápiros de folhelhos móveis da Formação Akata, referentes à província de diápiros definida por Morley & Guerin (1996). Na linha YZ e parte da linha XY (porção mais a sudoeste), o estilo tectônico é tipicamente compressional, correspondendo à província de empurrões de diápiros e à de empurrões e dobramentos definidas por aqueles autores. A partir da zona compressional, mar adentro, os estratos passam a assumir um padrão plano-paralelo com *onlap* sobre o embasamento oceânico.

As províncias das falhas de crescimento sintéticas e antitéticas ocorrem na porção extensional do Delta do Niger. Para explicar a formação das estruturas nelas presentes, Evamy *et al.* (1978) utilizaram o modelo da evolução do Golfo do México na costa dos Estados Unidos proposto por Curtis (1970). Neste modelo, o que controlaria a formação das estruturas seria a relação entre as taxas de deposição (**Td**) e de subsidência (**Ts**). Assim, quando **Td > Ts**, o delta progritaria. Caso **Td ≈ Ts**, ocorreria uma agradação sedimentar; se **Td < Ts**, o delta retrogritaria (Fig. 2.12). Desta forma, as falhas de crescimento sintéticas se formam quando os depósitos parálicos da Formação Agbada progritam (**Td > Ts**) sobre os folhelhos móveis da Formação Akata, que estão pouco compactados e possuem baixa resistência ao cisalhamento. Quando a quantidade de espaço criado por uma falha de crescimento é insuficiente para a acomodação dos sedimentos, ocorre a formação de um novo depocentro controlado por falha. Deste modo, ocorre a migração das faixas deposicionais na direção do mar (provavelmente a migração para uma nova faixa deposicional ocorre devido à retirada do folhelho móvel abaixo da cunha parálica progritante, conforme a Figura 2.13) (Doust & Omatsola, 1990). Já a formação das falhas de crescimento antitéticas ocorre quando **Td ≈ Ts** (agradação). Sob estas condições, a quantidade de sedimentos não excede o espaço disponível para a acomodação e o depocentro continua ativo até que **Td > Ts**. Nesta condição, ocorre uma variação lateral de fácies na direção do mar, depositando, assim, fácies parálicas próximo ao continente e folhelhos marinhos costa afora. Com isto, ocorre uma compactação diferencial entre as areias e os siltitos mais densos e os folhelhos marinhos menos densos. Deste modo, as falhas de crescimento antitéticas se formariam na zona de contato propiciada pela mudança de fácies (Fig. 2.12). Quando **Td > Ts**, ocorre a

formação de uma nova faixa deposicional. Nesse contexto, cristas de folhelhos são formadas entre as falhas de crescimentos antitéticas e as falhas de crescimento sintéticas. Descarta-se, deste modo, a origem diapírica para tais estruturas (Fig. 2.12). As linhas sísmicas 29 (Fig. 2.14) e 45 (Fig. 2.15) mostram com maior detalhe as estruturas formadas nestas províncias.



**Legenda**

**Geologia do Delta do Niger (fonte: USGS)**

- Cobertura sedimentar
- Rochas ígneas Terciário (Ti)
- Pré-cambriano (pCm)

**Domínios tectônicos da porção offshore do Delta do Niger (fonte: modificado de Morley & Guerin, 1996)**

- Província de falhas de crescimento sintéticas
- Província de falhas de crescimento antitéticas
- Província de diápiros
- Província de empurrões de diápiros
- Província de empurrões e dobramentos

**Estruturas geológicas (fonte: Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras)**

- Borda do Delta
- Falha normal
- Falha de empurrão
- Linhas sísmicas

**Escala**  
0 100 200 km



Figura 2.10 - Mapa dos domínios tectônicos integrando informações estruturais da porção offshore do Delta do Niger.

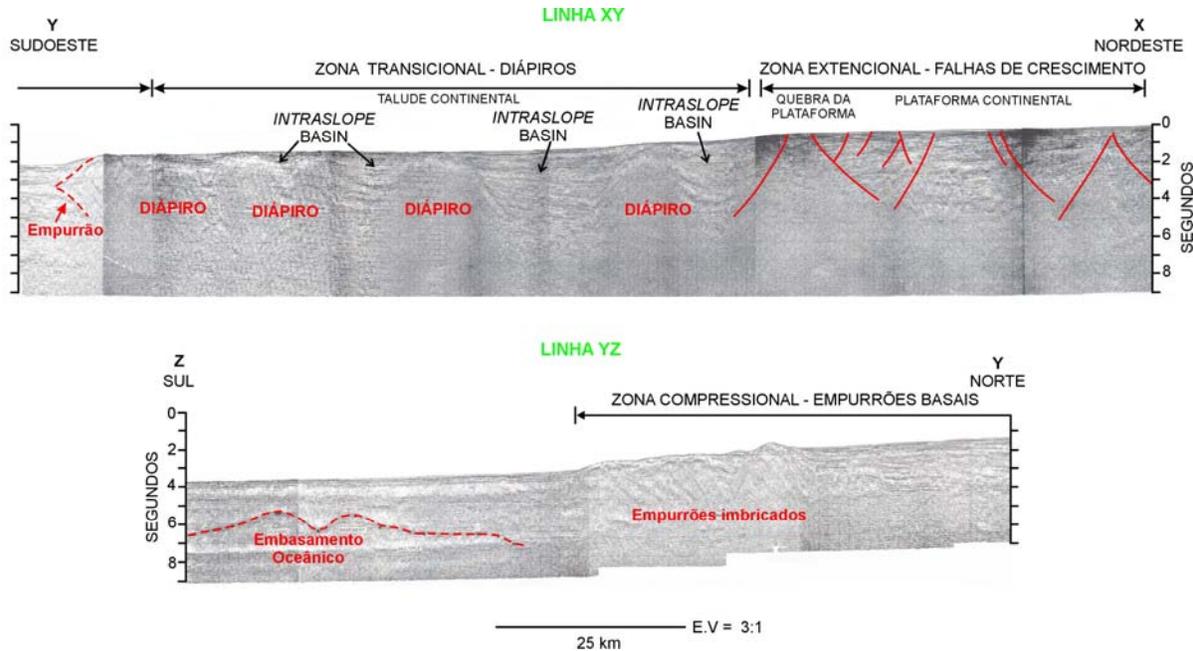


Figura 2.11 - Seções sísmicas regionais (com exagero vertical da ordem de 3:1) retiradas do artigo publicado por Damuth (1994), mostrando os diferentes domínios tectônicos presentes no Delta do Niger. Na porção da plataforma continental, predominam as falhas de crescimento (sintéticas e antitéticas), enquanto que na porção superior do talude continental predominam os diápiros de folhelho. Já na porção basal do talude continental, as falhas de empurrão são as estruturas dominantes. Na região mais a sul, os estratos se dispõem de maneira concordante. Ver Localização na Figura 2.10.

De acordo com Evamy *et al.* (1978), as estruturas presentes na província de diápiros (Figs. 2.10) estariam relacionadas ao fluxo lateral dos folhelhos da Formação Akata sobre o talude continental, o qual foi ocasionado pela progradação da carga deltaica (Fig. 2.13). Estes folhelhos fazem com que a porção basal do delta fique enfraquecida ocasionando, assim, a formação de uma superfície de descolamento. Esta superfície de descolamento forneceria material para os diápiros (Hooper *et al.*, 2002). Como pode ser observado na linha XY (Fig. 2.11), o diapirismo no talude continental acarreta a formação de “sub-bacias” entre os diápiros, sendo, tais bacias denominadas de bacias intratalude (*intraslope basins*) (Damuth, 1994). Já a linha 52 (Fig. 2.16) mostra com maior detalhe os diápiros formados nesta província, onde falhas normais aparecem associadas ao ápice de tais estruturas. Nesta linha também pode ser observado o campo de Bonga, um dos mais prolíficos campos de petróleo do Delta do Niger.

Para explicar a formação da província de empurrões de diápiros e da província de empurrões e dobramentos (Fig. 2.10), Haack *et al.* (2000) propuseram o modelo da “célula de deformação” (Fig. 2.17), onde uma superfície de descolamento de proporção regional deslocaria os pacotes de sedimentos ao longo do delta. Neste modelo, a área **A**, que representa o espaço gerado para a acomodação dos sedimentos nas proximidades das falhas de crescimento, em função da alta carga sedimentar, teria que ser compensada na porção mais distal do delta. Deste modo, falhas de empurrão associadas a dobramentos criariam uma área **A'** com a mesma dimensão de **A**, porém com um relevo positivo. A Figura 2.20 mostra em detalhe as estruturas formadas no domínio compressional.

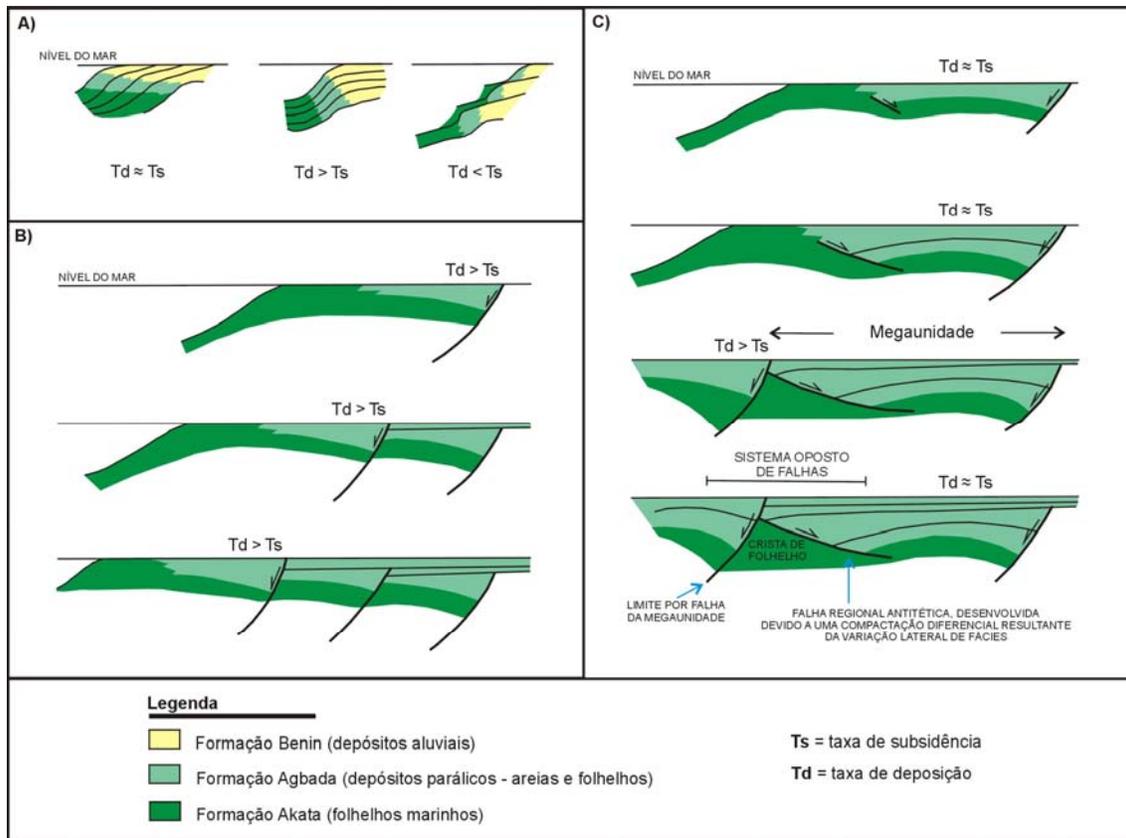


Figura 2.12 - Desenvolvimento esquemático das estruturas sin-sedimentares nos depósitos terciários do Delta do Niger. A) Modelo do padrão de empilhamento sedimentar para diferentes relações entre  $T_d$  e  $T_s$ . B) Desenvolvimento de falha de crescimento quando  $T_d > T_s$ . C) Desenvolvimento de falha de crescimento quando  $T_d \approx T_s$  (modificado de Evamy *et al.*, 1978).

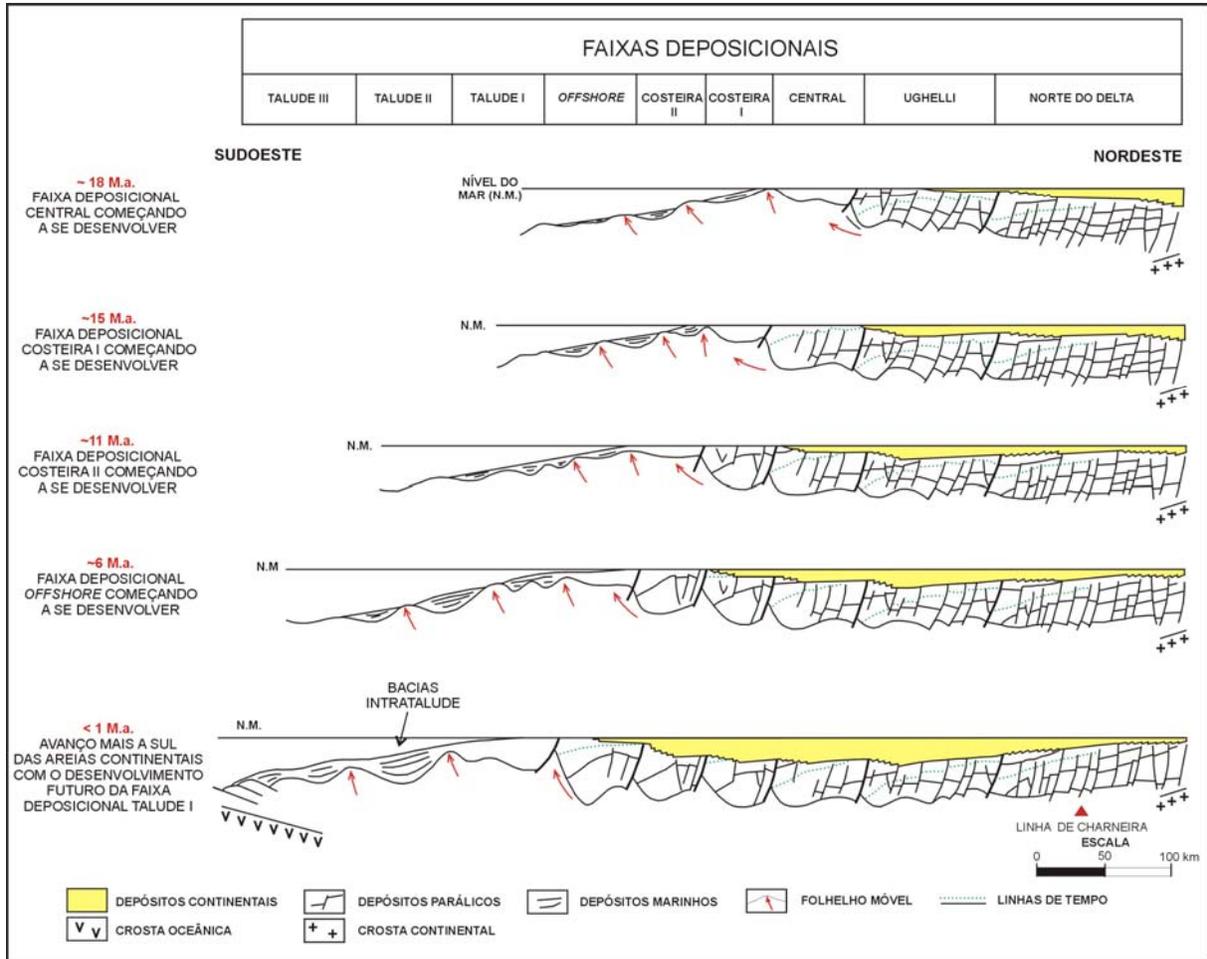


Figura 2.13 - Modelo para explicar a evolução da progradação do Delta do Niger (modificado de Doust & Omatsola, 1990).

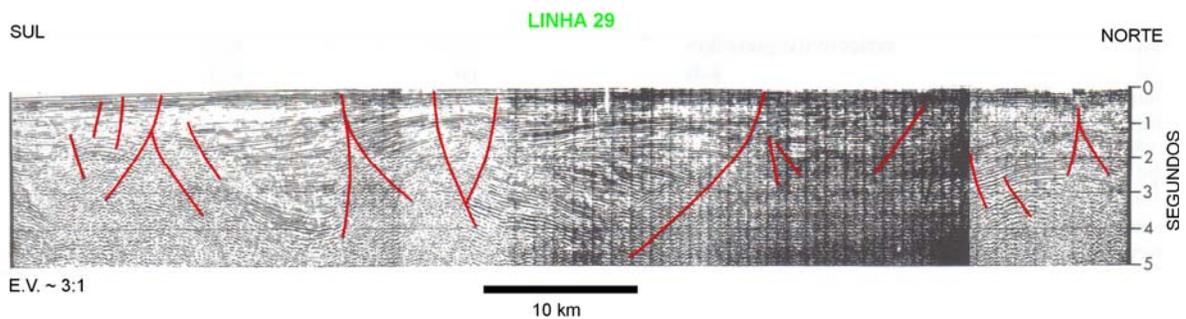


Figura 2.14 - Seção sísmica regional (com exagero vertical da ordem de 3:1) retirada do artigo publicado por Damuth (1994), mostrando a porção da plataforma continental do Delta do Niger. Pode-se observar que esta área é controlada por uma tectônica adiastrófica extensional originada devido à sobrecarga sedimentar. Ver localização na Figura 2.10.

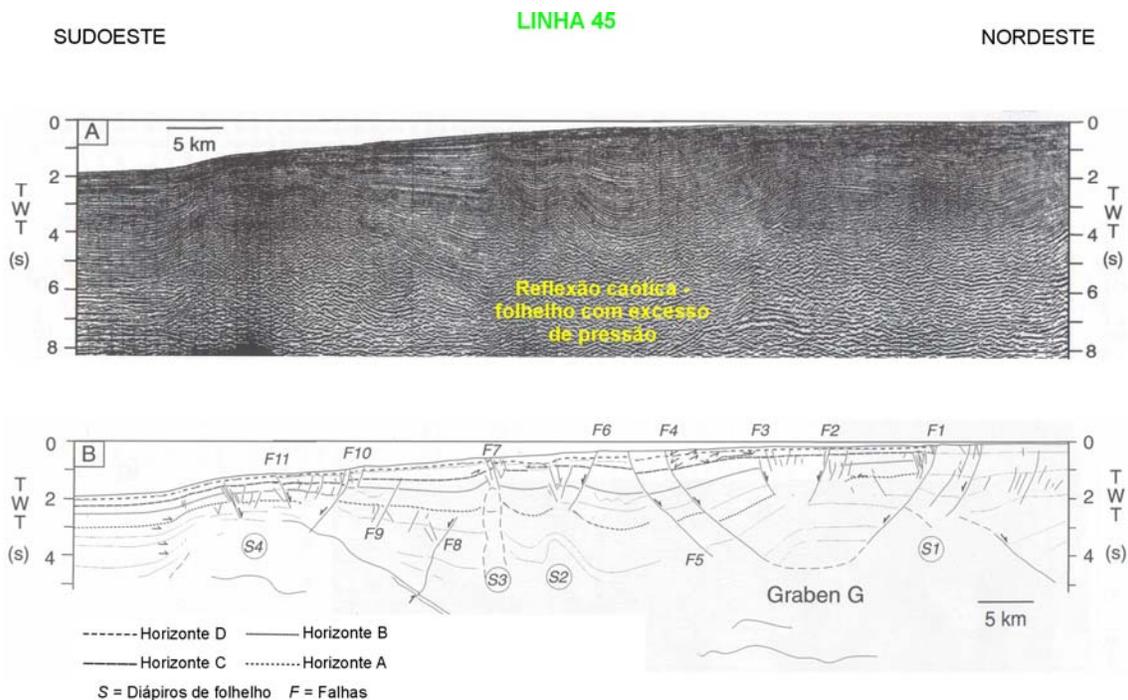


Figura 2.15 - Seção sísmica regional retirada do artigo publicado por Cohen & McClay (1996), mostrando os diferentes domínios tectônicos presentes no Delta do Niger. Na porção nordeste, as estruturas principais são as falhas de crescimento sintéticas passando para um domínio de falhas antitéticas. Já na porção central e sudoeste as estruturas dominantes são os diápiros de folhelhos. Ver localização na Figura 2.10.

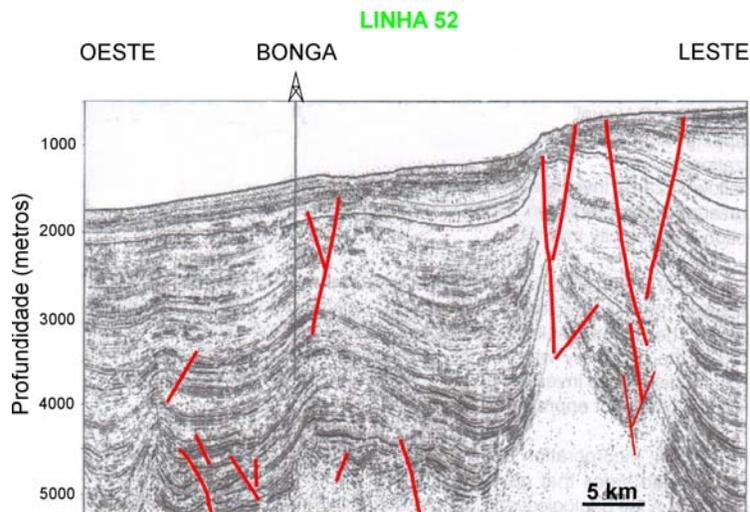


Figura 2.16 - Seção sísmica regional retirada do artigo publicado por Skaloud & Cassidy (1998). A seção está posicionada sobre a província dos diápiros de folhelho. Na linha também está indicado o primeiro poço exploratório perfurado pela *Shell Nigeria E&P Co. Ltd.* no prospecto de Bonga (bloco OPL-212), no ano de 1995. Ver localização na Figura 2.10.

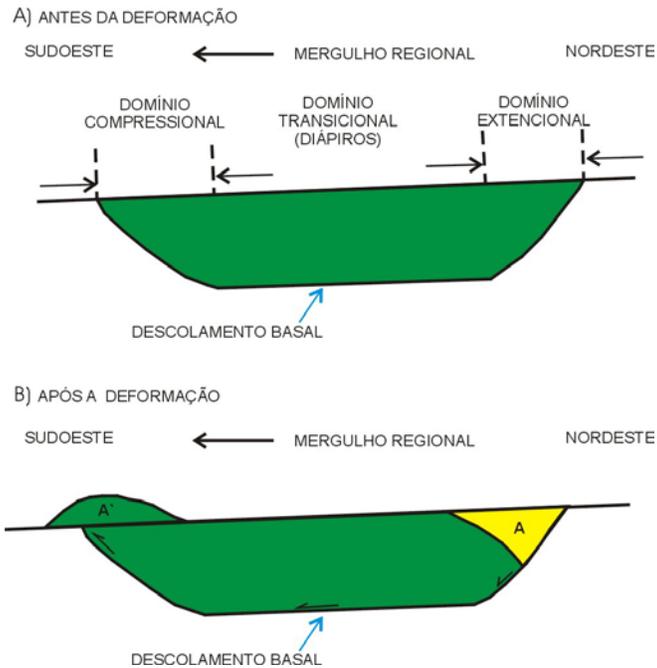


Figura 2.17 - Modelo idealizado da célula de deformação. (A) Célula idealizada antes da deformação. (B) Célula idealizada após a deformação, onde o espaço criado em **A** pelas falhas normais é igual à área **A'** gerada pelas falhas de empurrão. A área **A** representa o espaço gerado para a acomodação e deposição dos sedimentos (modificado de Haack *et al.*, 2000).

### 2.3 – Sistemas petrolíferos do Delta do Niger

Haack *et al.* (2000) definiram três sistemas petrolíferos no Delta do Niger, a saber: Eo-Cretáceo (.), Neo-Cretáceo – Eo-Paleoceno (.) e Terciário (!). No primeiro deles (Eo-Cretáceo (.)), a rocha geradora de origem lacustre foi identificada no poço Ise-2, perfurado na Bacia de Dahomey. Análises geoquímicas realizadas neste poço sugerem que o Índice de Potencial Gerador (*Source Potential Index* - SPI) para o intervalo do Eo-Cretáceo é de 5,24 toneladas de Hc/m<sup>2</sup> de rocha. O SPI permite a hierarquização de diferentes sistemas petrolíferos com base na quantidade e qualidade da matéria orgânica e na capacidade volumétrica da rocha (Rostirolla, 1999). Na prática, o valor de SPI indica quanto de hidrocarboneto pode ser gerado em uma coluna de rocha com uma área superficial de 1m<sup>2</sup> (Rostirolla, 1999). Desta forma, o valor de SPI anteriormente mencionado sugere uma carga baixa a moderada de hidrocarboneto para um sistema com drenagem vertical (pequena área de drenagem dominada por falhas e fraturas) (Haack *et al.*, 2000). De

acordo com Haack *et al.* (2000), uma exsudação de óleo biodegradado, presente em arenitos betuminosos localizados próximo ao flanco norte do embasamento da Bacia de Dahomey, possui a mesma assinatura geoquímica que o óleo identificado neste poço. Apesar deste sistema ter sido definido primeiramente na Bacia de Dahomey, o mesmo pode estar presente na seqüência sedimentar depositada dentro do *rift* de Benue-Abakaliki (Haack *et al.*, 2000).

No segundo (Neo-Cretáceo – Eo-Paleoceno (.)), a rocha geradora de origem marinha foi identificada no poço Epiya-1, perfurado na porção *offshore* do Delta Niger. Neste poço, o SPI, para o intervalo do Neo-Cretáceo ao Eo-Paleoceno, é de 10,05 toneladas de Hc/m<sup>2</sup> de rocha. Tal valor de SPI sugere uma carga moderada de hidrocarboneto para um sistema com drenagem vertical (Haack *et al.*, 2000). Segundo Haack *et al.* (2000), esta rocha geradora (Neo-Cretáceo) também foi identificada ao longo de afloramentos na margem leste do Delta do Niger. Hidrocarbonetos oriundos deste sistema foram recuperados de reservatórios arenosos do Paleogeno identificados no poço Shango-1, dos depósitos do Cretáceo presentes na Bacia de Anambra e do campo petrolífero de Seme na República de Benin. Embora este sistema petrolífero seja muito importante para a geração de óleo em várias bacias do oeste africano, nenhuma grande acumulação de hidrocarbonetos foi identificada na região proximal do Delta do Niger (Haack *et al.*, 2000). Porém, estes autores, acreditam que, na região de águas mais profundas, este sistema petrolífero pode ser a maior fonte para a geração de hidrocarbonetos líquidos.

Por último, e mais importante, temos o sistema petrolífero Terciário (!) do Delta do Niger, conhecido também como sistema petrolífero Akata-Agbada (!). A geradora deste sistema (Eoceno Médio - Plioceno) é de origem deltaica e foi identificada no poço Aroh-2. Neste poço, o SPI, para uma coluna de rocha geradora de 1280 metros, é de 27 toneladas de Hc/m<sup>2</sup> de rocha. Tal valor de SPI sugere uma supercarga de hidrocarbonetos para um sistema com drenagem vertical (Haack *et al.*, 2000). De acordo com os citados autores, tal sistema petrolífero seria responsável por quase toda carga de hidrocarboneto gerado no delta. A rocha geradora deste sistema tem potencial para gerar óleos leves e normais, bem como menores quantidades de gás (Haack *et al.*, 2000). Os hidrocarbonetos deste sistema estariam preenchendo, principalmente, os reservatórios arenosos da Formação Agbada (Tuttle *et al.*, 1999).

Tuttle *et al.* (1999), diferentemente de Haack *et al.* (2000), identificaram apenas um sistema petrolífero no Delta do Niger, o qual correspondente ao sistema petrolífero Akata-Agbada (!), também definido por Haack *et al.* (2000). Na parte central do delta, o óleo seria proveniente dos folhelhos geradores da Formação Agbada, enquanto que os folhelhos geradores da Formação Akata derivariam gás (Ejeawe *et al. in* Tuttle *et al.*, 1999). De acordo com Tuttle *et al.* (1999), cada formação contribuiria variavelmente para a geração de hidrocarbonetos, dependendo, porém, da sua posição dentro do delta e de sua profundidade de soterramento.

Bustin *in* Tuttle *et al.* (1999), após um estudo geoquímico detalhado, concluiu que tanto a Formação Akata quanto a Agbada não são ricas em matéria orgânica (o teor de carbono orgânico total neste estudo apresentou média de 1,4 – 1,6%). Porém, o baixo potencial para a geração teria sido compensado pelo o grande volume destas rochas, pela disponibilidade de rotas de migração, pela excelente drenagem e pela rápida geração de hidrocarbonetos resultante das altas taxas de sedimentação.

Os reservatórios de hidrocarbonetos na porção extensional do complexo deltaico são principalmente arenitos e areias inconsolidadas dentro da Formação Agbada (Tuttle *et al.*, 1999). Em média, estes reservatórios possuem 15 metros de espessura, sendo que apenas 10% deles ultrapassam 45 metros (Evamy *et al. in* Tuttle *et al.*, 1999). Segundo Kulke *in* Tuttle *et al.* (1999), os reservatórios mais importantes são barras em pontais de canais distributários e barras de barreiras costeiras (*coastal barrier bars*) cortadas por canais preenchidos por areias. A variação lateral nas espessuras destes reservatórios é fortemente controlada pelas falhas de crescimento, visto que os reservatórios espessam na direção do bloco baixo (Weber & Daukoru *in* Tuttle *et al.*, 1999).

Já na região das águas profundas, as maiores acumulações de hidrocarbonetos ocorrem em lobos turbidíticos arenosos dentro dos folhelhos marinhos (Saugy & Eyer, 2003). Segundo esses autores, os depósitos turbidíticos foram depositados durante os períodos de mar baixo.

No Delta do Niger, as rochas selantes são intercalações de folhelho dentro da Formação Agbada (Doust & Omatsola *in* Tuttle *et al.*, 1999), representadas por: (A) clastos

de folhelhos ao longo de planos de falha; (B) falhamentos colocando as unidades selantes contra os reservatórios arenosos; (C) selos verticais.

Eventos erosionais ocorridos durante o Mioceno Médio formaram *canyons* submarinos agora preenchidos por argila (Membros Afam, Soku, Buguma e Agbada) (Fig. 2.6) (Doust & Omatsola *in* Tuttle *et al.*, 1999). De acordo com estes autores, tais argilas formam selos para os importantes campos na porção *offshore* do Delta do Niger.

As trapas estruturais podem ser classificadas de acordo com os ambientes tectônicos presentes ao longo do delta (extensional, transicional (diápiros) e compressional). Tais trapas foram desenvolvidas durante a deformação sin-sedimentar da seqüência parálica da Formação Agbada (Evamy *et al. in* Tuttle *et al.*, 1999). Apesar das trapas serem em sua maioria estruturais, armadilhas estratigráficas também ocorrem no delta (Tuttle *et al.*, 1999).

De acordo com Doust e Omatsola (1990), as trapas presentes no ambiente extensional podem ser: trapas associadas a estruturas de *rollover* simples, estruturas com múltiplas falhas de crescimento, estruturas com falhas antitéticas e estruturas com cristas colapsadas (Fig. 2.18). Estes autores também descrevem trapas estratigráficas onde canais estão preenchidos por argilas.

No domínio transicional, as trapas desenvolvem-se em reservatórios turbidíticos associados aos diápiros de folhelho, enquanto que no domínio compressional estes mesmos reservatórios estão intimamente relacionados a faixas de empurrões e dobramentos (Fig. 2.19). A Figura 2.20 exhibe duas linhas sísmicas posicionadas no domínio compressional, onde se observam anomalias sísmicas de amplitude (*flat spots*) associadas às faixas de empurrões e dobramentos dentro da Formação Akata. Tais feições sugerem o contato entre fluidos distintos.

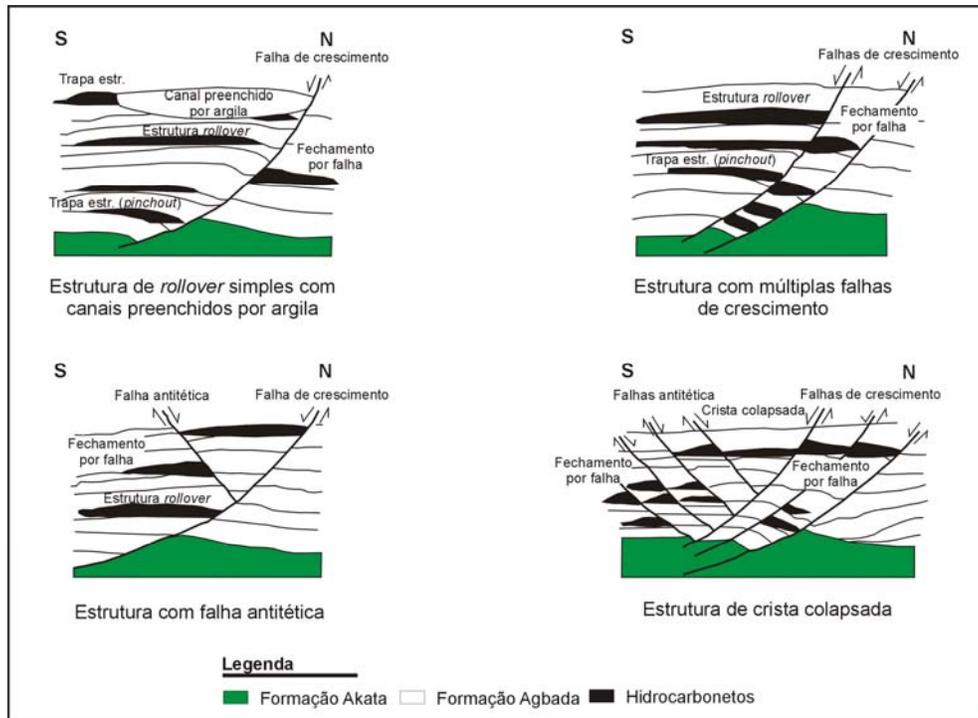


Figura 2.18 - Exemplos dos tipos de prospectos encontrados no domínio extensional do Delta do Niger, modificado de Doust & Omatsola (1990) e Stacher *in* Tuttle *et al.* (1999).

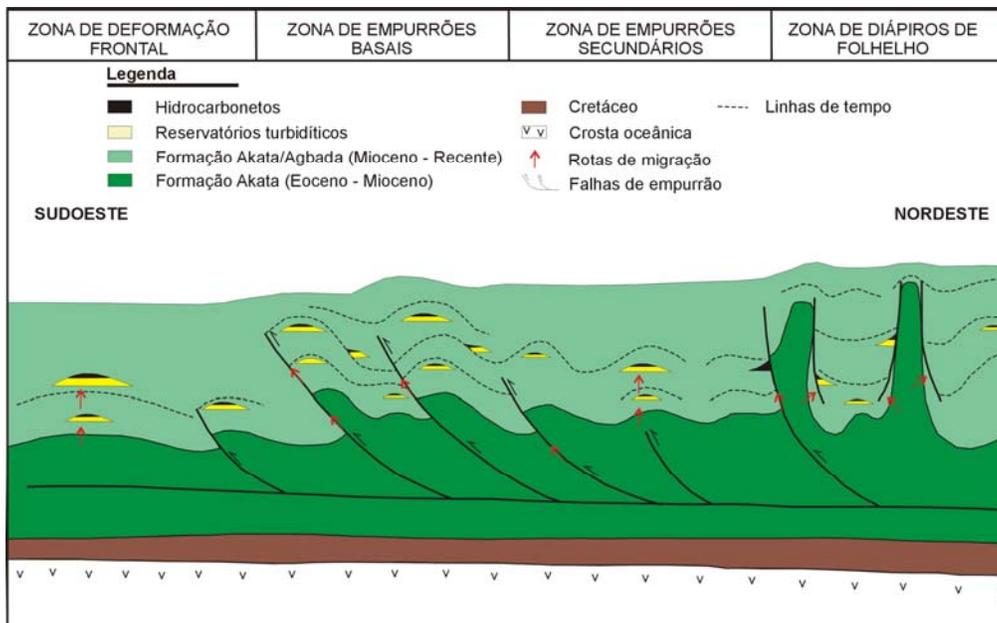


Figura 2.19 - Seção esquemática mostrando os diferentes tipos de trapas estruturais encontradas na porção *offshore* do Delta do Niger. Os reservatórios são depósitos turbidíticos associados aos diápiros de folhelho e à faixa de empurrões e dobramentos (fonte: [www.nigeriasaotomejda.com](http://www.nigeriasaotomejda.com)).

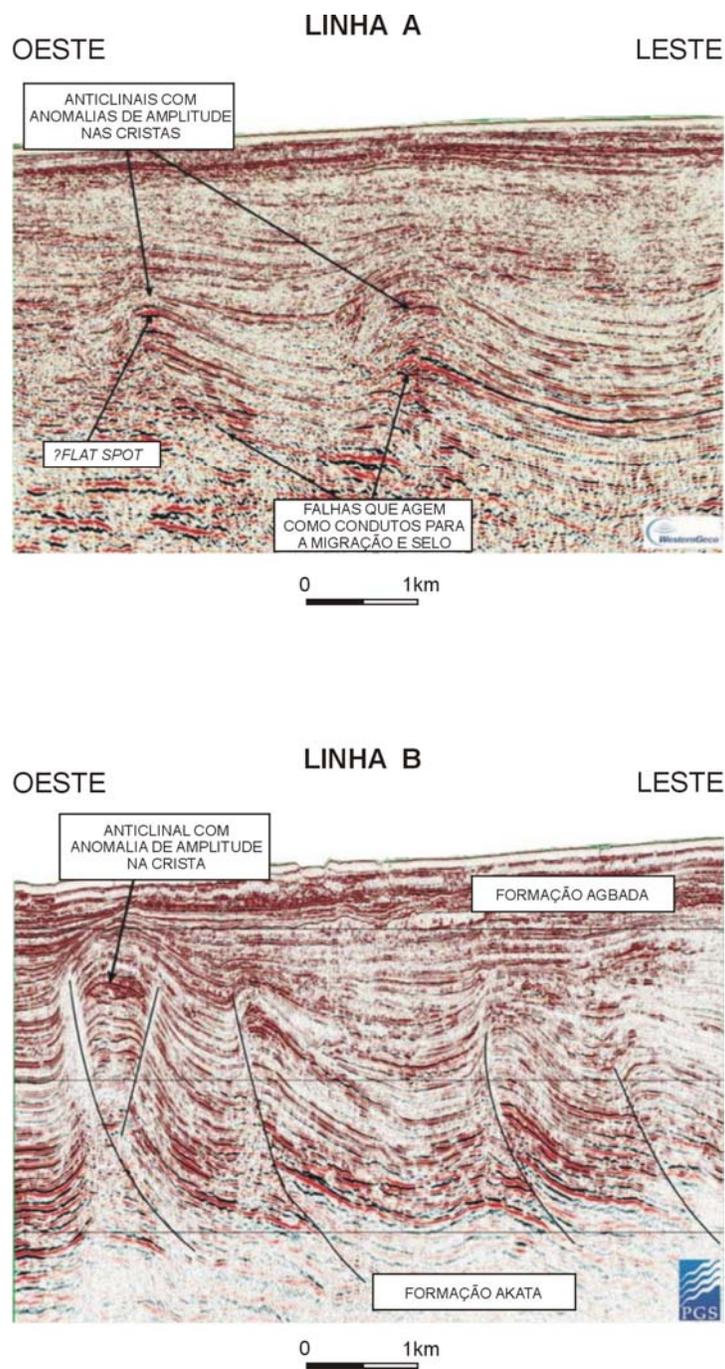


Figura 2.20 - Pode-se observar nas linhas sísmicas A e B as trapas mais comuns formadas no domínio tectônico compressional do Delta do Niger. As seções exibem uma série de falhas de empurrão com anticlinais associados. Em algumas das cristas, ocorrem *flat spots* que sugerem contato entre fluidos distintos (fonte: [www.nigeriasaotomejda.com](http://www.nigeriasaotomejda.com)). A localização das linhas sísmicas não está disponível na referência consultada.

A Figura 2.21 exibe a carta de eventos do sistema petrolífero Akata-Agbada (!) do Delta do Niger. Esta carta mostra que a sobrecarga sedimentar começou no Eoceno Médio e continua até o presente e que a formação dos selos, trapas, reservatórios e a geração, migração e acumulação de petróleo datam do mesmo intervalo de tempo (Eoceno Médio – Recente) (Tuttle *et al.*,1999). Porém as rochas potencialmente geradoras estão presentes deste o Paleoceno.

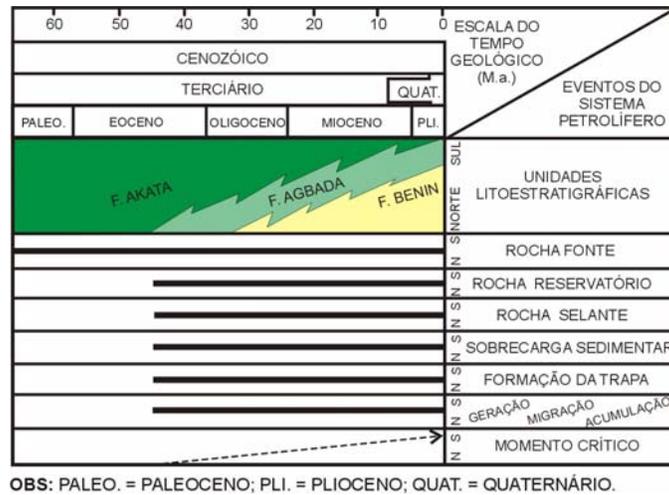


Figura 2.21 - Carta de eventos para o sistema petrolífero Akata-Agbada (!) do Delta do Niger (modificado de Tuttle *et al.*,1999).

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 – Materiais

Os materiais utilizados para compor o banco de dados digitais geo-referenciados foram: (1) dados de sensoriamento remoto; (2) dados geológicos; (3) localização dos pontos de amostragem por *piston cores*; (4) dados geofísicos; (5) dados batimétricos.

##### 3.1.1 – Dados de sensoriamento remoto

Os dados de sensoriamento remoto foram obtidos a partir de diferentes tipos de sensores. As informações referentes aos formatos iniciais dos dados estão sucintamente descritas nos tópicos abaixo.

##### 3.1.1.1 – Imagens do satélite RADARSAT-1

Foram utilizadas 5 (cinco) imagens do satélite RADARSAT-1 com resolução plena (*full resolution*), selecionadas a partir de 19 (dezenove) imagens de arquivo com resolução degradada (*quicklooks*) no formato JPEG em 8 *bits*. As imagens *full resolution* estão no formato CEOS. A RADARSAT Internacional Inc. fornece as imagens em diferentes níveis de processamento. Para este trabalho optou-se pelo produto denominado de *Path Image Plus*, que utiliza um *pixel* de tamanho reduzido à metade, aumentando, com isto, a capacidade de medir alvos pontuais no terreno. Como conseqüência, o arquivo digital é consideravelmente maior. Este produto já se encontra convertido do formato *slant range* para *ground range*, não necessitando de demais correções. Algumas das informações a respeito dos *quicklooks* e das imagens *full resolution* podem ser observadas nas Tabelas 3.1 e 3.2. Nos Anexos 2 e 3 podem ser encontrados os *quicklooks* e as imagens *full resolution* utilizados no estudo, respectivamente. Vale registrar que foram selecionadas imagens *full resolution* correspondentes aos *quicklooks* cuja análise visual indicou um número maior de feições potencialmente indicativas da presença de óleo no mar.

Data de aquisição	Modos de imageamento	Órbita	Número de feições potenciais de óleo identificadas pela análise visual
<b>08/ago/96</b>	<b>SCN1</b>	<b>Ascendente</b>	<b>14</b>
15/ago/96	SCN1	Ascendente	09
25/ago/96	SCN2	Ascendente	09
01/set/96	SCN1	Ascendente	04
<b>08/set/96</b>	<b>SCN1</b>	<b>Ascendente</b>	<b>24</b>
19/out/96	SCN1	Ascendente	11
<b>26/out/96</b>	<b>SCN1</b>	<b>Ascendente</b>	<b>39</b>
01/abr/97	SCN1	Descendente	01
<b>25/jan/98</b>	<b>W1</b>	<b>Ascendente</b>	<b>54</b>
<b>18/fev/98</b>	<b>W1</b>	<b>Ascendente</b>	<b>28</b>
01/jul/98	W1	Descendente	00
12/jul/98	W1	Ascendente	03
25/jul/98	W1	Descendente	02
18/ago/98	W1	Descendente	00
05/out/98	W1	Descendente	12
09/nov/98	W1	Ascendente	03
22/nov/98	W1	Descendente	00
20/mar/00	W1	Ascendente	00
27/mar/00	W1	Ascendente	17

Tabela 3.1 - *Quicklooks* utilizados para a seleção das imagens *full resolution*. As datas destacadas em negrito são referentes às imagens selecionados.

D.A.	M.I.	Órbita	# L	# C	R.E. (metros)	R.R. (bit)	Horário de aquisição (UTC)
08/ago/96	SCN1	Ascendente	14.000	12.736	25	8 U	17:58:01
08/set/96	SCN1	Ascendente	14.000	12.816	25	8 U	17:53:57
26/out/96	SCN1	Ascendente	14.000	12.736	25	8 U	17:54:00
25/jan/98	W1	Ascendente	12.814	14.629	12.50	16 U	17:53:23
18/fev/98	W1	Ascendente	12.900	14.637	12.50	16 U	17:53:30

**OBS:** D.A.=data de aquisição; M.I.=modo de imageamento; # L=número de linhas; # C=número de colunas; R.E.=resolução espacial; R.R.=resolução radiométrica; U=*unsigned* (não sinalizado).

Tabela 3.2 - Imagens *full resolution* selecionadas para análise digital.

### 3.1.1.2 – Dados meteorológicos e oceanográficos

Os dados meteorológicos e oceanográficos foram obtidos a partir de quatro sensores: o SSM/I (*Special Sensor Microwave Imager*), o AVHRR (*Advanced High Resolution Radiometer*), o TOPEX/Poseidon e o Jason-1. Os dados do sensor SSM/I foram obtidos o mais próximo possível do período de aquisição das imagens RADARSAT-1 e empregados para gerar o mapa da intensidade do campo de vento (Tabela 3.3). Porém, só foi possível a utilização dos dados do sensor SSM/I para as imagens RADARSAT-1 do dia 08 de agosto de 1996, 08 de setembro de 1996 e 26 de outubro de 1996. Para as imagens dos dias 25 de janeiro de 1998 e 18 de fevereiro de 1998, não havia informações disponíveis a respeito da intensidade do campo de vento, uma vez que o satélite DMSP F-13 não passou sobre a área correspondente aos *frames* das imagens RADARSAT-1. Também, não foi possível a utilização dos dados do sensor AVHRR para efetuar a confecção do mapa de temperatura da superfície do mar referente a imagem RADARSAT-1 do dia 26 de outubro de 1996, uma vez que esses dados não estavam disponíveis naquela data.

Os dados do sensor AVHRR foram utilizados para gerar os mapas de temperatura de topo de nuvens (TTN) e de temperatura da superfície do mar (TSM). Todos os dados foram coletados o mais próximo possível do período de aquisição das imagens RADARSAT-1 (Tabela 3.3). Os mapas da intensidade do campo de vento, de TTN e de TSM foram confeccionados pela empresa OceansatPEG no formato GEOTiff para a posterior integração no banco de dados digitais geo-referenciados.

Os mapas da velocidade média das correntes superficiais na região do Golfo da Guiné foram obtidos no *website* ([www.oscar.noaa.gov](http://www.oscar.noaa.gov)) do sistema OSCAR (*Ocean Surface Current Analyses – Real time*). OSCAR é um sistema piloto de processamento que disponibiliza dados via Internet referentes à velocidade das correntes superficiais dos oceanos. A velocidade e a direção das correntes geostróficas foram computadas a partir dos gradientes do nível do mar obtidos pelos altímetros a bordo dos satélites TOPEX/Poseidon e Jason-1. Os mapas gerados correspondem a média de 5 (cinco) dias de dados adquiridos por estes satélites. Cada intervalo definido para confecção dos mapas engloba o período de aquisição das imagens RADARSAT-1 (Tabelas 3.2 e 3.3).

Todos os dados meteorológicos e oceanográficos utilizados no estudo encontram-se no Anexo 3 desta dissertação.

### 3.1.2 – Dados geológicos

Os dados geológicos foram obtidos a partir do mapa estrutural do Delta do Niger cedido pela Petrobras e de uma série de dados e artigos coletados na Internet e em bibliotecas nos formatos JPEG, TIFF e PDF. No caso do mapa geológico digital do continente africano, os dados foram obtidos no formato E00 (ARC/INFO), a partir do *website* da USGS (*U. S. Geological Survey*) no seguinte endereço eletrônico: <http://pubs.usgs.gov/of/1997/ofr-97-470/OF97-470A/>. Informações sobre o tipo de dado, projeção, datum e a fonte consultada podem ser encontradas na Tabela 3.4.

Tipo de dado	Data de aquisição dos dados meteo-oceanog.	Horário (UTC) de aquisição dos dados meteo-oceanog.	Intervalo entre aquisição dos dados SAR e os dados meteo-oceanog.	Satélite	Projeção	Datum
<b>M.I.C.V.</b>	08/ago/96	17:24:00	34 minutos (A)	DMSP F-13	Geográfica	WGS84
	08/set/96	12:00:00	5 horas e 53 minutos (A)	DMSP F-13	Geográfica	WGS84
	26/out/96	16:30:00	1 hora e 24 minutos (A)	DMSP F-13	Geográfica	WGS84
	25/jan/98	12:36:00	5 horas e 17 minutos (A)	DMSP F-13	Geográfica	WGS84
	18/fev/98	21:36:00	3 horas e 43 minutos (D)	DMSP F-13	Geográfica	WGS84
<b>TTN</b>	08/ago/96	16:36:00	1 hora e 22 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
	08/set/96	16:56:00	57 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
	26/out/96	11:56:00	5 horas e 58 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
	25/jan/98	16:16:00	1 hora e 37 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
	18/fev/98	13:10:00	4 horas e 43 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
<b>TSM</b>	08/ago/96	16:36:00	1 hora e 22 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
	08/set/96	16:56:00	57 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
	26/out/96	16:07:00	1 hora e 47 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
	25/jan/98	16:16:00	1 hora e 37 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
	18/fev/98	13:10:00	4 hora e 43 minutos (A)	NOAA 12	Geográfica	WGS84
<b>V.M.C.S.</b>	Média de 4 a 8 de agosto de 1996	-	-	TOPEX-Poseidon e Jason-1	Geográfica	WGS84
	Média de 4 a 8 de setembro de 1996	-	-	TOPEX-Poseidon e Jason-1	Geográfica	WGS84
	Média de 24 a 28 de outubro de 1996	-	-	TOPEX-Poseidon e Jason-1	Geográfica	WGS84
	Média de 24 a 28 de janeiro de 1998	-	-	TOPEX-Poseidon e Jason-1	Geográfica	WGS84
	Média de 13 a 17 de fevereiro 1998	-	-	TOPEX-Poseidon e Jason-1	Geográfica	WGS84

**OBS:** M.I.C.V.=mapa da intensidade do campo de vento; TTN=temperatura do topo de nuvem; TSM=temperatura da superfície do mar; V.M.C.S.=velocidade média das correntes superficiais; (A)=antes da aquisição da imagem RADARSAT-1; (D)=depois da aquisição da imagem RADARSAT-1, UTC=*Coordinated Universal Time*.

Tabela 3.3 - Relação dos dados meteorológicos e oceanográficos utilizados no estudo.

Tipo de dado geológico	Projeção	Datum	Fonte consultada
Falhas geológicas	Geográfica	WGS84	Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras
Domos de folhelhos	Geográfica	WGS84	Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras
Lineamentos magnéticos	Geográfica	WGS84	Benkleil <i>in</i> Saugy & Eyer (2003)
Mapa geológico digital do continente africano	Geográfica	WGS84	USGS
Mapa dos domínios tectônicos da porção <i>offshore</i> do Delta do Niger	Geográfica	WGS84	Morley & Guerin (1996)
Mapa de isópacas referente à espessura total de sedimentos	Geográfica	WGS84	Kaplan <i>et al. in</i> Tuttle <i>et al.</i> (1999)

Tabela 3.4 - Relação de todos os dados geológicos utilizados no estudo.

### 3.1.3 – Localização dos pontos de amostragem por *piston cores*

As informações de posicionamento das amostras de *piston cores* realizadas no talude continental do Delta do Niger foram obtidas no *website* da TDI Brooks ([http://www.tdi-bi.com/our\\_programs/west\\_africa/west-africa\\_main.htm](http://www.tdi-bi.com/our_programs/west_africa/west-africa_main.htm)). Estes dados foram disponibilizados na forma de tabelas com coordenadas em grau decimal e datum WGS84.

### 3.1.4 – Dados geofísicos

Os dados geofísicos foram obtidos a partir de diversos artigos encontrados na Internet e em bibliotecas. Estes dados são de três tipos: linhas sísmicas de reflexão, mapa de anomalia gravimétrica Bouguer (em mgal) e mapa da profundidade do embasamento magnético (em pés). Todos os dados foram obtidos no formato TIFF ou PDF. Deve-se ressaltar que, no total, foram coletadas 49 (quarenta e nove) linhas sísmicas. Elas foram posteriormente integradas a um banco de dados digitais geo-referenciados criado em ambiente ArcView. Informações sobre o tipo de dado, projeção, datum e a fonte consultada estão na Tabela 3.5.

### 3.1.5 – Dados batimétricos e altimétricos

Os dados batimétricos e altimétricos foram obtidos do *website* ([http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get\\_data.cgi](http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi)) do programa ETOPO5 (*Earth Topography – 5 minutes*). As informações referentes a este programa são de domínio público e foram reunidas a partir de diferentes fontes. A batimetria oceânica foi compilada pelo *U. S. Naval Oceanographic Office*, enquanto que o dado altimétrico foi compilado por órgãos e

agências de diferentes partes do mundo. As informações batimétricas e altimétricas disponíveis nesta base de dados estão espaçadas em intervalos de 5 minutos de latitude por 5 minutos de longitude, fornecidas em arquivos no formato XYZ. Para este estudo, os dados foram obtidos entre os pares de coordenadas 5<sup>o</sup> de longitude (oeste) 10<sup>o</sup> de latitude (norte) e 10<sup>o</sup> de longitude (leste) 10<sup>o</sup> de latitude (sul).

Tipo de dado geofísico	Projeção	Datum	Fonte consultada
Linhas sísmicas de reflexão	Geográfica*	WGS84*	Damuth, 1994 (44 L); Cohen & MacClay, 1996 (3 L); Skaloud & Cassidy, 1998 (1 L); Stewart, 2004 (1 L) → <b>total de 49 linhas</b>
Mapa de anomalia gravimétrica Bouguer (em mgal)	Geográfica	WGS84	Evamy <i>et al.</i> (1978)
Mapa da profundidade do embasamento magnético (em pés)	Geográfica	WGS84	Evamy <i>et al.</i> (1978)
<i>Bottom Simulator Reflectors</i> (BSR's)	Geográfica	WGS84	Cunningham <i>et al.</i> in Brooks <i>et al.</i> (1999)

\*Os posicionamentos das linhas foram obtidos a partir de mapas disponibilizados pelos autores dos artigos utilizando a projeção Geográfica e o datum WGS84.

Tabela 3.5 - Relação de todos os dados geofísicos utilizados no estudo.

### 3.1.6 – Banco de dados digitais geo-referenciados

O banco de dados digitais geo-referenciados foi criado no ambiente ArcView versão 3.2, o qual opera com dados na forma vetorial e matricial, permitindo seu armazenamento, manipulação e integração num ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). O ArcView exige que os dados referentes à área de estudo sejam armazenados dentro de um projeto identificado pela extensão APR, com sistemas de projeção, coordenadas e datum de referência definidos. Neste trabalho, designado Projeto Delta do Niger, utilizou-se o sistema de projeção Geográfica e o datum WGS84.

Para formar o banco de dados digitais geo-referenciados, os dados originais foram organizados dentro do projeto de acordo com a categoria adequada. O ArcView armazena em cada plano de informação dados de uma única categoria: polígonos, polilinhas, pontos, dados no formato de varredura (*raster*) e dados no formato *Grid* (extensão ADF). As principais informações presentes no banco de dados digitais geo-referenciados estão sumariadas na Tabela 3.6.

Dados	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Localização dos pontos de amostragem por <i>piston cores</i>	X								
<i>Bottom Simulator Reflectors</i> (BSR's)			X						
Exsudações de óleo	X		X						
Derramamentos de óleo	X		X						
Feições de óleo interpretadas nos <i>quicklooks</i>	X								
Falhas geológicas		X							
Domos de folhelhos			X						
Lineamentos magnéticos		X							
Mapa modificado dos domínios tectônicos da porção <i>offshore</i> do Delta do Niger			X						
Mapa geológico digital do continente africano			X						
Linha de costa			X						
Localização das linhas sísmicas de reflexão		X							
<i>Frames</i> das imagens <i>full resolution</i>		X							
<i>Frames</i> dos <i>quicklooks</i>		X							
Imagens RADARSAT-1 <i>full resolution</i>								X	X
<i>Quicklooks</i> das imagens RADARSAT-1								X	
Imagem batimétrica (em metros)				X	X	X	X		
Imagem do mapa da profundidade do embasamento magnético (em metros)						X	X		
Imagem do mapa gravimétrico de anomalia Bouguer (em mgal)						X	X		
Imagem do mapa de isópacas referente à espessura total de sedimentos (em metros)				X			X		
Imagem híbrida resultante da integração da imagem batimétrica e de isópacas da espessura total de sedimentos						X			
Mapas da Intensidade do Campo de Vento				X					
Mapas da Temperatura do Topo de Nuvens (TTN)				X					
Mapas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM)				X					
Mapas da Velocidade Média das Correntes Superficiais			X						

**OBS:** 1-Pontos; 2-Polílinhas; 3-Polígonos; 4- Imagem colorizada em 8 bits. 5- Imagem sombreada em 8 bits; 6- Imagem colorizada e sombreada em 8 bits; 7- Grid; 8- Imagens de 8 bits em tons de cinza; 9- Imagens 16 bits não sinalizadas em tons de cinza.

Tabela 3.6 – Sumário das informações que compõem o banco de dados digitais geo-referenciados.

Vértices	Longitude	Latitude
A	3° 35' 01" E	4° 05' 54" N
B	3° 35' 01" E	4° 25' 45" N
C	4° 01' 12" E	4° 25' 45" N
D	4° 01' 12" E	4° 05' 54" N

Tabela 3.7 - Coordenadas geográficas dos vértices do bloco OPL-324.

## 3.2 – Metodologia

A metodologia adotada nesta pesquisa está detalhadamente descrita nos tópicos a seguir.

### 3.2.1 – Aquisição das imagens com resolução degradada (*quicklooks*)

A proposta da presente dissertação foi a discussão das bases científicas do estudo de detecção de exsudações de óleo nas cercanias do bloco OPL-324. Realizou-se, assim, o levantamento de todas as imagens de arquivo do satélite RADARSAT-1 nos modos de imageamento *W1*, *W2*, *SCN1* e *SCN2* que abrangessem, mesmo que parcialmente, a área deste bloco. Para isto, foram identificadas as coordenadas de cada um dos vértices do bloco OPL-324 (Figura 3.1 e Tabela 3.7). Tais coordenadas foram, em seguida, repassadas à empresa Threetek Ltda. para que fosse feito o levantamento das imagens RADARSAT-1. Após a escolha das imagens com melhor cobertura do bloco OPL-324, foi feito o pedido dos *quicklooks* (Tabela 3.1 e Anexo 2).

### 3.2.2 – Análise visual dos *quicklooks* e escolha das imagens de resolução plena (*full resolution*)

Para a análise, o primeiro procedimento é o geo-referenciamento dos *quicklooks*, utilizando, para isto, o *software* PCI Geomatics. Para geo-referenciar as imagens, foram usadas as coordenadas dos cantos de cada *quicklook* e, quando possível, a linha de costa da Nigéria. Tais coordenadas são referentes à projeção Geográfica e ao datum WGS84. Após esta etapa, foi aplicado o realce de contraste por equalização de histograma na porção dos oceanos, para que as feições de baixo retorno no radar (superfícies lisas) fossem realçadas.

O próximo passo consistiu na análise visual dos *quicklooks*, com o objetivo de identificar aqueles que apresentassem o maior número de feições potencialmente relacionadas à presença de óleo no mar e que possuíssem condições meteorológicas e oceanográficas mais adequadas (Tabela 3.1). Todas as feições potencialmente associadas à presença de óleo interpretadas visualmente nos *quicklooks* estão no Anexo

2. Após a análise visual dos *quicklooks*, foi feito o pedido das imagens *full resolution* (Tabela 3.2 e Anexo 3).

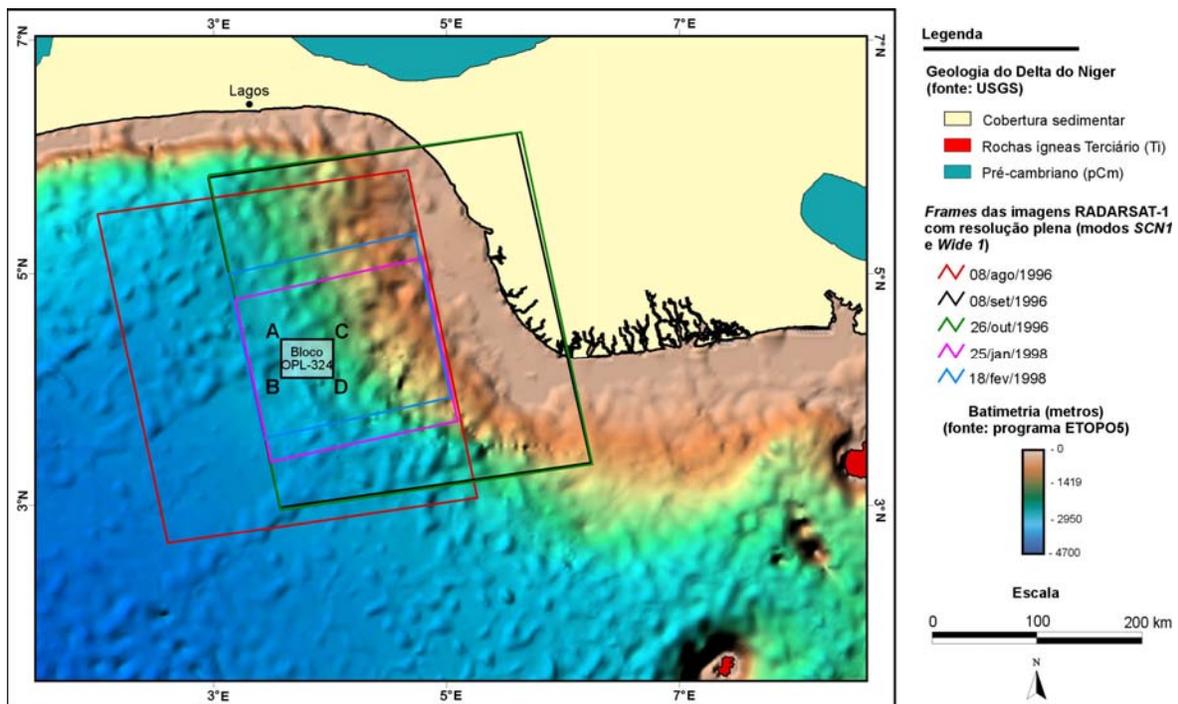


Figura 3.1 - Mapa de localização do bloco OPL-324 e dos *frames* das imagens RADARSAT-1 com resolução plena. As imagens foram adquiridas nos modos de imageamento *SCN1* e *Wide1*. As letras correspondentes a cada um dos vértices do bloco estão indicadas na figura.

### 3.2.3 – Processamento digital das imagens de radar

Como neste projeto as imagens RADARSAT-1 foram fornecidas no formato CEOS e lidas a partir de CD's, houve necessidade de conversão para o formato PIX do *software* PCI Geomatics. Desta maneira, elas puderam ser submetidas a técnicas de processamento digital.

A fim de aumentar a eficiência computacional optou-se por fazer a reamostragem dos *pixels* das imagens SAR para o tamanho original (real). Para isto, foi aplicado o algoritmo IIIAVG (*Image Averaging*) do *software* PCI Geomatics. O algoritmo IIIAVG utiliza uma janela de N por N *pixels* para que, desta maneira, o *pixel* central reamostrado da nova imagem seja a média de todos os *pixels* dentro da janela. A grande vantagem de se

utilizar este algoritmo é que, devido à operação de filtragem por média, se atenua incipientemente a influência do ruído *speckle*.

O passo seguinte foi a correção geométrica das imagens. Este procedimento emprega o pacote GCPWorks do *software* PCI Geomatics. Para isto, o programa utiliza um arquivo denominado de CDSARgcp que armazena as coordenadas dos *pixels* da primeira coluna, da coluna central e da última coluna da imagem SAR. Para fazer a correção geométrica, é necessário especificar a projeção na qual os GCP's foram coletados e o datum considerado. Neste trabalho, a projeção inicial dos GCP's utilizados foi a UTM (*Universal Transverse Mercator*), com fuso 31° N (hemisfério norte) e datum equivalente ao WGS84 (*World Geodetic System 1984*). Diversos algoritmos podem ser usados para realizar esta operação, porém, optou-se pelo método do vizinho mais próximo. O polinômio utilizado foi o de 1° ordem, para que a imagem não sofresse maiores distorções.

Com objetivo de aumentar a razão sinal/ruído, melhorando a interpretabilidade das imagens *full resolution* adquiridas para este estudo, utilizou-se o filtro adaptativo *Frost*. Este filtro foi escolhido por suavizar localmente o contraste na imagem, sem remover bordas ou feições tonais sutis que podem estar associadas a manchas de óleo. O filtro usa uma estatística local para determinar os valores dos pesos para cada *pixel* dentro de uma janela de N por N *pixels* (máximo de 33 por 33 *pixels*), de modo a calcular o nível de cinza resultante do *pixel* central da janela suavizado. Para este trabalho, utilizou-se uma janela de 5 por 5 *pixels*. Com o propósito de filtrar os *pixels* localizados na borda da imagem, os valores de DN são replicados, de maneira a se obter dados suficientes para realizar a operação. O algoritmo referente a este filtro, baseado no artigo publicado por Frost *et al.* (1982), pode ser encontrado no *software* PCI Geomatics (FFROST – Frost Filter).

Operações de aumento de contraste foram aplicadas às imagens filtradas com o objetivo de realçar feições de baixo retorno presentes na superfície do oceano. Ao se aplicar o contraste por equalização de histograma, a imagem contrastada apresenta uma distribuição uniforme da frequência de *pixels* (ordenada) ao longo do eixo dos DN's (abscissa). Ou seja, cada valor de DN possui sua frequência equalizada segundo um fator de escala.

Após as operações de aumento de contraste, utilizou-se o método USTC (*Unsupervised Semivariogram Textural Classifier*) para extrair informações texturais presentes nas imagens RADARSAT-1. De acordo com Miranda *et al.* (2004), o método USTC tem sido amplamente utilizado para discriminar feições correspondentes a manchas de óleo (relacionadas a exsudações ou a derramamentos) presentes na superfície do mar, com base nas informações texturais das imagens de radar. Resultados dessa abordagem foram publicados por Miranda *et al.* (2001, 2004) e Beisl *et al.* (2000). Para a leitura dos dados pelo USTC as imagens foram exportadas para o formato RAW utilizando o *software* PCI Geomatics. O usuário deve especificar no programa USTC o número de linhas e colunas presentes na imagem e o número de *lag distances* desejados. Em aplicações de detecção de manchas de óleo na superfície do mar, não é necessário o emprego de *lag distances* maiores que 5 (cinco), uma vez que, a partir deste valor, a função semivariograma tende a corresponder à variância do dado. No final do processamento o programa cria um arquivo de saída denominado STC que contém 1 (uma) banda referente aos DN's originais da imagem SAR, as 5 (cinco) bandas variográficas e 1 (uma) banda representando a variância dos DN's originais. O arquivo é em seguida importado para o *software* PCI Geomatics, utilizando, para isto, a função *IMAGERD (Read Image File)*.

A segunda etapa do método USTC consiste no próprio processo de classificação não-supervisionada das bandas geradas, com o objetivo de discriminar superfícies lisas de superfícies rugosas nas imagens RADARSAT-1. O algoritmo utilizado para a classificação foi o *ISODATA Clustering*, presente no *software* PCI Geomatics. Em relação ao número de classes, foi estabelecido empiricamente o valor de 30 (trinta) classes. Parâmetros como desvio padrão e número de iterações também são exigidos pelo programa. Determinou-se aqui um valor do desvio padrão entre 3 e 5 e o número de iterações igual a 20. Deve-se ressaltar que somente a região correspondendo à porção do oceano foi classificada nas imagens SAR. A parte referente ao continente foi descartada, com o emprego, para isto, de uma máscara digital criada sobre o oceano. Ao final do processo de classificação, se obtém uma imagem com 30 classes.

A terceira etapa do método USTC corresponde ao ajuste das tabelas de falsa cor, denominadas de *PCT's (PseudoColor Tables)*, e à agregação de classes. Convencionou-se que o resultado da classificação SAR pelo método USTC consistiria de uma imagem

com duas classes distintas representadas pela cor vermelha (*Red:255, Green:0 e Blue:0*) e azul claro (*Red:0, Green:255 e Blue:255*). A cor vermelha diz respeito aos valores de DN's com níveis de cinza mais baixos, localizados em áreas texturalmente lisas, que podem estar associados a manchas de óleo ou a outras feições de baixo retorno de radar presentes na superfície do mar. Por outro lado, a cor azul claro representa os valores de DN's com níveis de cinza intermediários a elevados, em áreas com assinaturas texturais distintas. Os valores intermediários representam a superfície rugosa do mar (*sea clutter*), enquanto que os valores mais elevados representam feições associadas ao fenômeno de reflexões de canto ou até mesmo a fenômenos meteorológicos (*e.g.* superfícies extremamente rugosas do oceano associadas a *drawndraft* em células de chuva). O ajuste das várias PCT's foi feito empiricamente no *software* PCI Geomatics. Efetuou-se, a seguir, a agregação de classes, com o objetivo de agrupar as 30 classes geradas pelo método USTC nas 2 (duas) classes citadas (uma lisa, outra rugosa), utilizando, para isto, as diferentes PCT's criadas. O número de classes originais agregadas no produto final irá depender da necessidade do interprete em discriminar as feições lisas ou rugosas nas imagens SAR.

Concluído o processo de agregação, deve-se efetuar a vetorização semi-automática das feições relacionadas a exsudações de óleo. Nesta fase, a utilização dos dados meteorológicos e oceanográficos é de extrema importância, uma vez que auxiliam na identificação de falsos alvos presentes nas imagens SAR. Todos os dados e análises meteorológicas e oceanográficos realizadas estão presentes no Anexo 3 desta dissertação. A vetorização semi-automática é factível porque as imagens agregadas apresentam apenas 2 (duas) classes, uma representativa de superfícies rugosas (azul claro) e a outra de superfícies lisas (vermelho). Assim sendo, o vetor gerado honrará os limites entre as classes estabelecidas. Antes de se realizar a vetorização semi-automática, é aconselhável a utilização do filtro de moda (FMO – *Mode Filter*) presente no *software* PCI Geomatics. Tal procedimento tem por finalidade suavizar os limites entre as classes da imagem e diminuir os ruídos inerentes ao processo de classificação. Para este trabalho, utilizou-se uma janela de 3 por 3 *pixels*. A grande vantagem deste filtro é não criar novas classes e possibilitar o delineamento de um traçado mais suave. Após a filtragem das imagens com as classes agregadas, utiliza-se o algoritmo RTV (*Raster to Vector*), presente no *software* PCI Geomatics, para executar a vetorização.

Todos os vetores selecionados devem ser cuidadosamente fechados para formar um polígono, visando a subsequente exportação no formato SHP do *software* ArcView, onde serão integrados ao banco de dados digitais geo-referenciados.

O fluxograma correspondente a todas as etapas do processamento pode ser observado na Figura 3.2.

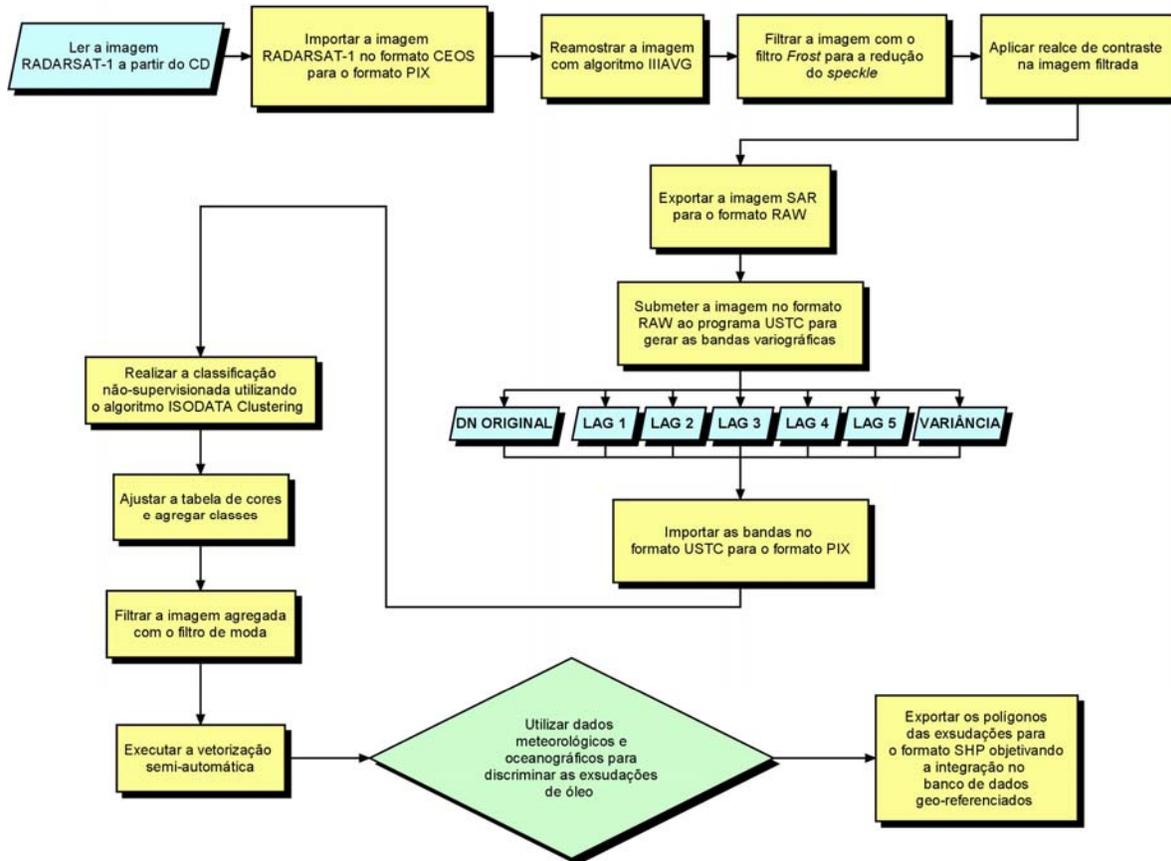


Figura 3.2 - Fluxogramas do processamento digital aplicado às imagens RADARSAT-1 adquiridas para este trabalho.

### 3.2.4 – Interpolação dos dados batimétricos

De modo a regionalizar os dados batimétricos no formato XYZ, conforme adquiridos no *website* do programa ETOPO5, utilizou-se a técnica de interpolação. Segundo Landim (2000), a interpolação é um procedimento matemático de ajuste de uma função a pontos não amostrados, baseando-se em valores obtidos em pontos amostrados. Desta forma, para realizar a interpolação dos dados batimétricos, utilizou-se

o algoritmo de Krigagem presente no *software* SURFER. Optou-se por este método principalmente em virtude de sua maior fidelidade aos dados originais. O tamanho de célula empregado para realizar a interpolação foi definido como sendo de 0,01 por 0,01 graus. Após a interpolação, a grade regular resultante de 1501 linhas por 1501 colunas foi exportada para o formato binário do *software* SURFER (GRD), para que pudesse ser lida e, em seguida, processada e realçada no *software* ER Mapper.

### 3.2.5 – Digitalização e interpolação dos dados de isópacas, gravimétricos e de profundidade do embasamento magnético

Os dados de isópacas, gravimétricos e de profundidade do embasamento magnético foram digitalizados manualmente a partir de curvas de nível com equidistância de 1 km, 10 mgal e 10.000 pés, respectivamente. Estes dados foram, em seguida, interpolados no *software* Er Mapper utilizando o método de mínima curvatura, com um tamanho de célula de 0,01 por 0,01 graus. O geo-referenciamento destes dados utilizou a projeção Geográfica e o datum WGS84, sendo realizado no *software* ER Mapper. A imagem do mapa gravimétrico de anomalia Bouguer (em mgal) e a imagem do mapa da profundidade do embasamento magnético (em metros) assim geradas já foram apresentadas no Capítulo 2 desta dissertação.

Devido ao fato das imagens referentes aos mapas de isópacas e de profundidade do embasamento magnético terem sido interpoladas utilizando as unidades em quilômetros e em pés respectivamente, optou-se por converter estes produtos para metros. Utilizou-se o *software* ER Mapper para realizar tal conversão. No caso das isópacas a conversão foi feita multiplicando os DN`s da imagem por 1000, enquanto que para a profundidade do embasamento magnético, os DN`s foram multiplicados por 0,3048. Desta forma, as imagens passaram a possuir a mesma unidade de medida (em metros).

### 3.2.6 – Critérios para o estabelecimento de *ranking* das exsudações de óleo na superfície do mar

Com o objetivo de determinar o fator geral de confiabilidade ( $F_{C \text{ geral}}$ ) para cada exsudação de óleo interpretada nas imagens SAR da porção *offshore* do Delta do Niger,

com o propósito de focalizar o interesse exploratório na área de estudo, foi utilizada a metodologia proposta por Miranda *et al.* (2000). Através desta metodologia, foi estabelecido o *ranking* das exsudações de óleo de acordo com critérios tectônicos, temporais e ambientais. Cada um destes critérios possui diferentes níveis de confiabilidade ( $f_c$  tectônico,  $f_c$  temporal e  $f_c$  ambiental), os quais podem variar entre ótimo (1,00), alto (0,75), intermediário (0,50) e baixo (0,25).

Os critérios tectônicos são determinados de acordo com a geologia de cada bacia. Portanto, em cada uma delas, procura-se discriminar os domínios tectônicos mais favoráveis à ocorrência de exsudações de óleo. Assim, todos os domínios tectônicos existentes são classificados nos quatro diferentes níveis de confiabilidade acima citados. No caso do Delta do Niger, a província de diápiros de folhelho foi classificada como tendo  $f_c$  tectônico=1,00 (ótimo), uma vez que está é a área mais tectonicamente ativa do delta, na qual ocorreriam rotas de migração desde a rocha geradora ou do reservatório com óleo até o assoalho oceânico. As regiões referentes às faixas de empurrões e dobramentos e à província de empurrões de diápiros foram classificadas como tendo  $f_c$  tectônico=0,75 (alto). Já as províncias das falhas de crescimento sintéticas e das falhas de crescimento antitéticas possuem  $f_c$  tectônico=0,50 (intermediário), enquanto que a porção que engloba a planície abissal e a parte *offshore* da Bacia de Dahomey possui  $f_c$  tectônico=0,25 (baixo). Pode-se observar, na Figura 3.3, o mapa referente ao nível de confiabilidade tectônica do Delta do Niger, no que tange à ocorrência de exsudações de óleo.

O critério de persistência temporal diz respeito à repetibilidade em um mesmo local das exsudações de óleo interpretadas nas imagens SAR em diferentes datas. Segundo Miranda *et al.* (2004), a repetibilidade tanto no tempo quanto no espaço é um excelente indicador da existência de exsudações de óleo. Então, de acordo com o critério de persistência temporal as exsudações também possuem quatro níveis distintos de confiabilidade ( $f_c$  temporal), como segue: ótimo (exsudações repetidas no tempo a uma distância < 5 km), alto (exsudações repetidas no tempo a uma distância maior que 5 km e menor ou igual a 10 km), intermediário (exsudações repetidas no tempo a uma distância maior que 10 km e menor ou igual a 50 km) e baixo (exsudações sem repetição no tempo, ou seja, a uma distância maior que 50 km). Na prática, o que se faz é medir a distância mais próxima entre os polígonos correspondentes às exsudações interpretadas nas

imagens SAR adquiridas em diferentes datas e atribuir os níveis de confiabilidade propostos acima.

Como alguns fenômenos meteorológicos, oceanográficos e de poluição podem produzir um baixo retroespalhamento do pulso de radar, dificultando assim a interpretação das exsudações de óleo nas imagens RADARSAT-1, conforme discutido no Anexo 1, se torna necessária a atribuição de níveis de confiabilidade para os critérios ambientais. Tais níveis também são classificados como ótimo, alto, intermediário, e baixo. Para que uma exsudação de óleo possua  $f_{c\text{ ambiental}}=1,00$  (ótimo), ela não deve estar associada a nenhum tipo de fenômeno que cause o baixo retorno do pulso de radar (e.g. baixo vento, célula de chuva e descarte de embarcações). Caso a feição de óleo esteja localizada próxima a áreas de baixo retorno associadas a fenômenos meteorológicos e/ou oceanográficos, possuirá  $f_{c\text{ ambiental}}=0,75$  (alto). Para que  $f_{c\text{ ambiental}}=0,50$  (intermediário), a feição de óleo deve estar localizada próxima a áreas de baixo retorno associadas à poluição em baías ou áreas costeiras. Na eventualidade de poluição próxima a instalações *offshore* (e.g. plataformas) ou de algum descarte ilegal de óleo proveniente de embarcações, a exsudação possuirá  $f_{c\text{ ambiental}}=0,25$  (baixo). Além disso, caso a exsudação interpretada esteja posicionada na borda da imagem SAR, ela também será penalizada com  $f_{c\text{ ambiental}}=0,25$  (baixo).

Desta forma, o fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ ) estima a probabilidade de ocorrência nos níveis ótimos de cada exsudação de óleo interpretada nas imagens RADARSAT-1. Seu valor pode ser calculado pela expressão abaixo:

$$F_{C\text{ geral}} = (f_{c\text{ tectônico}}) \cdot (f_{c\text{ temporal}}) \cdot (f_{c\text{ ambiental}})$$

Portanto, caso uma exsudação de óleo possua  $f_{c\text{ tectônico}}=1,00$ ,  $f_{c\text{ temporal}}=1,00$  e  $f_{c\text{ ambiental}}=1,00$ , o  $F_{C\text{ geral}}$  resultante será máximo (1,00). Caso a exsudação apresente  $f_{c\text{ tectônico}}=0,25$ ,  $f_{c\text{ temporal}}=0,25$  e  $f_{c\text{ ambiental}}=0,25$ , possuirá  $F_{C\text{ geral}}$  mínimo (0,02). Assim, os valores de  $F_{C\text{ geral}}$  podem variar entre 1,00 e 0,02.

Os critérios utilizados para determinar o fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ ) para cada uma das exsudações interpretadas nas imagens SAR da porção *offshore* do Delta do Niger podem ser observados na Tabela 3.8.

Após o cálculo do fator geral de confiabilidade ( $F_{C \text{ geral}}$ ), é feito o *ranking* das exsudações de óleo. Nesta fase, as exsudações que obtiveram os valores de  $F_{C \text{ geral}}$  mais elevados ocupam as primeiras posições do *ranking*. Deve-se ressaltar que, caso existam valores de  $F_{C \text{ geral}}$  similares, o desempate é realizado utilizando o valor do fator tectônico ( $f_{C \text{ tectônico}}$ ), seguido, em caso de novo empate, pelo fator temporal ( $f_{C \text{ temporal}}$ ).

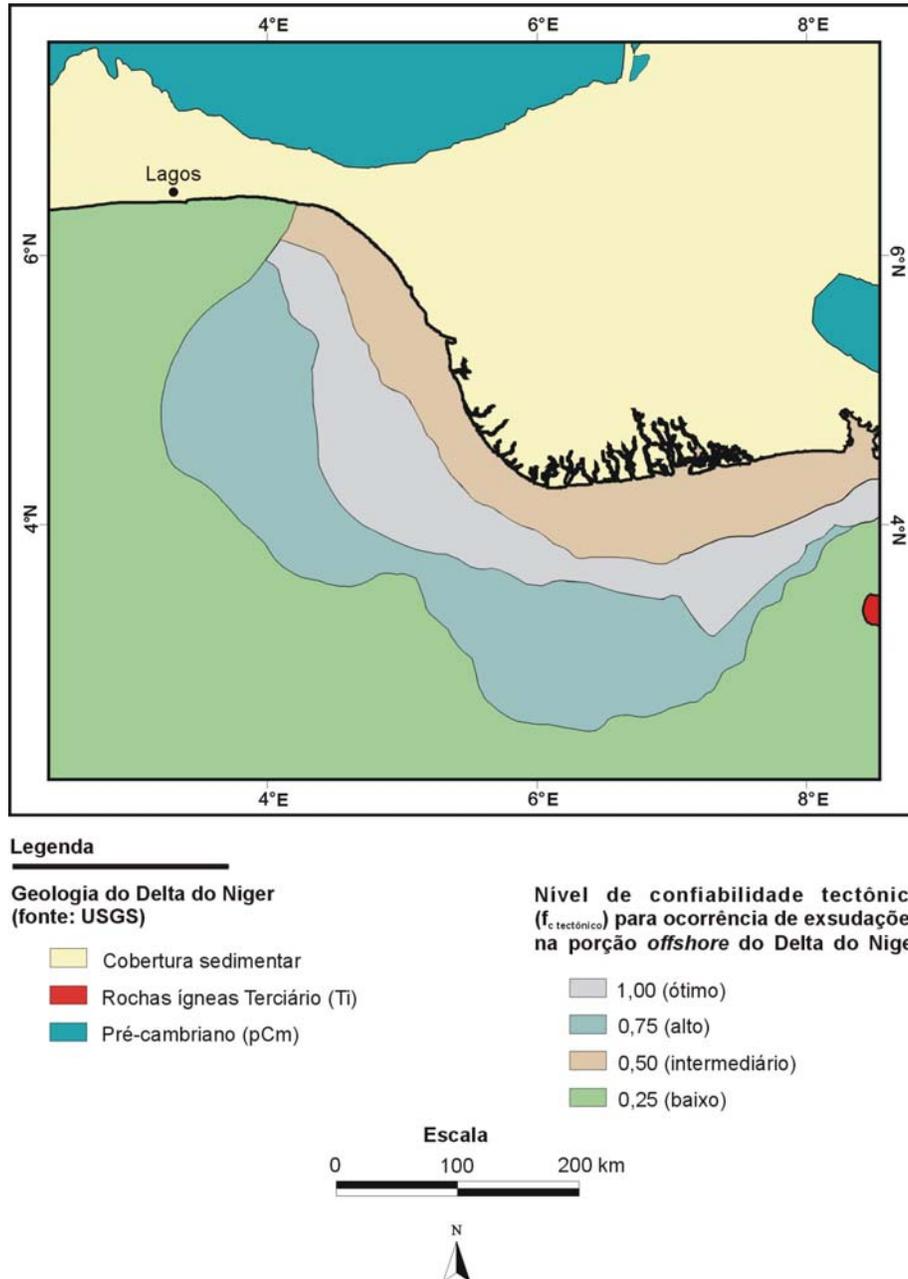


Figura 3.3 - Mapa dos níveis de confiabilidade tectônica ( $f_{C \text{ tectônico}}$ ) para a ocorrência de exsudações de óleo na porção *offshore* do Delta do Niger.

$F_{C \text{ geral}}$	Níveis de confiabilidade	Cenário tectônico	Persistência temporal	Condição ambiental predominante
1,00	Ótimo	Áreas na província de diápiros, onde os folhelhos móveis presentes na Formação Akata penetram os sedimentos da Formação Agbada, criando rotas de migração, tanto das rochas geradoras ou reservatórios, até o fundo do mar.	Exsudações repetidas no tempo a uma distância < 5 km.	Sem associação espacial com fenômenos atmosféricos, oceanográficos ou de poluição que produzem um baixo retroespalhamento do sinal de radar.
0,75	Alto	Áreas localizadas na faixa de empurrões e dobramentos e na província de empurrões de diápiros, onde as falhas de empurrão podem estar conectadas a uma superfície de descolamento que sub-aflora ao nível do assoalho oceânico. Estas estruturas cortam a Formação Akata criando rotas de migração, tanto das rochas geradoras ou reservatórios, até o fundo do mar.	Exsudações repetidas no tempo a uma distância maior que 5 km e menor ou igual a 10 km.	Associação com áreas de baixo retorno causadas por fenômenos meteorológicos e/ou oceanográficos.
0,50	Intermediário	Áreas localizadas nas províncias de falhas de crescimento sintéticas e antitéticas, que são caracterizadas por falhas de crescimento amplas que cortam os sedimentos da Formação Agbada, criando rotas de migração, tanto das rochas geradoras ou reservatórios, até o fundo do mar.	Exsudações repetidas no tempo a uma distância maior que 10 km e menor ou igual a 50 km.	Associação espacial com áreas de poluição próximas a baías ou áreas costeiras.
0,25	Baixo	Áreas na planície abissal não influenciadas pela unidade de folhelhos móveis dentro da Formação Akata e áreas que englobam a porção <i>offshore</i> da Bacia de Dahomey. Na planície abissal, os estratos da seqüência sedimentar apresentam uma configuração plano-paralela sobrepostos à crosta oceânica. Nesta área, a seqüência sedimentar pode ser afetada por reativações ao longo das zonas de fraturas oceânicas	Exsudações sem repetição no tempo - distância maior que 50 km.	(1) Possível associação espacial com descarte de embarcações e poluição próxima a instalações <i>offshore</i> (2) Exsudações identificadas próximo à borda da imagem.

Tabela 3.8 - Critérios utilizados para determinar o fator geral de confiabilidade ( $F_{C \text{ geral}}$ ).

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 – Resultados obtidos com o sensoriamento remoto

Foram identificadas 90 (noventa) exsudações e 35 (trinta e cinco) derramamentos de óleo, nas imagens analisadas, como indicado na Figura 4.1. A imagem RADARSAT-1 adquirida em 25 de janeiro de 1998 foi a que apresentou o maior número de exsudações de óleo, com um total de 47 (quarenta e sete) feições interpretadas. Nas imagens adquiridas em 26 de outubro de 1996, 18 de fevereiro de 1998, 08 de setembro de 1996 e 08 de agosto de 1996, foram interpretadas, respectivamente, 18 (dezoito), 15 (quinze), 6 (seis) e 4 (quatro) feições relacionadas a exsudações de óleo. A área superficial das exsudações varia de 0,03 a 30,36 km<sup>2</sup>, sendo a média de 1,98 km<sup>2</sup>.

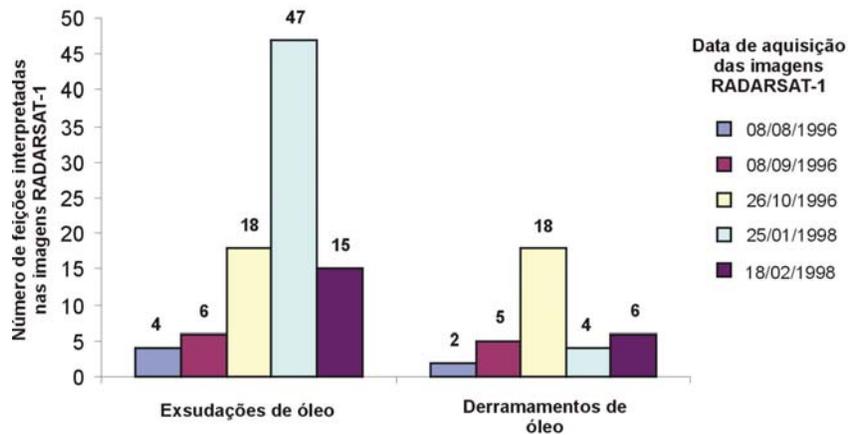


Figura 4.1 - Número de exsudações e derramamentos de óleo nas imagens RADARSAT-1 da porção *offshore* do Delta do Niger.

O Anexo 3 contém o catálogo com todas as exsudações interpretados nas imagens RADARSAT-1 adquiridas na porção *offshore* do Delta do Niger.

#### 4.2 – Definição do *ranking*

As exsudações de óleo interpretadas na porção *offshore* do Delta do Niger foram hierarquizadas de acordo com critérios tectônicos, temporais e ambientais. Assim, foi

possível calcular o fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ ) para cada uma das feições, cujos valores foram utilizados para a definição de um *ranking* de confiabilidade. A Tabela A4.1 do Anexo 4 mostra a posição no *ranking* para cada uma das exsudações de óleo.

Pode-se observar na Figura 4.2 que a maior parte das exsudações de óleo (22 polígonos) ocupam a nona posição no *ranking*, com valor de  $F_{C\text{ geral}}$  igual a 0,37. Outros 18 polígonos ocupam a sétima posição ( $F_{C\text{ geral}} = 0,50$ ). As exsudações que ocupam a primeira (10 polígonos), segunda (9 polígonos) e terceira (7 polígonos) posições possuem valores de  $F_{C\text{ geral}}$  de 1,00, 0,75 e 0,75 respectivamente. O desempate entre as exsudações que apresentaram valores de  $F_{C\text{ geral}}$  similares foi feito utilizando o fator de confiabilidade tectônico, seguido pelo temporal. Cerca de 80 (oitenta) dos 90 (noventa) polígonos estão localizados em regiões com  $f_{c\text{ tectônico}}$  igual a 1,00 ou 0,75 (Figura 4.3). No caso da repetibilidade temporal, a maior parte das exsudações (55 polígonos) apresenta  $f_{c\text{ temporal}} = 0,50$  (Figura 4.4). Já em relação ao critério ambiental, a maior parte das feições (78 polígonos) possui  $f_{c\text{ ambiental}} = 1,00$  (Figura 4.5). A Figura 4.6 mostra a identificação dos centróides das exsudações de óleo interpretadas no Delta do Niger. O valor do fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ ) para cada feição está graficamente representado no mapa.

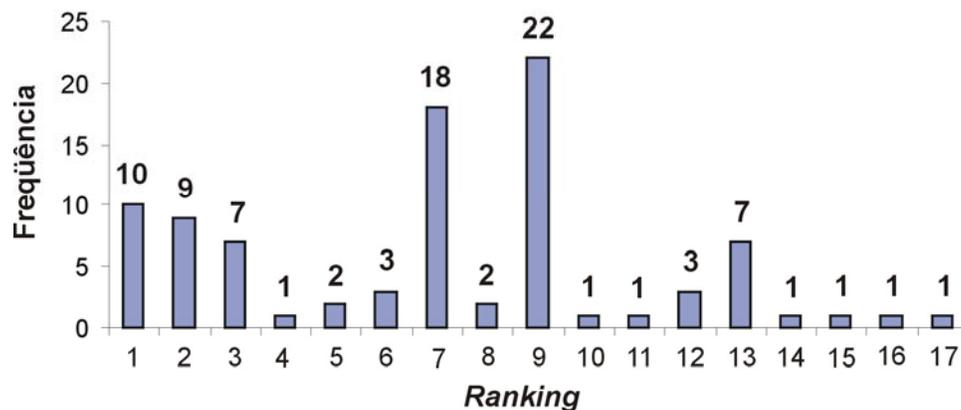


Figura 4.2 - Frequência de ocorrência das exsudações de óleo para cada posição do *ranking*.

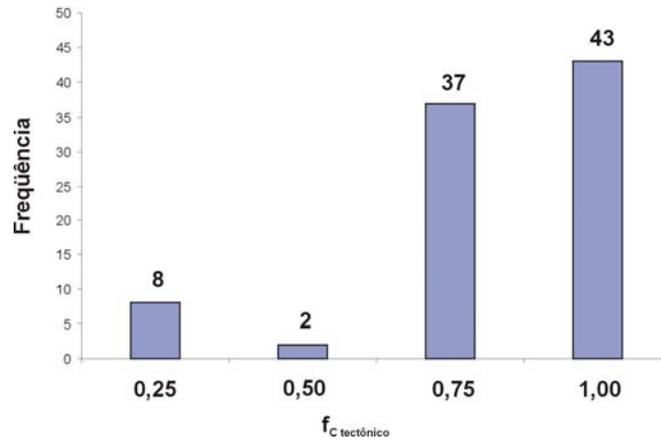


Figura 4.3 - Frequência de ocorrência das exsudações de óleo para os diferentes valores de  $f_c$  tectônico.

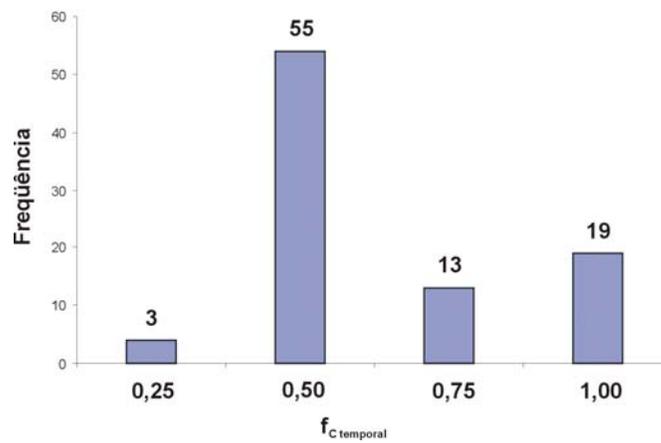


Figura 4.4 - Frequência de ocorrência das exsudações de óleo para os diferentes valores de  $f_c$  temporal.

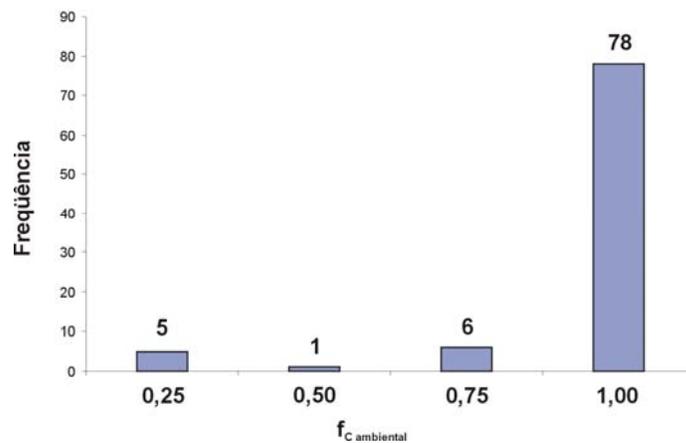
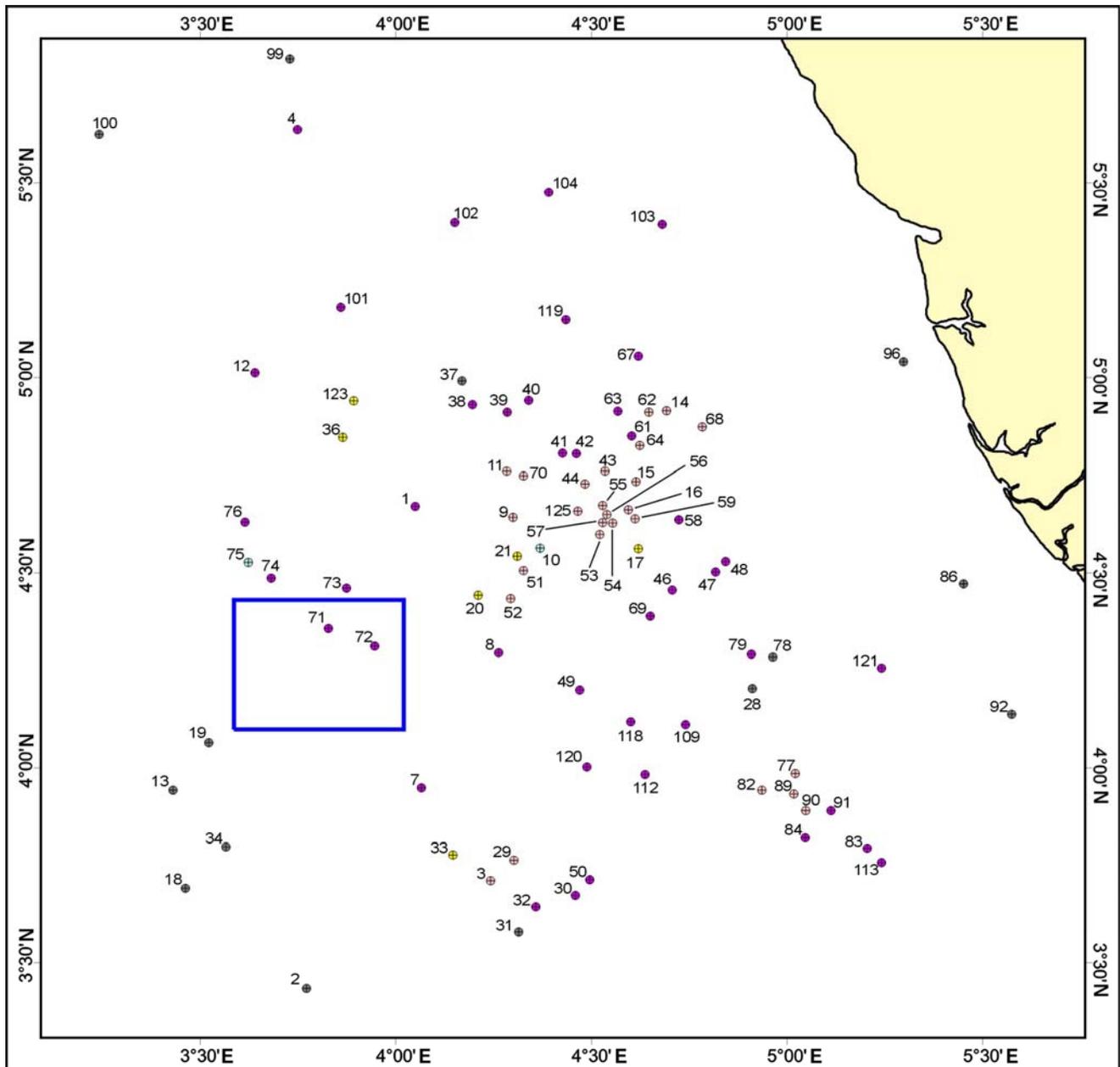


Figura 4.5 - Frequência de ocorrência das exsudações de óleo para os diferentes valores de  $f_c$  ambiental.



**Legenda**

- Continente
- Bloco OPL-324

**Fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ )**

- 1,0 - 0,8
- 0,8 - 0,6
- 0,6 - 0,4
- 0,4 - 0,2
- 0,2 - 0,0

**Escala**

0 20 40 60 km



Figura 4.6 - Mapa de identificação e localização dos centróides dos polígonos referentes às exsudações de óleo na porção *offshore* do Delta do Niger.

### 4.3 – Integração, análise e interpretação dos dados

As exsudações de óleo interpretadas nas imagens RADARSAT-1 estão orientadas nas seguintes direções: NE-SW (30 feições), NW-SE (20 feições), E-W (15 feições) e N-S (8 feições) (Fig. 4.7). A direção das outras 17 (dezesete) feições não pode ser estimada, uma vez que estas possuem formas arredondas e/ou difusas. As exsudações orientadas na direção NE-SW podem resultar de interações com a Corrente da Guiné (de sentido NE, aproximadamente perpendicular as isóbatas) e com o campo de vento regional presente na área (de sentido NE) (vide Capítulo 1). No entanto, variações locais, para norte ou para leste, no sentido de propagação da Corrente da Guiné e do campo de vento podem estar condicionando o alinhamento das exsudações orientadas na direção E-W e N-S. Já as exsudações orientadas na direção NW-SE podem estar sendo controladas exclusivamente por variações locais no campo de vento. As exsudações 29 e 84 apresentam duas direções distintas de deriva, refletindo, com isto, mudanças nas condições oceanográficas e meteorológicas (Fig. 4.8).

De acordo com Espedal (1998), se uma determinada quantidade de óleo é derramada a partir de uma fonte fixa, assume-se que a velocidade de deriva da mancha de óleo é da ordem de 3% da velocidade do vento. Deste modo, calculou-se, a partir dos dados do sensor SSM/I (Anexo 3), que a velocidade média do vento na área de estudo é de 5 m/s (ou 18 km/h). Conseqüentemente, a velocidade média de deriva da mancha de óleo é de 0,15 m/s (ou 0,54 km/h). Deve-se ressaltar que, devido à evaporação e fenômenos atmosféricos, uma pluma de óleo com 5 km de comprimento não resiste mais do que 1 (um) dia após alcançar a superfície do mar (MacDonald *et al. in* Alameida-Filho, 2005). Portanto, estima-se que, em um dia, a porção mais distal da mancha de óleo esteja a uma distância de 12,96 km da sua fonte. Porém, observações feitas por MacDonald *et al. in* Alameida-Filho (2005) no Golfo do México indicam que, à medida que uma pluma de óleo e/ou gás ascende na coluna d'água, correntes oceânicas podem atuar, deslocando a pluma do seu ponto de origem no fundo do mar. Em regiões com profundidades de lâmina d'água entre 500 e 2000 metros, estes autores constataram que o afastamento horizontal da pluma é menor que 0,5 km. Assim sendo, estima-se que a deriva das exsudações de óleo, baseada na velocidade média do vento e no deslocamento da pluma, pode ser de até 13,46 km/dia. Os valores de deriva calculados a partir da velocidade máxima, média e mínima do vento, encontrados na área de estudo, estão expostos na Tabela 4.1.

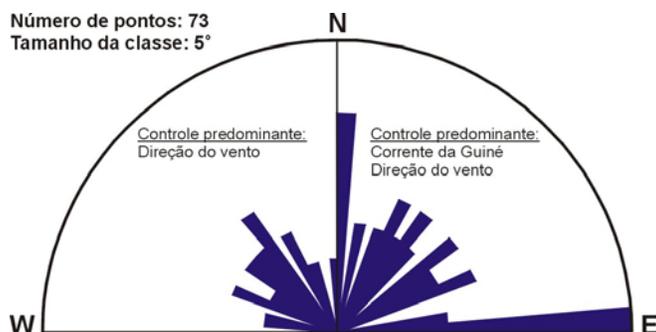


Figura 4.7 – Orientação das exsudações de óleo interpretadas nas imagens RADARSAT-1. A orientação das feições cujo azimute está posicionado no quadrante NE se dá, sobretudo, pela influência da Corrente da Guiné e do campo de vento regional. Já as exsudações cujo azimute está posicionado no quadrante NW são controladas exclusivamente por variações locais no campo de vento.

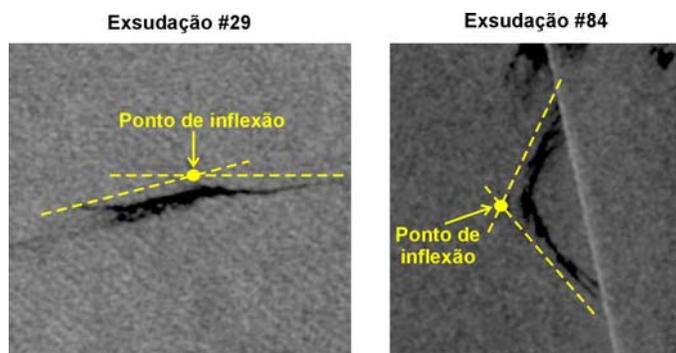


Figura 4.8 – As exsudações 29 e 84 apresentam duas direções distintas de deriva, refletindo mudanças nas condições oceanográficas e meteorológicas.

Velocidade do vento (m/s)	Velocidade do vento (km/h)	Velocidade de deriva (km/h)	**Deriva em um dia (km/dia)
7,0	25,2	0,75	18,64 (máxima)
5,0	18,0	0,32	13,46 (média)
3,0	10,8	0,54	8,27 (mínima)

\*\*Considerado a influência das correntes oceânicas que podem deslocar a pluma de óleo e/ou gás até 0,5 km da sua fonte no fundo do mar à medida que esta ascende na coluna d'água.

Tabela 4.1 - Valores de deriva calculados a partir da velocidade máxima, média e mínima do vento encontrados na área de estudo.

Ao se analisar conjuntamente as informações de sensoriamento remoto e a imagem batimétrica sombreada e colorizada (Fig. 4.9), nota-se que cinquenta (50) polígonos interpretados como exsudações de óleo ocorrem em lâmina d'água entre 500 e 1500 metros. Outras trinta e três (33) exsudações ocorrem em profundidades maiores que 1500 metros. Nas regiões mais rasas que 500 metros, foram identificadas apenas sete (7) feições. A maioria das feições interpretadas (80 polígonos) está situada sobre o talude continental (Fig. 4.9), enquanto as restantes estão ao longo da plataforma continental (2 polígonos) e sobre a planície abissal (8 polígonos). O fato da maior parte das exsudações de óleo ter sido identificada sobre o talude continental pode ser explicado pela existência de atividade tectônica mais intensa nesta região, causada por deformações induzidas pelos folhelhos móveis da Formação Akata.

De acordo com Brooks *et al.* (1999), nos sistemas deltaicos terciários do oeste africano, existe uma quantidade considerável de macro-exsudações nos sedimentos do fundo marinho, tanto de óleo quanto de gás. Segundo tais autores, as macro-exsudações afloram em amplas regiões, que vão desde a quebra da plataforma/talude continental até as águas ultraprofundas (>1500 metros). Esta afirmação é consistente com os resultados aqui apresentados, onde a maior parte das exsudações de óleo identificadas nas imagens RADARSAT-1 ocorre em regiões com lâmina d'água entre 500 e 1500 metros.

As exsudações de óleo também foram analisadas no contexto da imagem híbrida combinando a informação batimétrica com a isópaca da espessura total de sedimentos (Fig. 4.10). Neste produto, é possível observar uma enorme carga sedimentar (> 11 km de espessura) na porção central do Delta do Niger, a qual coincide com a região da plataforma continental. Esta enorme carga sedimentar é resultado das altas taxas de sedimentação que ocasionaram a progradação do delta em direção ao oceano. Devido à progradação, a unidade de folhelho móvel migrou para fora das porções proximais do delta, propiciando, com isto, a formação de um ambiente distensional, com falhas de crescimento sintéticas e antitéticas. Com a movimentação lutocinética em direção ao oceano, tais falhas de crescimento tornaram-se progressivamente menos ativas, inibindo, desta forma, o escape de hidrocarbonetos ao longo do plano de falha. No entanto, a movimentação do folhelho em direção às porções mais distais gerou as estruturas desenvolvidas na província de diápiros, província de empurrão de diápiros e na província das faixas de empurrões e dobramentos. Tais áreas tornaram-se tectonicamente mais

ativas, favorecendo, com isto, a migração de hidrocarbonetos e o fenômeno de exsudação. Este fato pode explicar a existência da maior concentração de exsudações ao longo do talude continental.

A inserção das informações de sensoriamento remoto no mapa dos domínios tectônicos e das estruturas (Fig. 4.11) permitiu a elaboração de algumas hipóteses sobre sistemas petrolíferos ativos na região. Tais suposições estão descritas nos parágrafos a seguir.

As exsudações 86 (*ranking* #15) e 96 (*ranking* #16) estão posicionadas no domínio extensional do delta (província de falhas de crescimento sintéticas e província de falhas de crescimento antitéticas). A Figura 4.11 mostra que tais feições estão afastadas das falhas de crescimento regionais ali presentes. No entanto, o afastamento destas exsudações em relação às falhas de crescimento (86 = 13,20 km e 96 = 12,96 km) é menor do que a deriva média estimada para uma mancha de óleo (13,46 km/dia) (Tabela 4.1). Conseqüentemente, não se pode excluir a hipótese de que tais estruturas estariam funcionando como rotas de migração ativas para o óleo, o que explicaria a presença das exsudações 86 e 96 neste local. Uma hipótese alternativa seria a existência na região de falhas de crescimento de menor porte, não representadas na escala do mapa estrutural utilizado.

Na província de diápiros, foram interpretadas quarenta e três (43) exsudações de óleo (Fig. 4.11). Neste domínio tectônico, ocorrem as feições que ocupam as primeiras posições no *ranking* (#1 - polígonos 14, 16, 54, 55, 56, 59, 62, 77, 89, 125; #2 - polígonos 15, 43, 44, 53, 57, 64, 68, 82, 90). Os outros vinte e quatro (24) polígonos identificados neste domínio foram penalizados por critérios temporais e ambientais. Por esta razão, possuem valores do fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ ) mais baixos.

As exsudações de óleo identificadas nesta província ocorrem acima de uma região intensamente falhada, onde a deformação foi causada pelos diápiros de folhelho. A presença de exsudações de óleo nesta área pode indicar a existência de rotas de migração ativas nos flancos dos diápiros, através das quais o óleo proveniente das rochas geradoras ou dos reservatórios alcança o fundo do mar (Figs. 4.12 e 4.13). Os caminhos

preferenciais são falhas normais presentes no topo das estruturas diápiricas ou os próprios diápiros que atingem o assoalho oceânico.

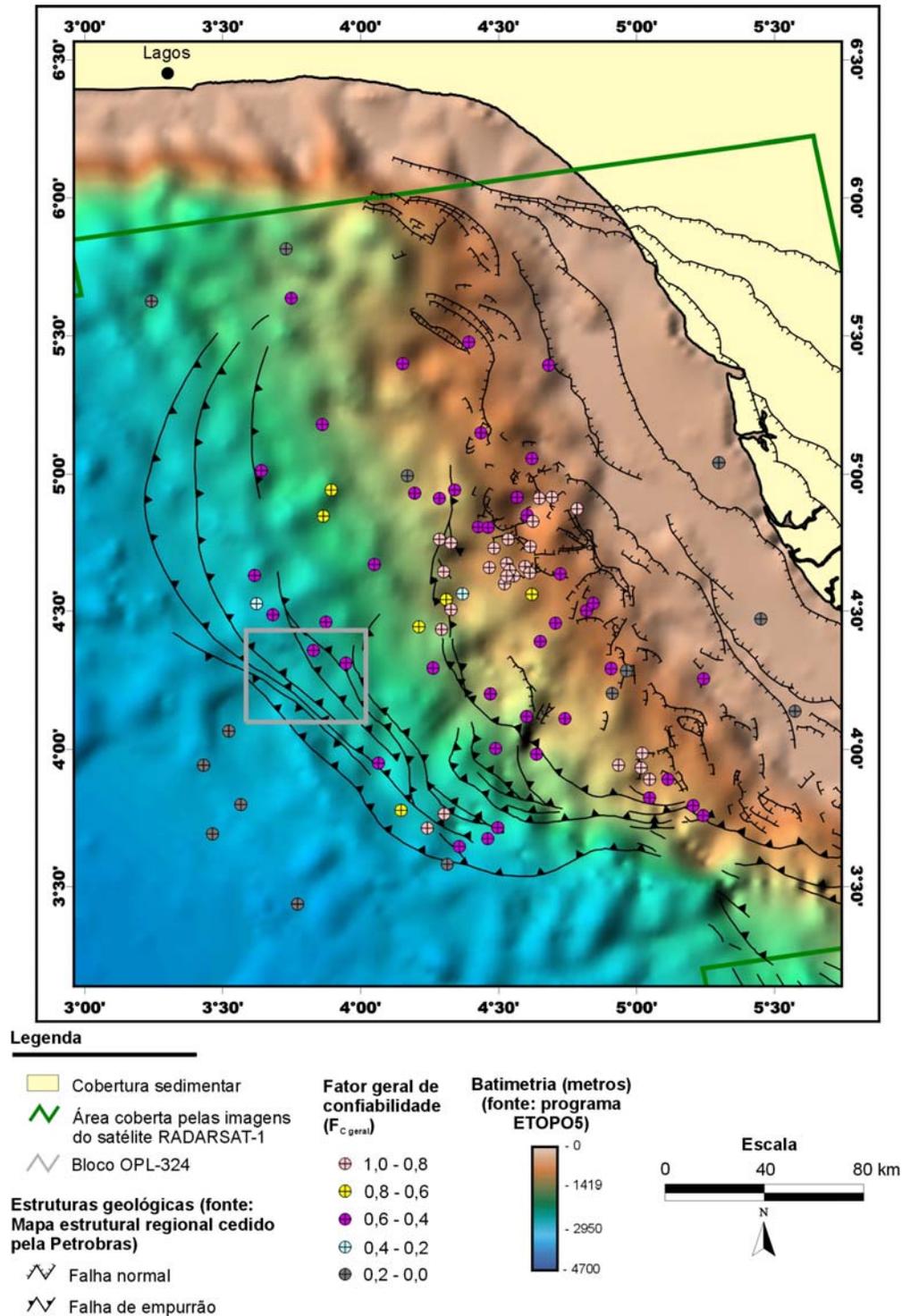
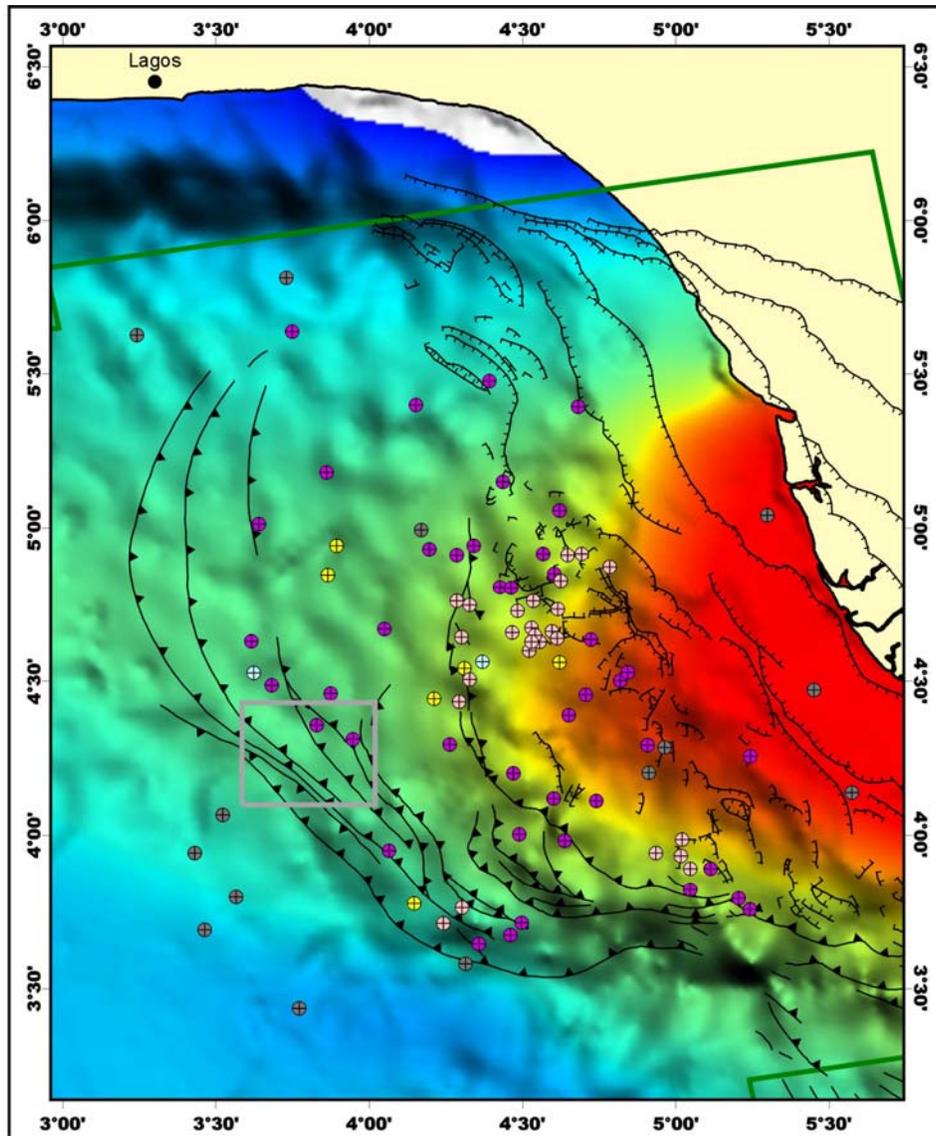


Figura 4.9 - Imagem batimétrica colorizada e sombreada de sudeste (132° de azimute e 53° de elevação), integrada a informações estruturais e de sensoriamento remoto.



**Legenda**

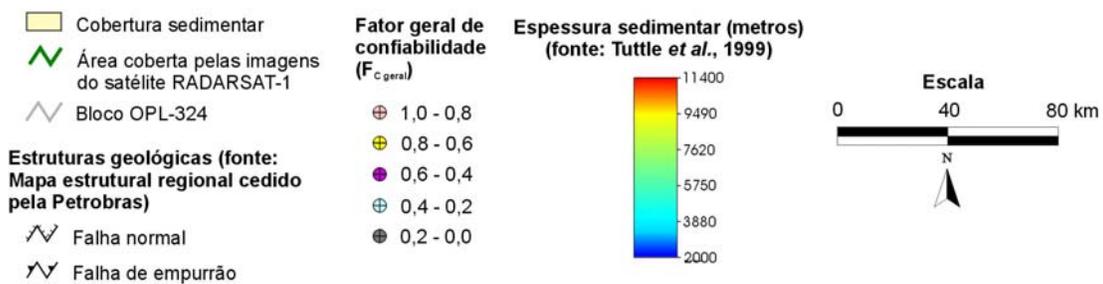
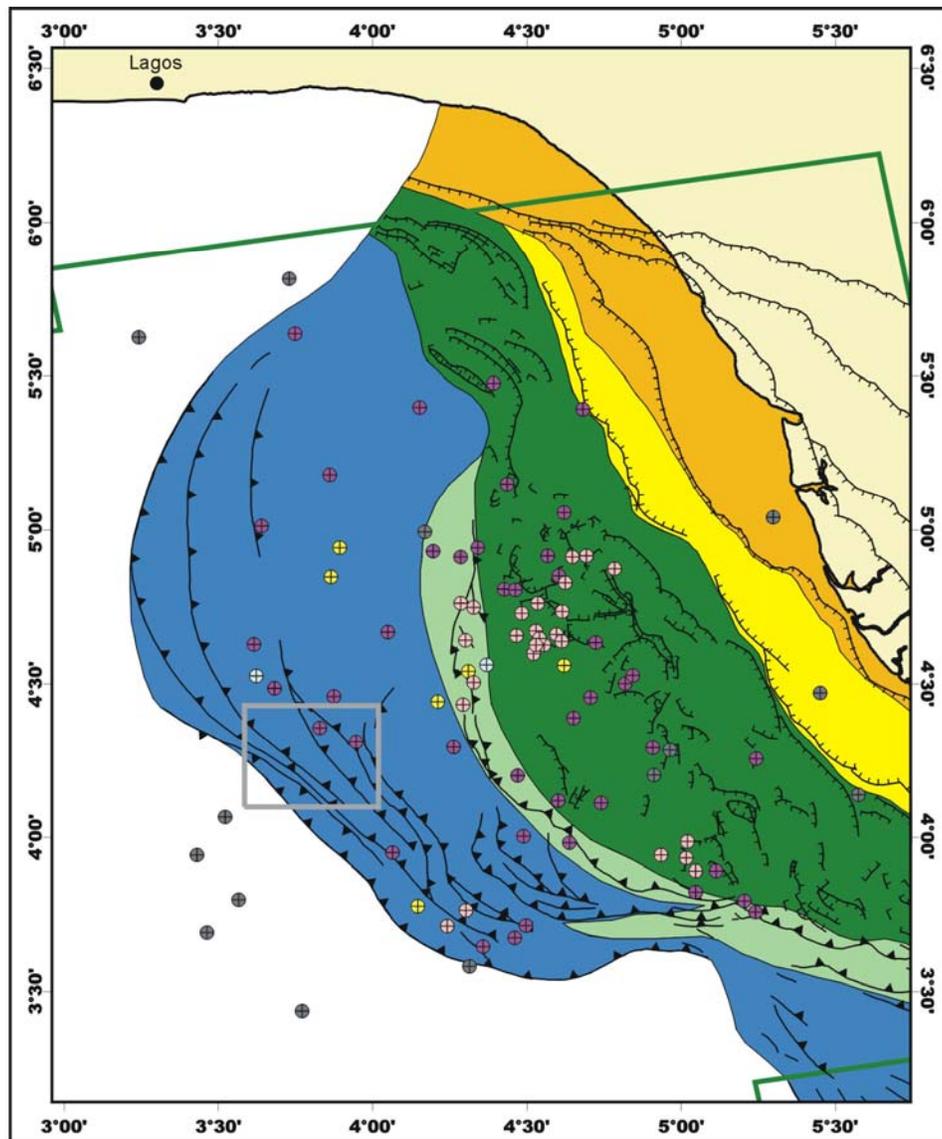


Figura 4.10 - Imagem híbrida sombreada de nordeste (26° de azimute e 77° de elevação), onde a informação referente à fisiografia do fundo do mar está contida no componente intensidade e a informação inerente à espessura do pacote sedimentar está expressa no componente matiz. É possível observar que, na região com maior carga sedimentar, as exsudações de óleo são menos freqüentes, em razão de um tectonismo menos ativo.



**Legenda**

- Cobertura sedimentar
- Área coberta pelas imagens do satélite RADARSAT-1
- Bloco OPL-324

**Estruturas geológicas (fonte: Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras)**

- Falha normal
- Falha de empurrão

**Domínios tectônicos da porção offshore do Delta do Niger (fonte: modificado de Morley & Guerin, 1996)**

- Província de falhas de crescimento sintéticas
- Província de falhas de crescimento antitéticas
- Província de diápiros
- Província de empurrões de diápiros
- Província de empurrões e dobramentos

**Fator geral de confiabilidade ( $F_{c\text{ geral}}$ )**

- + 1,0 - 0,8
- + 0,8 - 0,6
- + 0,6 - 0,4
- + 0,4 - 0,2
- + 0,2 - 0,0

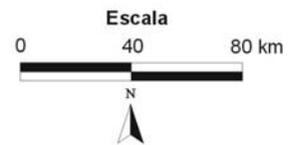
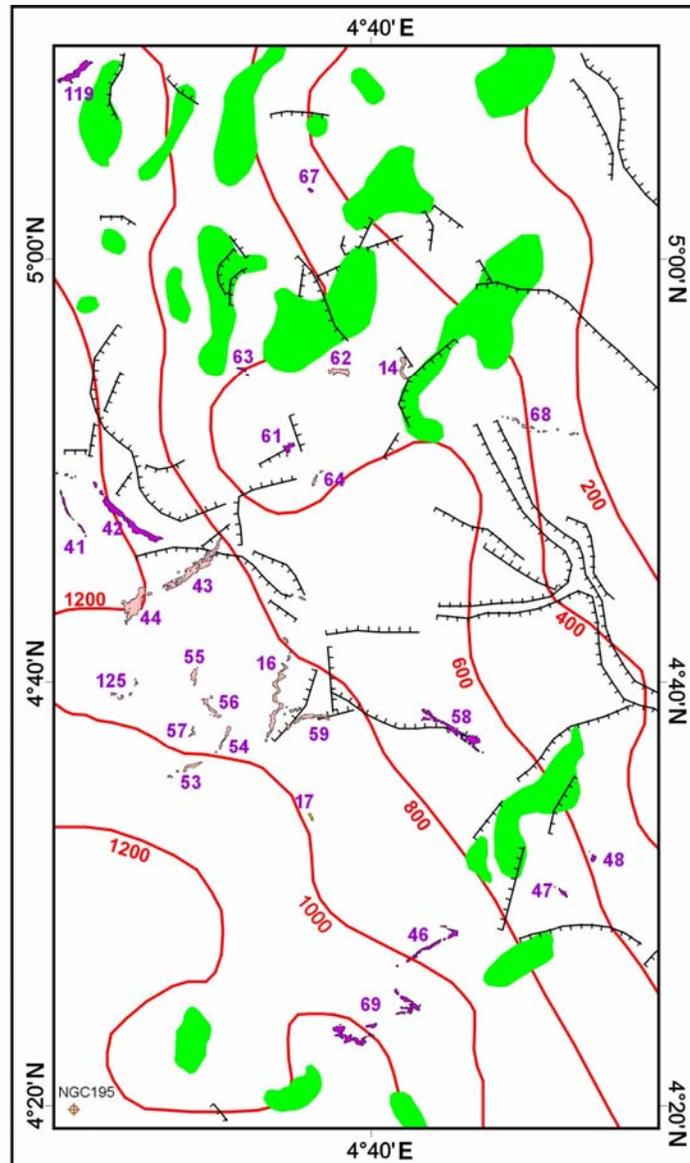


Figura 4.11 - Mapa dos domínios tectônicos da porção offshore do Delta do Niger integrado às informações estruturais e de sensoriamento remoto.



**Legenda**

Fator geral de confiabilidade ( $F_{c\text{ geral}}$ )

- 1,0 - 0,8
- 0,8 - 0,6
- 0,6 - 0,4
- 0,4 - 0,2
- 0,2 - 0,0

Estruturas geológicas (fonte: Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras)

- Falha normal
- Diápiros de folhelho

**Piston Cores** (fonte: TDI Brooks)

- 1998 Nigeria Consortium SGE (NGC)
- Isóbatas (metros)

Escala

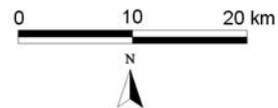
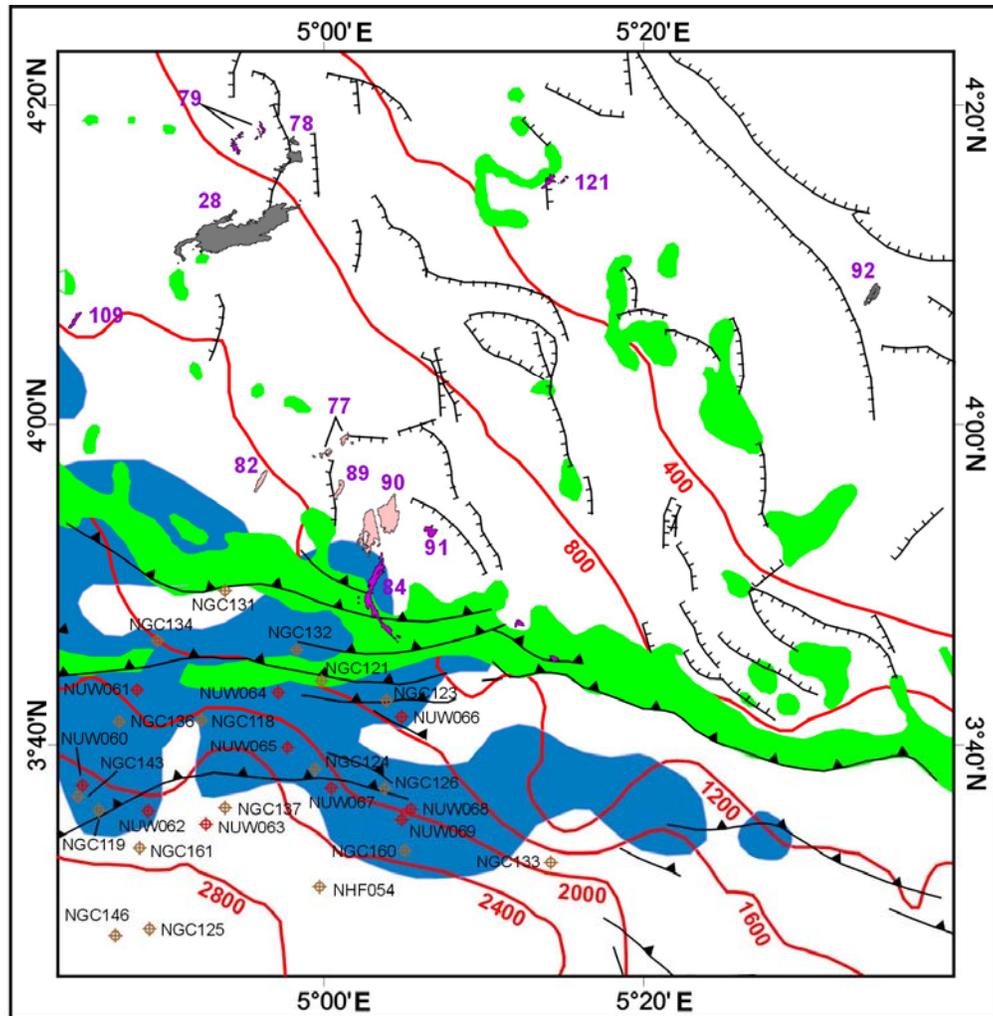


Figura 4.12 - Exsudações sobrepostas às falhas normais associadas a diápiros de folhelho, indicando a existência de possíveis rotas de migração de óleo nesta área. Ver localização na Figura 4.22.



**Legenda**

**Fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ )**

- 1,0 - 0,8
- 0,8 - 0,6
- 0,6 - 0,4
- 0,4 - 0,2
- 0,2 - 0,0

~ Isóbatas (metros)

**Estruturas geológicas (fonte: Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras)**

- / \ Falha normal
- / \ Falha de empurrão
- Diápiros de folhelho

**Piston Cores (fonte: TDI Brooks)**

- ◆ 1996 Nigeria Consortium SGE (NUW)
- ◆ 1998 Nigeria Consortium SGE (NGC)
- BSR's mapeados por Cunningham *et al.* in Brooks *et al.* (1999)

**Escala**

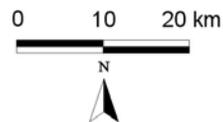
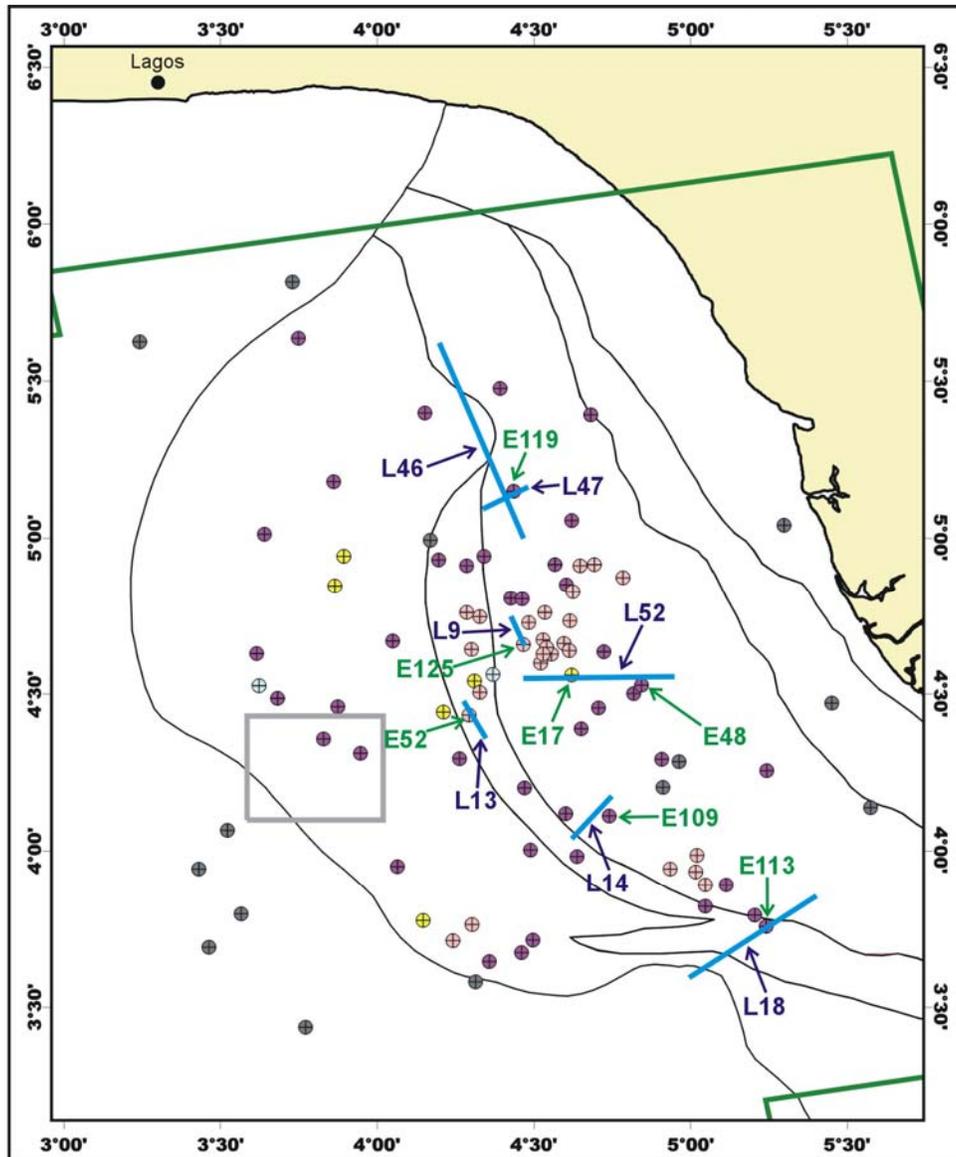


Figura 4.13 – Exsudações de óleo sobrepostas às falhas normais associadas a diápiros de folhelho, indicando a existência de possíveis rotas de migração de óleo nesta área. Ver localização na Figura 4.22.

Ao se comparar a localização das informações obtidas por sensoriamento remoto com as linhas sísmicas disponíveis na literatura, observou-se que cinco (5) delas interceptam ou estão muito próximas das exsudações de óleo interpretadas na província de diápiros (Fig. 4.14). Nas linhas 14 (Fig. 4.16), 46 (Fig. 4.17), 47 (Fig. 4.18) e 52 (Fig. 4.15), os diápiros de folhelhos móveis da Formação Akata estão deformando os sedimentos sobrejacentes da Formação Agbada. Nas linhas 14, 46 e 47, os diápiros aparecem aflorando no fundo oceânico. A migração de óleo ao longo dos flancos dos diápiros pode explicar a presença das exsudações 17 (*ranking* #4 - Fig. 4.15), 48 (*ranking* #7 - Fig. 4.15), 109 (*ranking* #7 - Fig. 4.16) e 119 (*ranking* #7 - Figs. 4.17 e 4.18). Na linha sísmica 9 (Fig. 4.19), que intercepta o polígono 125 (*ranking* #1), os diápiros de folhelho da Formação Akata não estão presentes. A única feição estrutural encontrada nesta linha é um *canyon* submarino moderno, cerca de 8 km a leste do polígono referente à citada exsudação.

Na província de empurrões de diápiros e na província de empurrões e dobramentos, foram interpretadas trinta e sete (37) exsudações de óleo. As exsudações identificadas nestes domínios tectônicos ocupam desde a terceira até a décima quarta posição no *ranking*. As falhas de empurrão de expressão regional existentes nestas províncias podem estar conectadas a superfícies de descolamento, criando rotas de migração desde a rocha geradora e/ou reservatórios com óleo até o fundo do mar (Fig. 4.11).

Importante fator a ser considerado no controle do fenômeno de exsudação de óleo no domínio compressional do Delta do Niger é a presença dos hidratos de gás nos sedimentos do fundo marinho. Estes compostos podem trapear os hidrocarbonetos que porventura migrem até o assoalho oceânico. A detecção dos hidratos é realizada através da identificação de anomalias de amplitude em linhas sísmicas de reflexão ou pela amostragem do fundo marinho por *piston cores*. A caracterização sísmica é possível em razão do congelamento do hidrato de gás na coluna sedimentar, aumentando, com isto, os valores de velocidade. Quando visualizadas em linhas sísmicas, estas feições recebem a denominação de BSR's (*Bottom Simulator Reflectors*). Os BSR's, na maior parte das vezes, são discordantes aos refletores sísmicos principais (Fig. 4.20). De acordo com Brooks *et al.* (1999), os BSR's no Delta do Niger estão geralmente associados às faixas de empurrões e dobramentos, onde a lâmina d'água é superior a 1.200 metros.



**Legenda**

- Cobertura sedimentar
- Área coberta pelas imagens do satélite RADARSAT-1
- Bloco OPL-324
- Linhas sísmicas
- Limites das províncias tectônicas (fonte: modificado de Morley & Guerin, 1996)

**Estruturas geológicas (fonte: Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras)**

- Falha normal
- Falha de empurrão

Obs:  
 EXX (e.g. E48) - número de identificação da exsudação  
 LXX (e.g. L18) - número de identificação da linha sísmica

**Fator geral de confiabilidade ( $F_{c\text{ geral}}$ )**

- 1,0 - 0,8
- 0,8 - 0,6
- 0,6 - 0,4
- 0,4 - 0,2
- 0,2 - 0,0

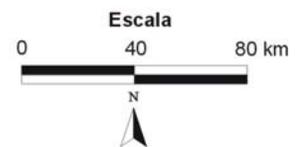


Figura 4.14 - Mapa de localização das linhas sísmicas que interceptam ou estão muito próximas dos centróides das exsudações de óleo interpretadas na porção *offshore* do Delta do Niger.

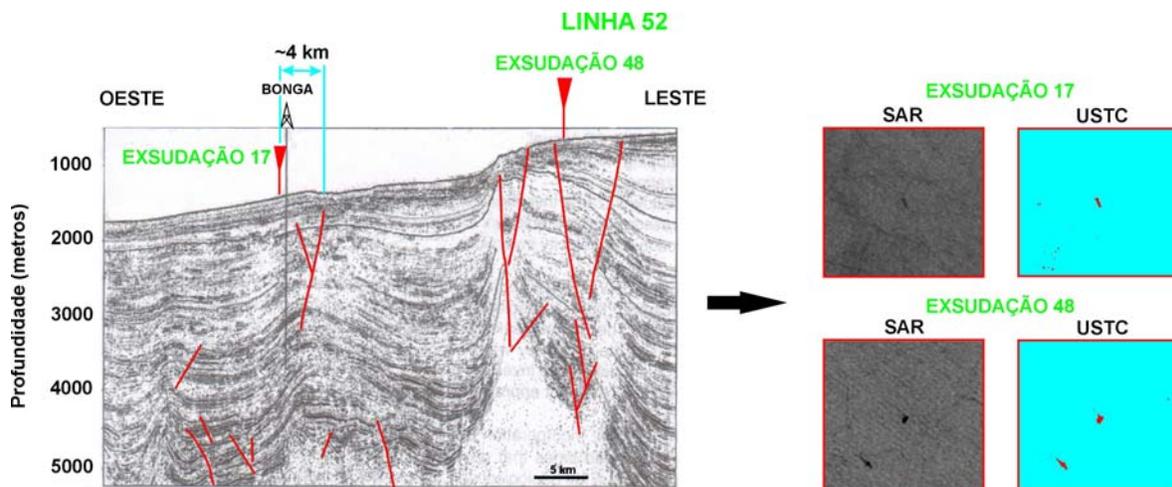


Figura 4.15 – Linha sísmica regional (Skaloud & Cassidy, 1998) e localização das exsudações 17 e 48. Nos locais onde as exsudações (marcadores vermelhos) ocorrem, é possível observar a presença de diápiros de folhelhos com falhas normais associadas. Na linha também está indicado o primeiro poço exploratório perfurado em 1995 pela *Shell Nigeria E&P Co. Ltd.* no prospecto de Bonga (bloco OPL-212).

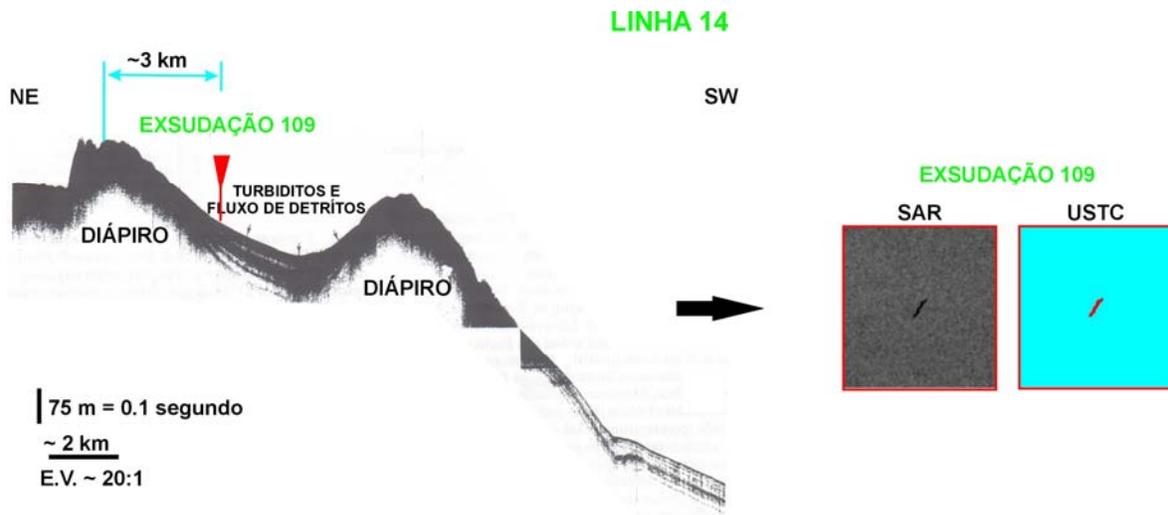


Figura 4.16 - Linha sísmica rasa publicada por Damuth (1994). A exsudação 109 (marcador vermelho) foi interceptada por esta linha e está posicionada no flanco de um diápiro de folhelho que aflora no fundo marinho.

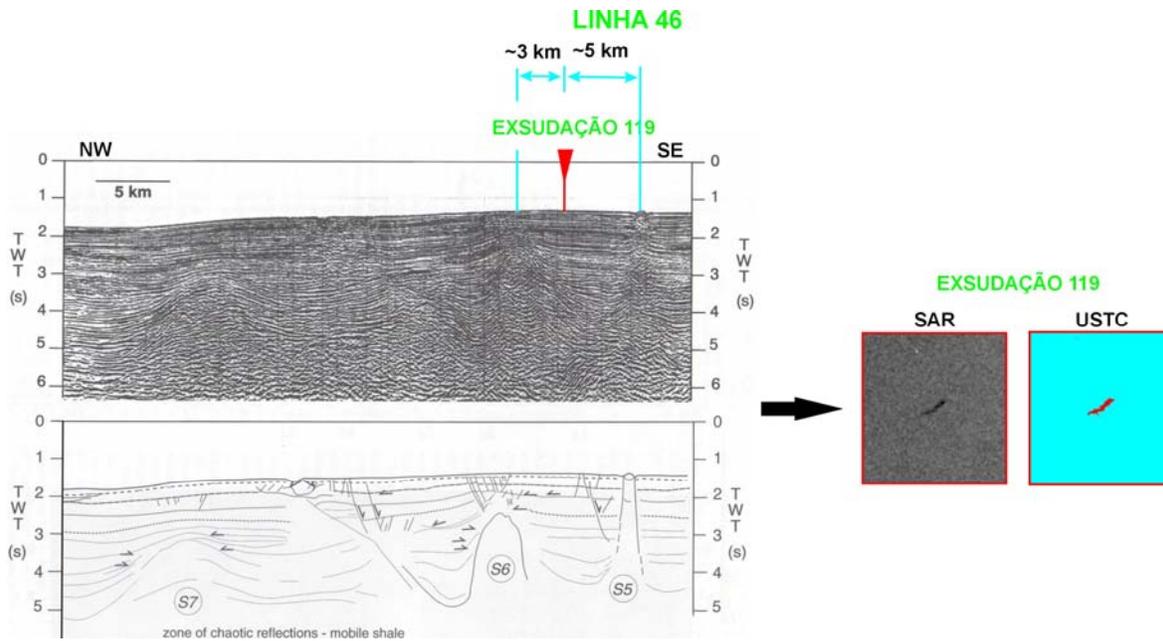


Figura 4.17 - Linha sísmica na direção *strike* (Cohen & McClay, 1996). A exsudação 119 (marcador vermelho) foi interceptada por esta linha e está posicionada entre dois diápiros de folhelho.

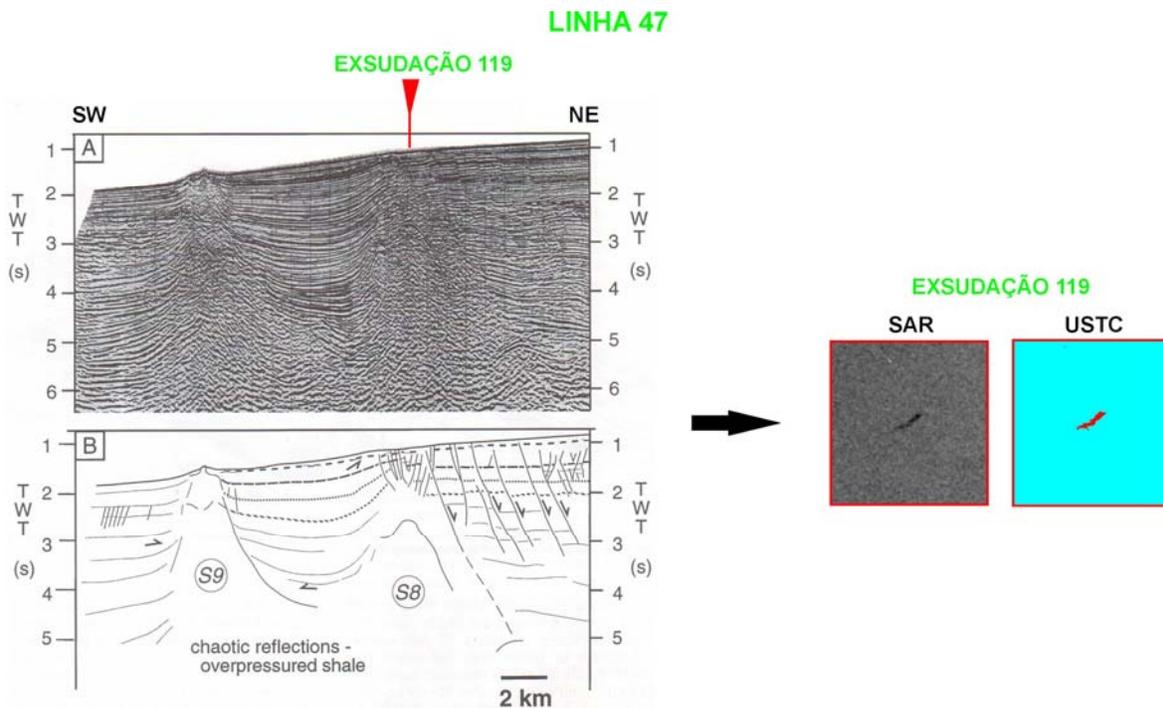


Figura 4.18 - Linha sísmica na direção *dip* publicada por Cohen & McClay (1996). A exsudação 119 (marcador vermelho) foi interceptada por esta linha e está sobreposta a uma estrutura diapírica.

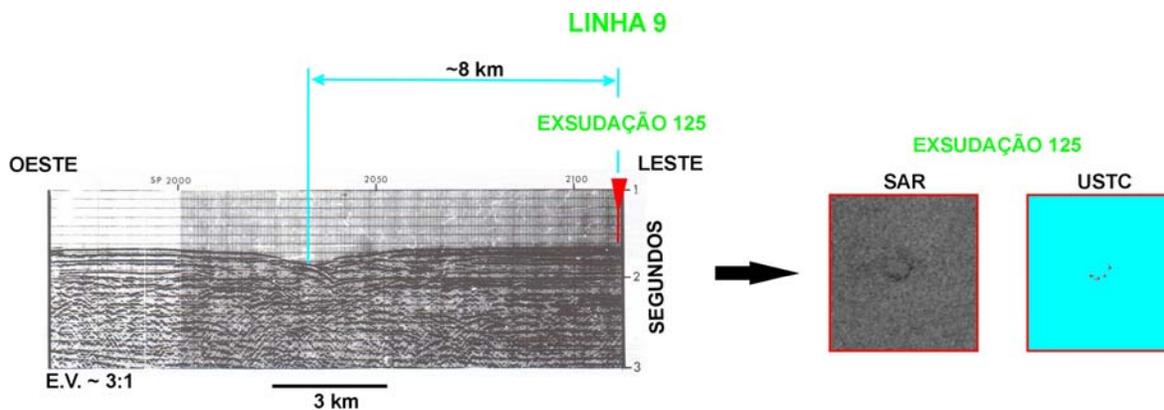


Figura 4.19 - Linha sísmica publicada por Damuth (1994). O polígono da exsudação 125 (marcador vermelho) foi interceptado por esta linha e está posicionado a leste de um *canyon* submarino moderno.

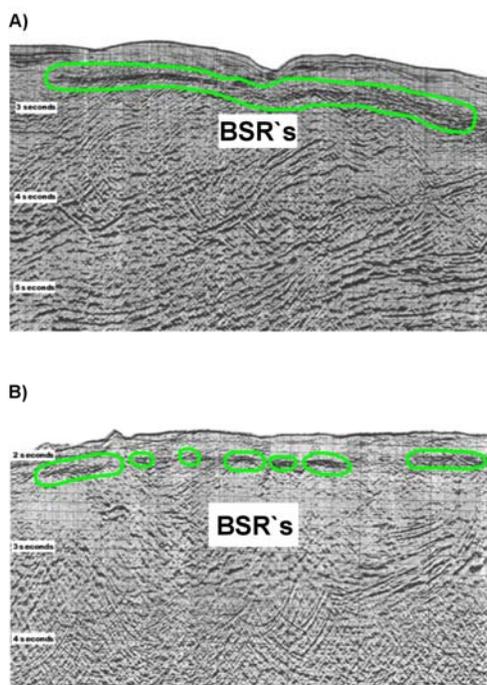


Figura 4.20 - Exemplos de BSR's (*Bottom Simulator Reflectors*) existentes ao longo do talude continental do Delta do Niger. (A) Em lâmina d'água de 1800 metros e o BSR se encontra a 175 mili-segundos abaixo do fundo marinho. (B) O BSR apresentado nesta linha apresenta discontinuidades, está a uma profundidade de aproximadamente 1350 metros e a 270 metros abaixo do fundo marinho (fonte: Brooks *et al.* 1999).

A TDI Brooks realizou diversas campanhas exploratórias de geoquímica de superfície no talude continental do Delta do Niger, em 1996, 1998, 2000 e 2003. Tais campanhas foram denominadas de *Nigeria Consortium SGE* e *Nigeria-ST JDZ Consortium SGE* (Fig. 4.21). A escolha dos pontos de amostragem por *piston core* pela TDI Brooks foi realizada a partir de linhas sísmicas 2D e 3D. Segundo Brooks *et al.* (1999), os melhores cenários para a amostragem ocorrem em regiões de tectonismo ativo devido à presença de diápiros de folhelho e em locais onde falhas profundas estão cortando toda a seqüência sedimentar. Nestas condições, foram criados condutos para a migração dos hidrocarbonetos desde a rocha geradora e/ou reservatórios até o assoalho oceânico. Deve-se ainda ressaltar que as falhas prioritárias para a locação dos pontos de amostragem por *piston cores*, segundo os citados autores, são aquelas associadas a anomalias de amplitudes e/ou BSR's, construções no fundo marinho (e.g. acumulações de carbonato e vulcões de lama) e chaminés de gás.

A Figura 4.22 mostra o mapa estrutural do Delta do Niger com sobreposição das informações de sensoriamento remoto, dos polígonos referentes aos BSR's mapeados por Cunningham *et al.* in Brooks *et al.* (1999) e dos pontos de amostragem por *piston core* realizados pela TDI Brooks. Pode-se aí observar que muitas das exsudações de óleo ocorrem acima das falhas de empurrão e dos BSR's. Conseqüentemente, é plausível concluir que os BSR's não estão funcionando como barreiras para a migração de hidrocarbonetos, pois se localizam em uma região tectonicamente ativa, onde sua eficiência como camada selante fica comprometida. De acordo com Brooks *et al.* (1999), análises de linhas sísmicas adquiridas nas áreas onde as macro-exsudações de óleo ocorrem indicam que os BSR's geralmente estão presentes. Devido a isto, tais autores acreditam que os BSR's não estão agindo como uma barreira à migração de hidrocarbonetos.

Nas Figuras 4.13, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 e 4.28 são apresentados em detalhe os principais resultados obtidos no domínio compressional do Delta do Niger. Os comentários a respeito de cada uma destas figuras seguem nos parágrafos abaixo. A localização de todos estes mapas está indicada na Figura 4.22.

Na Figura 4.23, é possível observar em detalhe todas as exsudações interpretadas nas cercanias do bloco OPL-324 e os *piston cores* amostrados na área. Apenas duas

exsudações foram identificadas dentro do bloco: 71 (*ranking* #9) e 72 (*ranking* #9). Tais feições estão afastadas das falhas de empurrão apresentadas no mapa (71 = 4,30 km e 72 = 3,42 km), porém o afastamento é menor do que a deriva média estimada (13,46 km/dia) (Tabela 4.1). Por conseguinte, não se pode excluir a hipótese de que tais estruturas estariam funcionando como rotas de migração ativas para o óleo, o que explicaria a presença das exsudações 71 e 72 neste local. Fora do Bloco OPL-324, é possível observar mais quatro exsudações: 73 (*ranking* #9), 74 (*ranking* #9), 75 (*ranking* #11) e 76 (*ranking* #9). Apesar da exsudação 74 se sobrepor a uma falha de empurrão, acredita-se que o provável conduto para a migração de óleo esteja localizado a oeste. Isso ocorre porque neste caso as correntes oceânicas e o campo de vento regional fluem para leste, paralelamente ao alinhamento da exsudação 74. No entanto, a exsudação 73 pode estar associada a esta falha de empurrão, uma vez que o afastamento horizontal desta feição em relação a tal estrutura é da ordem de 18,28 km, aproximadamente igual à deriva máxima estimada (18,64 km/dia) (Tabela 4.1). Os *piston cores* coletados acima do plano de falha estão indicados na Figura 4.23.

Ao longo da falha de empurrão apresentada na Figura 4.24, foram identificadas 9 (nove) exsudações de óleo: 08 (*ranking* #9), 09 (*ranking* #3), 11 (*ranking* #3), 20 (*ranking* #5), 21 (*ranking* #5), 40 (*ranking* #7), 51 (*ranking* #3), 52 (*ranking* #3) e 70 (*ranking* #3). As feições 10 (*ranking* #10), 37 (*ranking* #14), 38 (*ranking* #9) e 39 (*ranking* #9) também foram identificadas na região, porém afastadas da falha anteriormente mencionada. Nesta figura, é igualmente possível observar que algumas exsudações ocorrem sobrepostas aos BSR's mapeados por Cunningham *et al.* in Brooks *et al.* (1999). Conseqüentemente, pode-se concluir que os hidratos de gás não estão atuando no local como barreira à migração de hidrocarbonetos. Uma causa provável é que sua integridade foi comprometida pela intensa atividade tectônica existente nessa porção do delta. No caso da exsudação 08 acredita-se que o provável conduto para a migração de óleo esteja localizado a SW. Isso ocorre porque as correntes oceânicas e o campo de vento regional fluem preferencialmente para NE, paralelamente ao alinhamento desta exsudação.

As Figuras 4.13, 4.25 e 4.26 também mostram diversas exsudações de óleo interpretadas no domínio compressional, indicando a existência de um sistema petrolífero ativo na região. Muitas das citadas exsudações ocorrem sobrepostas aos BSR's

mapeados por Cunningham *et al.* in Brooks *et al.* (1999), indicando, mais uma vez, que estes últimos não atuam na área como barreira à migração de hidrocarbonetos.

Algumas das linhas sísmicas incorporadas ao banco de dados digitais georeferenciados sobrepõem-se ou estão muito próximas dos polígonos correspondentes às exsudações interpretadas na província de empurrões de diápiros e na província de empurrões e dobramentos (Fig 4.14): exsudações 52 na linha 13 (Fig. 4.28) e 113 na linha 18 (Fig. 4.27). Na linha 18 (Fig. 4.27) é possível observar uma série de falhas de empurrão dentro da Formação Akata. Tais falhas podem servir como rotas migração para os hidrocarbonetos e, assim, explicar a presença da exsudação 113 (*ranking* #9) no domínio compressional. Na linha sísmica 13 (Fig. 4.28), as falhas de empurrão não podem ser visualizadas e a única feição presente é um *canyon* preenchido por sedimentos. Deve-se ressaltar que, se o *canyon* estiver submetido a controle estrutural, o polígono 52 (*ranking* #3), sobreposto a esta linha, pode sugerir a presença de um sistema petrolífero ativo.

Técnicas de realce de imagem foram aplicadas aos dados batimétricos no formato *raster* para criar a imagem sombreada e colorizada da Figura 4.9. Tal procedimento permitiu que lineamentos com direção NE-SW presentes na topografia do fundo do mar fossem realçados. Estes lineamentos representam a expressão batimétrica das zonas de fratura Romanche, Charcot e Chain. Possíveis migrações de hidrocarbonetos no pacote sedimentar através de estruturas resultantes da reativação de tais zonas de fratura poderiam explicar a existência das seguintes exsudações interpretadas no domínio da planície abissal: polígonos 02 (*ranking* #13), 13 (*ranking* #13), 18 (*ranking* #13), 19 (*ranking* #13), 34 (*ranking* #13), 99 (*ranking* #13) e 100 (*ranking* #17). Porém, deve-se ressaltar que tal hipótese pressupõe necessariamente a existência, nesta região, de rochas geradoras.

Para sumariar a discussão dos resultados, a Figura 4.29 apresenta a distribuição das exsudações de óleo pelas diferentes províncias tectônicas do Delta do Niger. Verifica-se que o maior número de exsudações de óleo ocorre na província diápiros, na província de empurrões de diápiros e na província das faixas de empurrões e dobramentos. Tal fato comprova que estes dois domínios tectônicos (transicional e compressional) são os mais

favoráveis para a ocorrência do fenômeno de exsudação de óleo devido à intensa atividade tectônica.

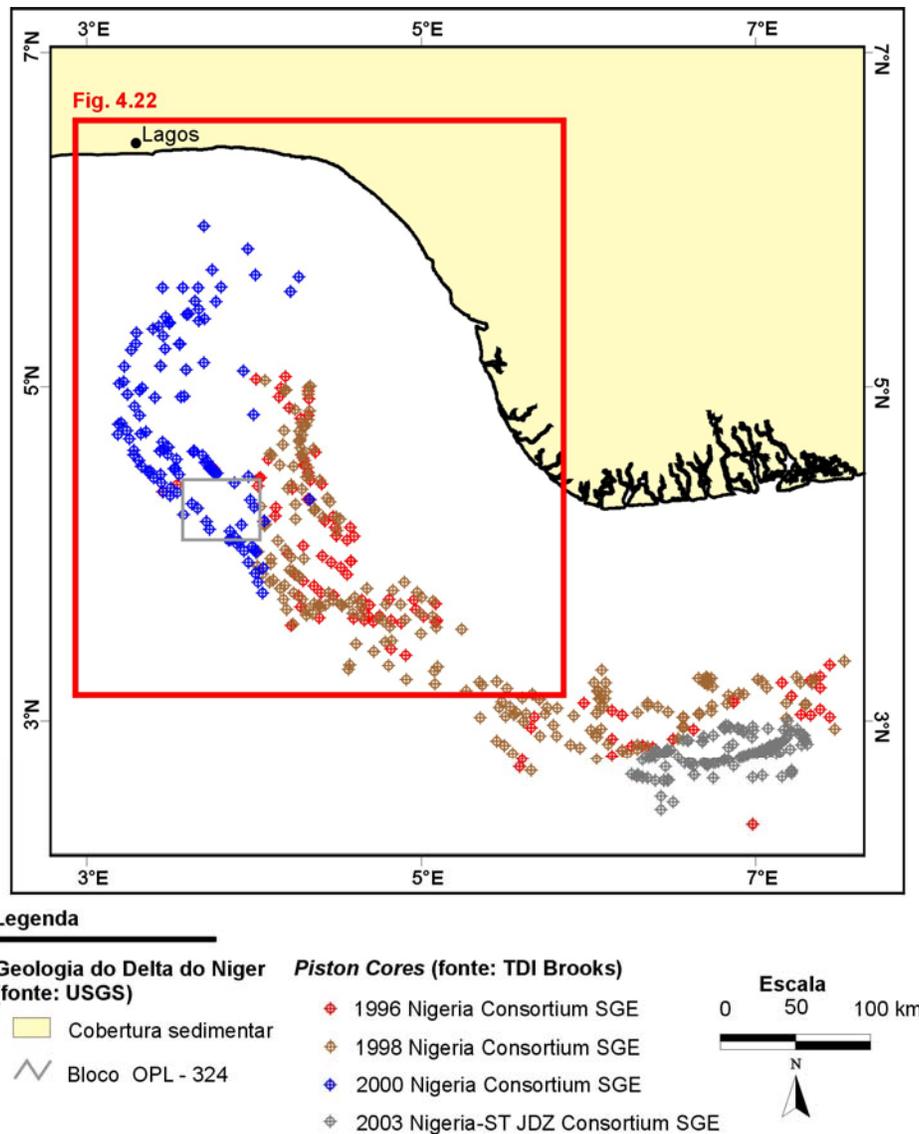
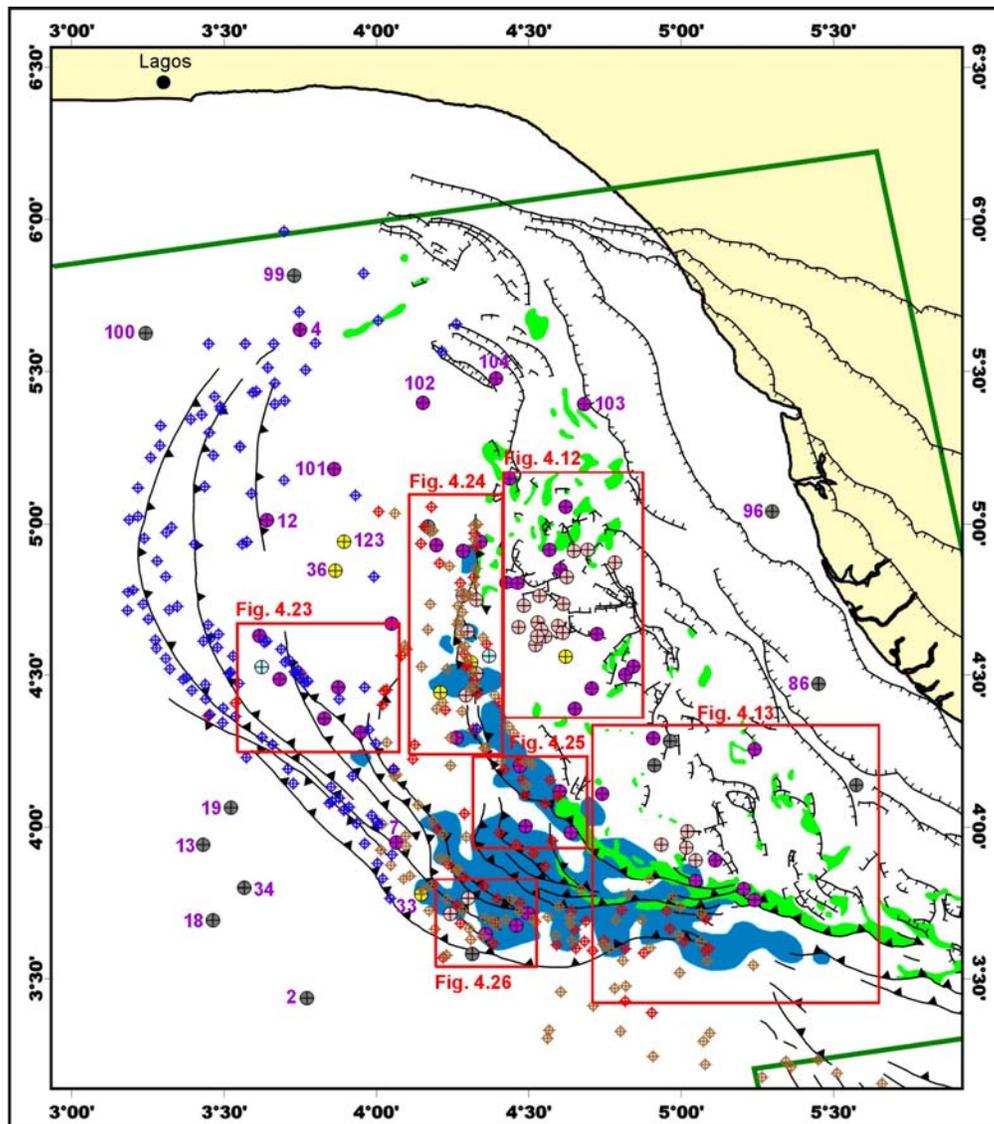


Figura 4.21 – Mapa da distribuição dos pontos de amostragem do fundo oceânico por *piston cores* realizada pela TDI-Brooks no talude continental do Delta do Niger. O posicionamento das amostras de *piston cores* foram obtidas no *website* da TDI Brooks ([http://www.tdi-bi.com/our\\_programs/west\\_africa/westafrica\\_main.htm](http://www.tdi-bi.com/our_programs/west_africa/westafrica_main.htm)).



**Legenda**

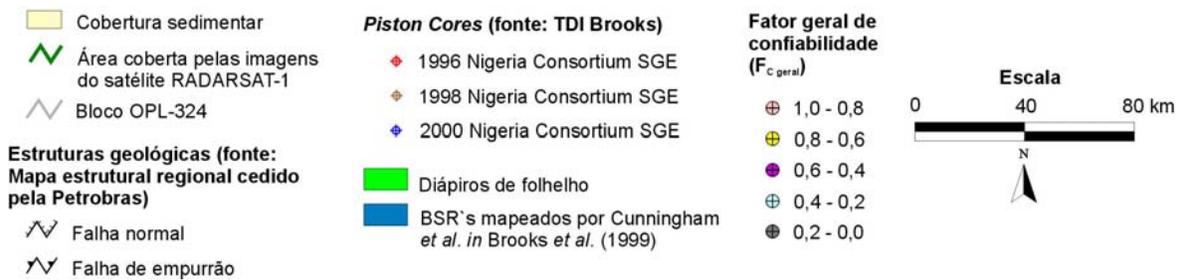
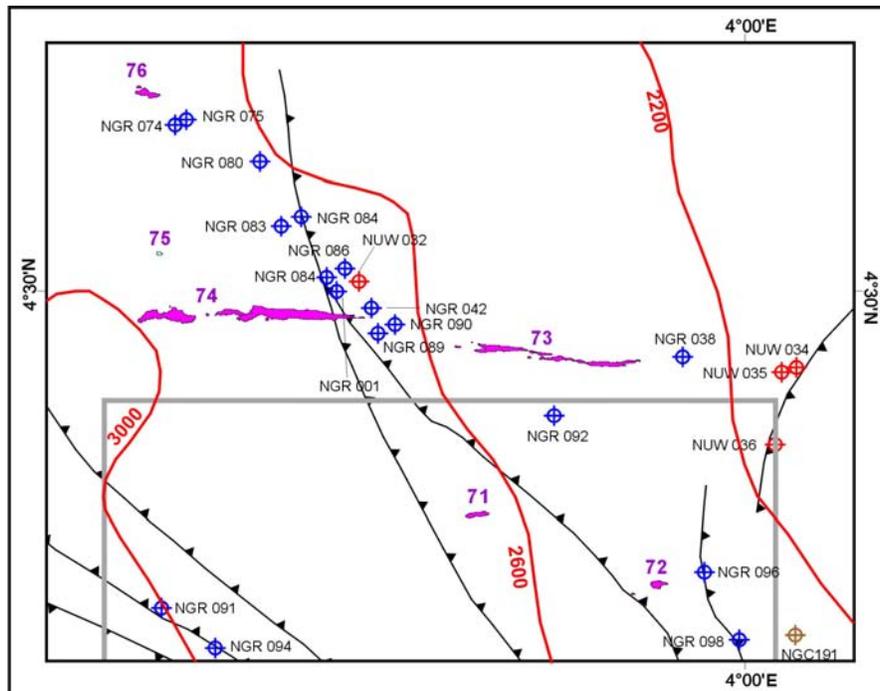


Figura 4.22 - Mapa da porção *offshore* do Delta do Niger integrando as informações de sensoriamento remoto, geológicas, pontos de amostragem por *piston cores* e BSR's.



**Legenda**

**Fator geral de confiabilidade ( $F_{c\text{ geral}}$ )**

- 1,0 - 0,8
- 0,8 - 0,6
- 0,6 - 0,4
- 0,4 - 0,2
- 0,2 - 0,0

↗ Isóbatas (metros)

**Estruturas geológicas (fonte: Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras)**

↗ Falha de empurrão

**Piston Cores (fonte: TDI Brooks)**

- ◆ 1996 Nigeria Consortium SGE (NUW)
- ◆ 1998 Nigeria Consortium SGE (NGC)
- ◆ 2000 Nigeria Consortium SGE (NGR)

↗ Bloco OPL - 324

**Escala**

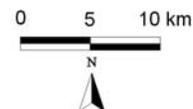


Figura 4.23 - Detalhe da Figura 4.22, mostrando exsudações interpretadas próximas às falhas de empurrão, indicando a existência de possíveis rotas de migração de óleo nesta região.

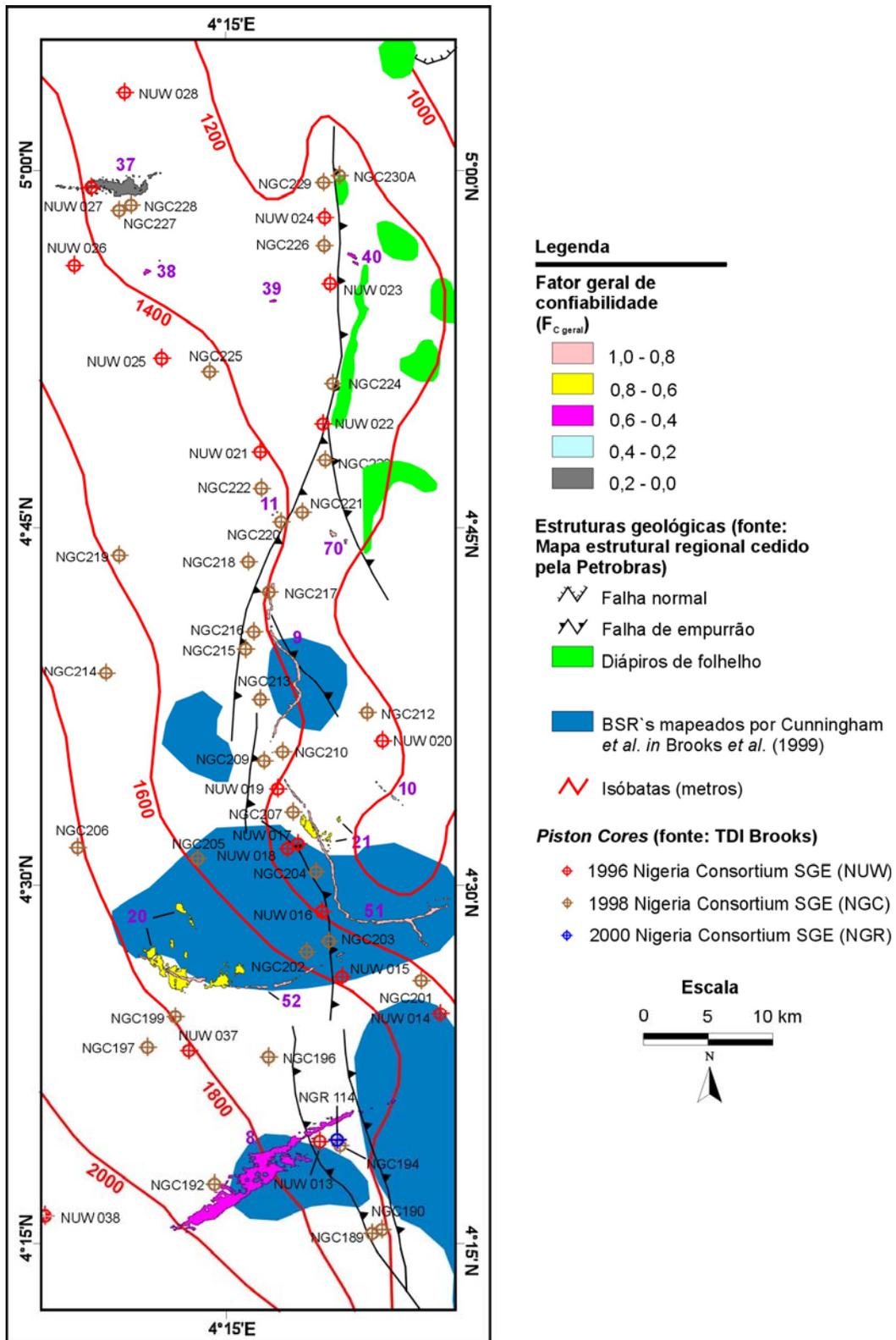
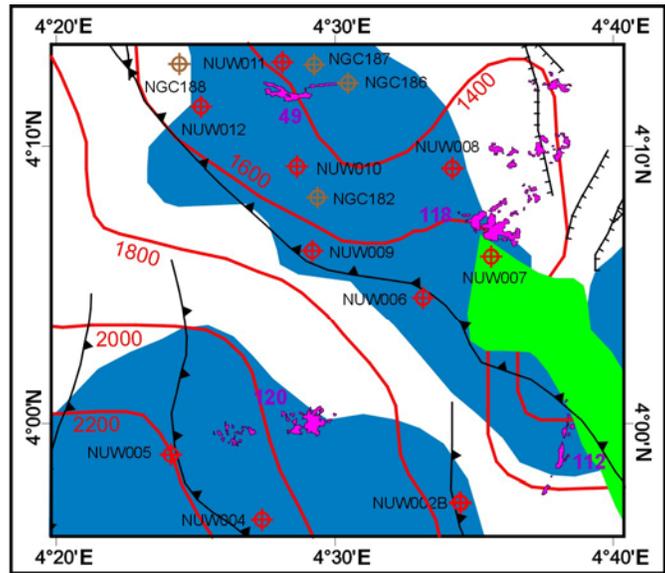


Figura 4.24 - Detalhe da Figura 4.22, mostrando exsudações interpretadas próximas às falhas de empurrão, indicando a existência de possíveis rotas de migração de óleo nesta região.



**Legenda**

**Fator geral de confiabilidade ( $F_c$  geral)**

- 1,0 - 0,8
- 0,8 - 0,6
- 0,6 - 0,4
- 0,4 - 0,2
- 0,2 - 0,0
- Isóbatas (metros)

**Estruturas geológicas (fonte: Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras)**

- Falha normal
- Falha de empurrão
- Diápiros de folhelho

**Piston Cores (fonte: TDI Brooks)**

- 1996 Nigeria Consortium SGE (NUW)
- 1998 Nigeria Consortium SGE (NGC)

BSR's mapeados por Cunningham et al. in Brooks et al. (1999)

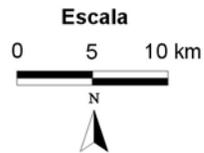
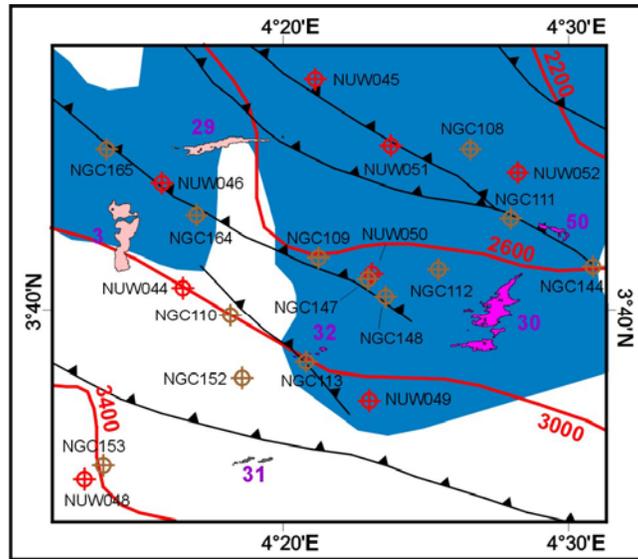


Figura 4.25 - Detalhe da Figura 4.22, mostrando exsudações interpretadas próximas às falhas de empurrão, indicando a existência de possíveis rotas de migração de óleo nesta região.



**Legenda**

**Fator geral de confiabilidade ( $F_{C\text{ geral}}$ )**

- 1,0 - 0,8
- 0,8 - 0,6
- 0,6 - 0,4
- 0,4 - 0,2
- 0,2 - 0,0
- Isóbatas (metros)

**Estruturas geológicas (fonte: Mapa estrutural regional cedido pela Petrobras)**

- Falha normal
- Falha de empurrão

**Piston Cores (fonte: TDI Brooks)**

- 1996 Nigeria Consortium SGE (NUW)
- 1998 Nigeria Consortium SGE (NGC)

BSR's mapeado por Cunningham et al. in Brooks et al. (1999)

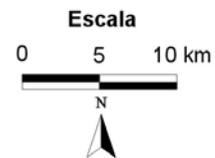


Figura 4.26 - Detalhe da Figura 4.22, mostrando exsudações interpretadas próximas a falhas de empurrão, indicando a existência de possíveis rotas de migração de óleo.

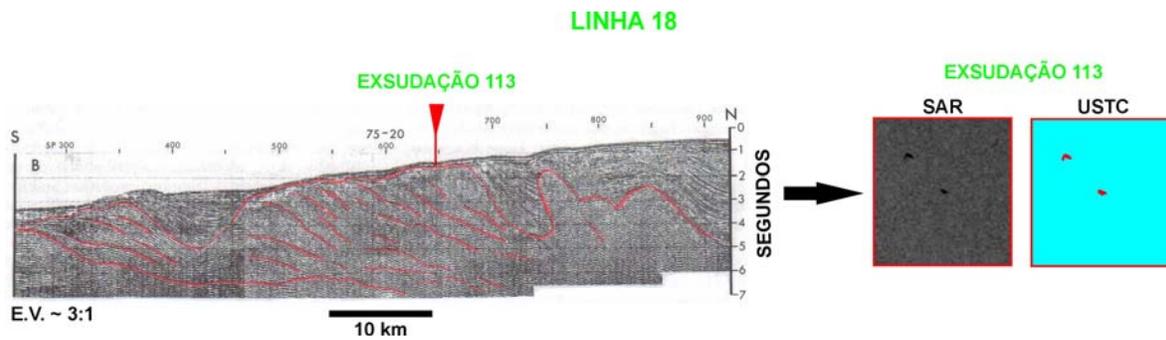


Figura 4.27 - Linha sísmica (Damuth, 1994) com a exsudação 113 (marcador vermelho) posicionada acima das faixas de empurrões e dobramentos, indicando a existência de um sistema petrolífero ativo nesta região.

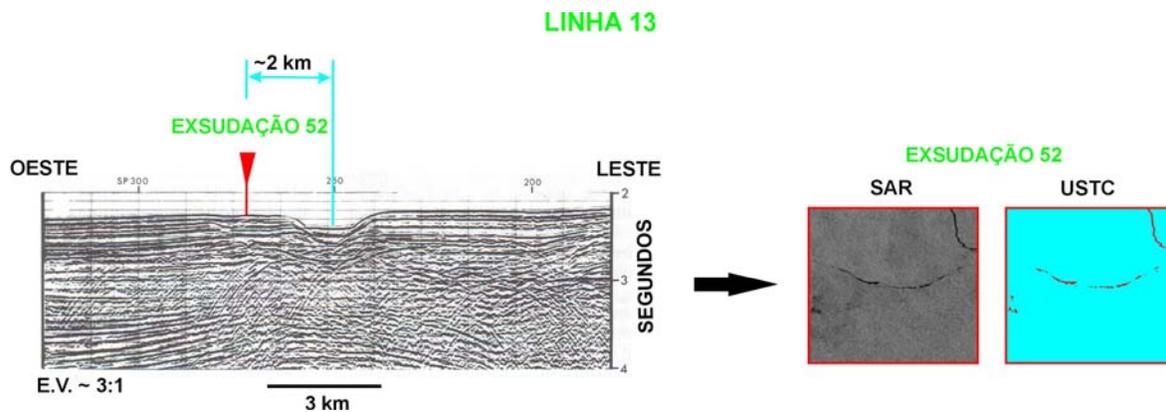


Figura 4.28 - Linha sísmica publicada por Damuth (1994). O polígono da exsudação 52 (marcador vermelho) sobrepõe-se a esta linha e está posicionado próximo ao flanco de um *canyon* submarino moderno.

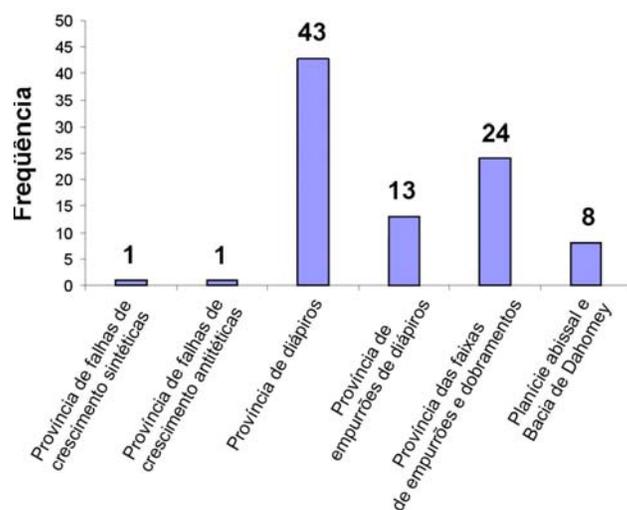


Figura 4.29 – Distribuição das exsudações de óleo pelas diferentes províncias tectônicas do Delta do Niger. Verifica-se que os domínios transicional e compressional são mais favoráveis para a ocorrência de exsudações de óleo.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo aqui realizado alcançou os objetivos inicialmente propostos, no que tange à avaliação da potencialidade do uso do sensoriamento remoto por radar para detectar a presença de exsudações de óleo na porção *offshore* do Delta do Niger. O emprego do geoprocessamento também foi de fundamental importância, permitindo a inserção dos polígonos correspondentes às exsudações em um banco de dados digitais geo-referenciados. Com isto, foi possível obter resultados integrados às informações geológicas e geofísicas que contribuíram para a proposição de sistemas petrolíferos ativos na região investigada.

Abaixo, estão sumariadas as principais conclusões referentes à pesquisa em epígrafe:

1. A identificação de exsudações de óleo confirmou a existência de um sistema petrolífero ativo na porção *offshore* do Delta do Niger. Foram igualmente sugeridas possíveis rotas migração para os hidrocarbonetos provenientes das rochas geradoras e/ou reservatórios da seqüência terciária do delta, reduzindo, com isto, o risco exploratório com relação aos processos de geração e migração;
2. A maior parte das exsudações de óleo detectadas (um total de 80 polígonos) ocorreu nas províncias geológicas com os maiores valores de  $fc_{\text{tectônico}}$  (província de diápiros com  $fc_{\text{tectônico}} = 1,00$  e província de empurrões de diápiros com  $fc_{\text{tectônico}} = 0,75$ ). Tal resultado corroborou a hipótese inicial de que estes são os domínios tectônicos mais propensos ao fenômeno de exsudação. Os outros 10 polígonos estão distribuídos na plataforma continental (02 polígonos) e na planície abissal (08 polígonos);
3. Verifica-se que o critério temporal ( $fc_{\text{temporal}}$ ) foi decisivo na hierarquização das exsudações de óleo, o que realça a necessidade da realização no futuro de um

monitoramento sistemático por satélite do Delta do Niger, de modo a aquilatar de maneira precisa a repetibilidade do fenômeno na região;

4. As exsudações de óleo orientadas nas direções NE-SW resultam de interações com a Corrente da Guiné (de sentido NE, aproximadamente perpendicular às isóbatas) e com o campo de vento regional presente na área (de sentido NE). No entanto, variações locais, para norte ou para leste, no sentido de propagação da Corrente da Guiné e do campo de vento podem estar condicionando o alinhamento das exsudações orientadas na direção E-W e N-S. Já as exsudações orientadas na direção NW-SE, podem estar sendo controladas exclusivamente por variações locais no campo de vento;
5. As exsudações 86 e 96 foram identificadas no domínio extensional do delta (província de falhas de crescimento sintéticas e província de falhas de crescimento antitéticas) e estavam afastadas das falhas de crescimento de expressão regional representadas no mapa. No entanto, o afastamento destas exsudações em relação às falhas de crescimento (86 = 13,20 km e 96 = 12,96 km) é menor do que a deriva média estimada (13,46 km/dia). Conseqüentemente, não se pode excluir a hipótese de que tais estruturas estariam funcionando como rotas de migração ativas para o óleo. Considerou-se também a hipótese da existência de falhas de crescimento de menor porte, não representadas na escala do mapa estrutural utilizado, para explicar a presença das exsudações 86 e 96;
6. Quarenta e três (43) exsudações de óleo foram interpretadas na província de diápiros. Esta província é intensamente falhada, onde a deformação foi causada pelos diápiros de folhelho. O óleo migraria até o fundo do mar através das falhas normais presentes no topo das estruturas diápiricas, ou ao longo dos flancos dos diápiros que alcançam o assoalho oceânico;
7. Trinta e sete (37) exsudações de óleo foram interpretadas na província de empurrões de diápiros e na província de empurrões e dobramentos. As falhas nestas províncias podem estar associadas a feições de descolamento, criando rotas de migração desde a rocha geradora e/ou reservatórios geológicos até o fundo do mar;

8. Verificou-se que os *Bottom Simulator Reflectors* (BSR`s) mapeados por Cunningham *et al.* in Brooks *et al.* (1999) não atuam como barreiras para a migração de hidrocarbonetos, uma vez que as exsudações de óleo ocorrem acima das falhas de empurrão que afetam os BSR`s. Tal fenômeno provavelmente ocorre devido ao fato desta ser uma região tectonicamente ativa, onde os níveis de hidratos não se encontram totalmente íntegros, o que possibilita migração do óleo até o assoalho marinho;
9. As técnicas de processamento de imagem aplicadas aos dados batimétricos no formato *raster* permitiram que lineamentos com direção NE-SW fossem realçados. Estes lineamentos representam a expressão batimétrica das zonas de fratura Romanche, Charcot e Chain. Assim, exsudações de óleo detectadas na região da planície abissal (#02, #13, #18, #19, #34, #99 e #100) podem estar relacionadas a reativações tectônicas ao longo das citadas zonas de fratura oceânicas, que ocasionaram a criação de condutos para a migração do óleo;
10. Os resultados do *ranking* das exsudações de óleo aqui identificadas podem ser utilizados no futuro para focalizar o processo de escolha da locação de pontos adicionais de amostragem por *piston cores*. Além disso, podem assistir na seleção daqueles com maior potencial de agregação de informação dentre os amostrados nas campanhas anteriores de geoquímica de superfície da TDI-Brooks;
11. No futuro, aconselha-se o uso combinado das imagens adquiridas pelos satélites RADARSAT-1, RADARSAT-2 (com lançamento previsto ainda em 2006) e ENVISAT (já em operação), aumentando as opções de imageamento disponíveis. No caso de projetos cujo foco principal é o monitoramento sistemático de exsudações de óleo, a utilização conjunta dos três satélites aumentará em muito o ciclo de revisita, o que é fundamental para a avaliação precisa da repetição do fenômeno no tempo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida-Filho, R., Miranda, F.P., Lorenzetti, J.A., et al., 2005, "RADARSAT-1 images in support of petroleum exploration: the offshore Amazon River mouth example". *Can. J. Remote Sensing*. Vol.31, n.4, pp:289-303.
- Beisl, C. H., Silva Junior, C. L. e Miranda, F. P., 2000,"Combined use of RADARSAT-1 and AVHRR data for the identification of mesoscale oceanic features in the Campos Basin, Brazil". In: *Proceedings of the Sixth International Conference of Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, Charleston, South Carolina.
- Beukelaer, S. M., Macdonald, I. R., Guinasso, N. L., et al., 2003, "Distinct side-scan sonar, RADARSAT SAR, and acoustic profiler signatures of gas and oil seeps on the Gulf of Mexico slope". *Geo-Mar Lett*, v.23, pp.177-186.
- Brooks, J. M., Bryant, W. R., Bernard, B. B., et al., 1999,"The Nature of Gas Hydrates on the Nigerian Continental Slope". In: *Annals of the New York Academy of Sciences*, Third International Conference of Gas Hydrates, pp.1-20, Park City, Utah, July 18-22.
- Burke, C. H., 1973, "Pressure shale and related sediment deformation: mechanism for development of regional contemporaneous faults". *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.57, pp.878-886.
- Cameron, N. R., Brooks, J. M. and Zumberge, J. E., 1999,"Deepwater Petroleum Systems in Nigeria: their identification and characterization ahead of the drill bit using SGE technology". In: *IBC Nigeria Energy Summit*, London, June 15-16.
- Chang, H. K., Bender, A. A., Kowsmann, R. O., et al., 1990,"Origem e evolução termomecânica de bacias sedimentares". In: Gabaglia, R. & Milani, E. J. (eds). *Origem e evolução das bacias sedimentares*, Rio de Janeiro, Petrobras, pp.49-71.
- Cohen, H. A. and McClay, K., 1996, "Sedimentation and shale tectonics of the northwestern Niger Delta front". *Marine and Petroleum Geology*, v.13, n.3, pp.313-328.

CIMAS (*Cooperative Institute for Marine and Atmospheric Sciences*) - Disponível em: <<http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/>>. Acesso em: 05 de Julho de 2006.

Curtis, D. M., 1970, Miocene deltaic sedimentation, Louisiana Gulf Coast, *in* Deltaic seimentation modern and ancient: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 15, pp. 293-308.

Damuth, J. E., 1994, "Neogene gravity tectonics and depositional processes on the deep Niger Delta continental margin". *Marine and Petroleum Geology*, v.11, n.3, pp.320-345.

Doust, H. and Omatsola, E., 1990, *Niger Delta*. AAPG Memoir 48, pp.201-238.

ESA (*European Space Agency*) - Disponível em: <<http://envisat.esa.int/dataproducts/asar/CNTR1-1-5.htm#eph.asar.ug.choos.specfeat>>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2004.

Espedal, H. A., 1998, *Detection of Oil Spill and Natural Film in the Marine Environment by Spaceborne Synthetic Aperture Radar*. (Dr. Science Thesis). University of Bergen, Department of Physics, Norway, pp.200.

ETOPO5 Program. Disponível em: <[http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get\\_data.cgi](http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi)>. Acesso em: 02 de novembro de 2003.

Evamy, B. D., Haremboure, J., Kamerling, P., *et al.*, 1978, "Hydrocarbon Habitat of Tertiary Niger Delta". *The American Association of Petroleum Geologists*, v.62, n.1, pp.325-351.

Frost, V.S.; Stiles, J.A.; Shanmugan, K.S. and Holtzman, J.C., 1982, "A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 4, no. 2, pp. 157-166.

Grodsky, S. A. & Carton, J. A., 2001, "Coupled land/atmosphere interactions in the West African Monsson". *Geophysical Research Letters*, vol.28, n.8, pp. 1503-1506.

- Haack, R. C., Sundararaman, P., Diedjomahor, J. O., *et al.*, 2000, "Niger Delta Petroleum Systems, Nigeria". In: M. R. Mello and B. J. Katz (eds). *Petroleum system of South Atlantic margins*, AAPG Memoir 73, pp.213-231.
- Hooper, R. J., Fitzsimmons, R. J., Grant, N., *et al.*, 2002, "The role of deformation in controlling depositional patterns in the south-central Niger Delta, West Africa". *Journal of Structural Geology*, v.24, pp.847-859.
- Hospers, J., 1965, "Gravity field and structure of the Niger Delta, Nigeria, West Africa". *Geological Society of America Bulletin*, v.76, pp.407-422.
- Johannessen, J. A., Diagne, G. and Espedal, H., 1994, *SAR Ocean Feature Catalogue*. ESA, Noordwijk, Netherlands, esa SP-1174, pp.106.
- Landim, P. M. B., 2000, *Introdução aos métodos de estimação espacial para a confecção de mapas*. UNESP, Departamento de Geologia Aplicada, Rio Claro, pp.1-15.
- Lehner, P. and Ruiters, P. A. C., 1977, "Structural History of Atlantic Margin of Africa". *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.61, n.7, pp.961-981.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*. ed. 3. pp.750.
- MacDonald Dettwiller. Disponível em: <<http://halifax.mda.ca/projects/space.asp>>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2004.
- Miranda, F. P. and Carr, J. R., 1994, "Application of the Semivariogram Textural Classifier (STC) for Vegetation Discrimination using SIR-B Data of the Guiana Shield, Northwestern Brazil". *Remote Sensing Reviews*, v.10, pp.155-168.
- Miranda, F.P., Pedroso, E.C., Beisl, C.H., 2000, *Verificação do desempenho da metodologia de detecção de exsudações de óleo no Complexo de Cantarell, Baía de Campeche, Golfo do México (Meteo Programming)*. Relatório interno, PETROBRAS. CENPES. DIVEX. CEGEQ; 45f. (650-23465) (Projeto 600246), Rio de Janeiro.

- Miranda, F. P., Landau, L., Cristina, M. B., *et al.*, 2001, "Seepage Slick Detection in the Brazilian Continental Margin Using RADARSAT-1 Data". In: Proceedings of OMAE 2001 Conference, pp.1-7, Inter-continental Hotel, Rio de Janeiro, Brazil.
- Miranda, F. P., Marmol, A. M. Q., Pedroso, E. C., *et al.*, 2004, "Analysis of RADARSAT-1 data for offshore monitoring activities in the Cantarell Complex, Gulf of Mexico, using the Unsupervised Semivariogram Textural Classifier (USTC)". *Canadian Journal of Remote Sensing*, v.30, n.3, pp.424-436.
- Morley, C. K. and Guerin, G., 1996, "Comparison of gravity-driven deformation styles and behavior associated with mobile shales and salt". *Tectonics*, v.15, n.6, pp.1154-1170.
- Mouchot, M. C. and Garello, R., 1998, "SAR For Oceanography". In: Lewis, A. J. & Henderson, F. M. (eds). 3 ed., New York, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp.631- 675.
- Nigéria-São tome and Príncipe Joint Development Authority. *Regional Geology and Petroleum Prospectivity*. Disponível em: <[www.nigeriasaotomejda.com](http://www.nigeriasaotomejda.com)>. Acesso em: 23 de Julho de 2004.
- OSCAR (*Ocean Surface Current Analyses – Real Time*) - Disponível em: <[www.oscar.noaa.gov](http://www.oscar.noaa.gov)>. Acesso em: 05 de Julho de 2006.
- Petroleum Geo-Service. *West African Prospectivity*. Disponível em: <[www.pgs.com/technologynow/acquisition/dbaFile8337.html](http://www.pgs.com/technologynow/acquisition/dbaFile8337.html)>. Acesso em: 05 de janeiro de 2004.
- Petters; S. W. & Ekweozor; C. M., 1982, "Origin of mid-cretaceous black shales in the Benue Through, Nigeria". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.40, pp. 311-319.
- RADARSAT International (RSI), 1996, "RADARSAT Illuminated. Your Guide to Products & Services", RADARSAT user guide produced by RSI.

- Raney, K., 1998, "Radar fundamentals: Technical perspective". In: F. M. Henderson & A. J. Lewis (eds). *Principles & Applications of Imaging Radar, Manual of Remote Sensing*, 3 ed., New York, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp.9-130.
- Rees, W. G. and Satchell, M. J. F., 1997, "The Effect of Median Filtering on Synthetic Aperture Radar Images". *Int. J. Remote Sensing*, v.18, n.13, pp.2887- 2893.
- Rostirolla, S. P., 1999, "Análise de incertezas em sistemas petrolíferos", *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 2, pp. 261-270.
- Sabins, F. F., 1997, *Remote Sensing: Principles and Interpretation*. New York, W. H. Freeman and Company, pp.494.
- Saugy, L. and Eyer, J. A., 2003, "Fifty years of exploration in the Niger Delta (West Africa)". In: Halbouty, M. T. (ed). *Giant oil and gas fields of the decade 1990-1999*, AAPG Memoir 78, pp.211-226.
- Shannon, P. M. and Naylor, N., 1989, *Petroleum Basin Studies*. London, Graham and Trotman Limited, pp.153-169.
- Sica, R. J., 1999, *A Short Primer on Gravity Waves*. Department of Physics and Astronomy, University of Western Ontario. Disponível em: <http://pcl.physics.uwo.ca/pclhtml/gravitywaves.html>. Acesso em: Outubro de 2004.
- Skaloud, D. K. and Cassidy, P., 1998, "Exploration of the Bonga and Ngolo Features in Deepwater Nigeria". In: Extended Abstracts Volume, AAPG International Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, Brazil, November 8-11.
- Soler, L. S., 2000, *Detecção de manchas de óleo na superfície do mar por meio de técnicas de classificação textural de imagens de radar de abertura sintética (RADARSAT-1)*. INPE, Dissertação de mestrado, São José dos Campos, pp.167.

- Stewart, T. L., 2004, *Seismic stratigraphic investigation of the Ukpokiti field channel complex, OML 108, offshore Nigeria, northwestern Niger Delta*. (Master Dissertation). University of Oklahoma, The Department of Geology and Geophysics, Louisiana, pp. 111.
- TDI-Brooks International. *West Africa Programs, Nigeria Program*. Disponível em: <[http://www.tdi-bi.com/our\\_programs/west\\_africa/west-africa\\_main.htm](http://www.tdi-bi.com/our_programs/west_africa/west-africa_main.htm)>. Acesso em: 05 de Maio de 2004.
- Tuttle, M. L. W., Charpentier, R. R. and Brownfield, M. E., 1999, *The Niger Delta Petroleum System: Niger Delta Province, Nigeria, Cameroon, and Equatorial Guinea, Africa*. USGS, Denver, Colorado, Open-File Report 99-50-H, pp.65.
- Ulaby, F. T., R. K. Moore, and A.K. Fung, 1981, *Microwave Remote Sensing: Active and Passive*, Vol. I - Microwave Remote Sensing Fundamentals and Radiometry, Addison-Wesley, Advanced Book Program, Reading, Massachusetts, pp.456.
- U. S. Geological Survey. *Map Showing geology, oil and gas fields and geologic provinces of Africa, Ver. 2.0*. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/1997/ofr-97-470/OF97-470A/>>. Acesso em: 03 de Maio de 2004.
- Vannucci, T. A. M., 1999, *Redução de Speckle em Imagens de Radar*. UFPR, Departamento de Engenharia Cartográfica, Curitiba – PR.
- WDN (*World Deltas Network*) - Disponível em: < [www.geol.lsu.edu/WDD](http://www.geol.lsu.edu/WDD)>. Acesso em: 05 de Julho de 2006.
- Wentz, F. J., 1989, *User's Manual SSM/I Geophysical Tapes*. Santa Rosa, CA, RSS Technical Report 060989.
- Whiteman, A., 1982, *Nigeria - its petroleum geology, resources and potential*. ed. London, Graham and Trotman, pp.394.

**ANEXO 1 – DETECÇÃO DE EXSUDAÇÕES DE ÓLEO  
UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR**

## ANEXO 1

### DETECÇÃO DE EXSUDAÇÕES DE ÓLEO UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR

#### A.1 – Fundamentos de radar

Segundo Lillesand & Kiefer (1994), a palavra radar é um acrônimo para a expressão em inglês *radio detection and ranging*. Deste modo, o sistema de radar utiliza a faixa do espectro das ondas de rádio e microondas para detectar a presença de um objeto em uma determinada posição no terreno (*range*) (Lillesand & Kiefer, 1994). A Tabela A1.1 mostra as bandas, comprimentos de onda e freqüências utilizadas pelo sensoriamento remoto por radar.

<b>Bandas*</b>	<b>Comprimentos de onda (<math>\lambda</math>) em cm</b>	<b>Freqüências (<math>\nu</math>) em GHz</b>
<b>K</b> (0,86 cm)	0,8 - 2,4	40 - 12,5
<b>X</b> (3,0 cm, 3,2cm)	2,4 - 3,8	12,5 - 8
<b>C</b> (5,6 cm)	3,8 - 7,5	8 - 4
<b>S</b> (8,0 cm, 12,6 cm)	7,5 - 15	4 - 2
<b>L</b> (23,5 cm)	15 - 30	2 - 1
<b>P</b> (68,0 cm)	30 - 100	1 - 3

\*Os valores de comprimento de onda comumente utilizados em radares imageadores são expressos nos parênteses.

Tabela A1.1 – Bandas, comprimentos de onda e freqüências utilizadas no sensoriamento remoto por radar (modificado de Sabins, 1997).

A conversão de comprimento de onda ( $\lambda$ ) para freqüência ( $\nu$ ) ou vice-versa pode ser executada conforme expresso abaixo (Sabins, 1997):

$$\lambda \text{ (m)} = c / \nu \text{ (Hz)} ,$$

onde:

$c \rightarrow$  é a velocidade da luz no vácuo ( $3 \times 10^8$  m/s).

Diferentemente dos sensores passivos ópticos, que necessitam do sol para a iluminação, o radar é um sensor ativo e possui sua própria fonte de energia. Desta forma,

tal sistema é capaz de adquirir informações durante o dia e à noite. Além disso, por utilizar a faixa das microondas e ondas de rádio do espectro eletromagnético (Fig. A1.1), onde a transmitância atmosférica é alta, o sistema coleta informações em quaisquer condições meteorológicas. Assim, a energia eletromagnética nesta faixa do espectro é capaz de penetrar nuvens, chuva, fumaça, poluição, etc.

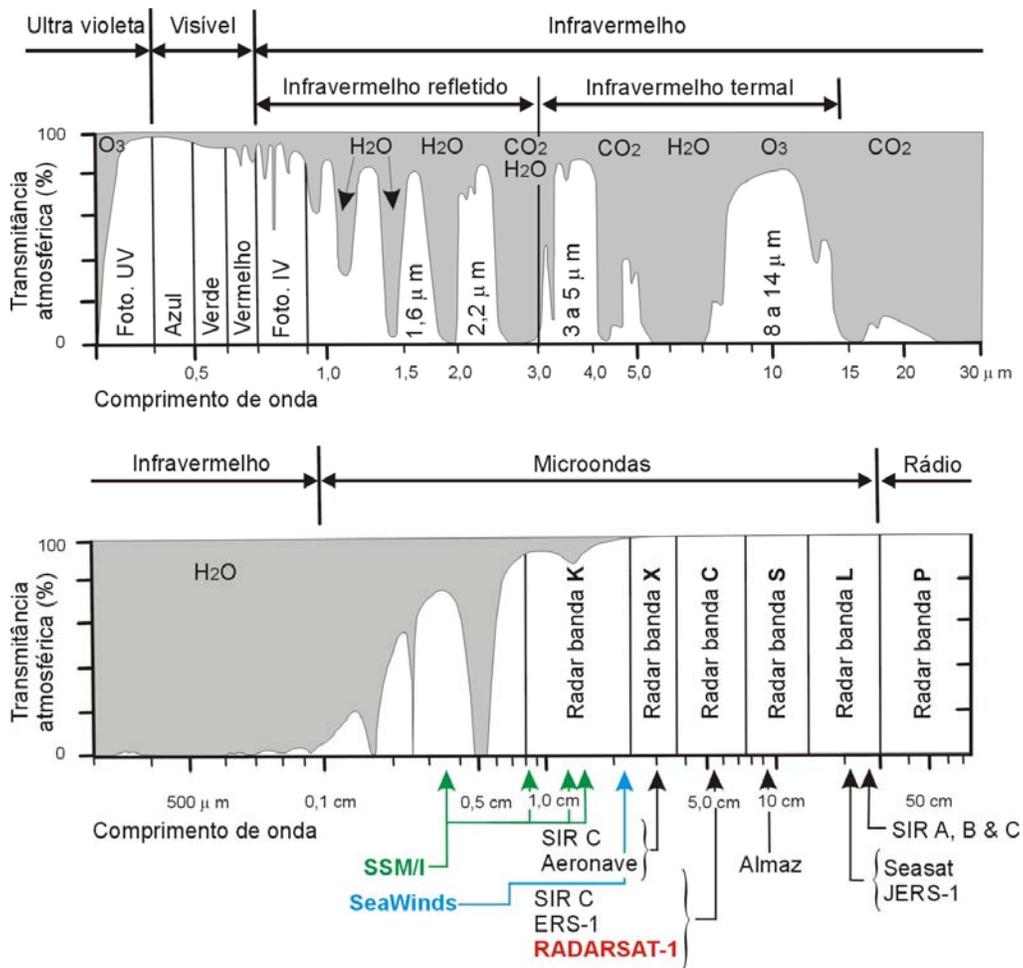


Figura A1.1 - Diagrama expandido do espectro eletromagnético versus a transmitância atmosférica (modificado de Sabins, 1997).

Quando a antena do radar transmite um pulso de energia eletromagnética, o vetor do campo elétrico pode ser orientado tanto no plano vertical quanto no plano horizontal em relação ao eixo da antena (Fig. A1.2) (Sabins, 1997). Assim, os radares podem ser de polarização paralela ou cruzada. Nos sistemas com polarização paralela, as opções são HH (transmite horizontal, recebe horizontal) e VV (transmite vertical, recebe vertical), enquanto que nos de polarização cruzada temos como possibilidade HV (transmite

horizontal, recebe vertical) e VH (transmite vertical, recebe horizontal). Porém, ao atingir um alvo no terreno, uma porção da energia de retorno pode ser despolarizada, passando a vibrar em várias direções. Segundo Sabins (1997), o mecanismo responsável por este fenômeno não é bem conhecido, mas é amplamente aceito que seja causado por múltiplas reflexões na superfície do alvo.

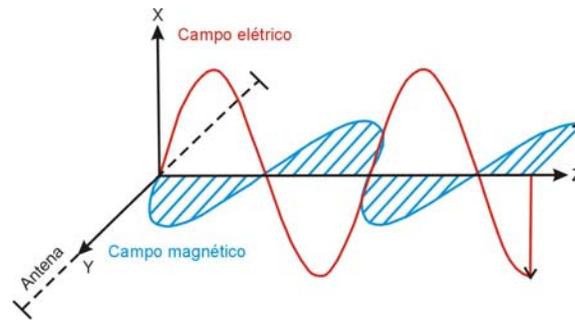


Figura A1.2 – O conceito de polarização do pulso do radar (modificado de Sabins, 1997).

Sistemas de radar aerotransportados e orbitais possuem uma antena fixa com visada lateral. Tais sistemas podem ser de abertura real (*Real Aperture Radar - RAR*) ou de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar – SAR*). O primeiro restringe-se à utilização em aeronaves (aerotransportados), enquanto que o segundo pode ser utilizado tanto em nível orbital quanto em aviões. A Figura A1.3 A mostra o princípio básico de operação do RAR (Lillesand & Kiefer, 1994). Nesta figura, uma antena com visada lateral ilumina faixas no terreno e transmite pulsos de energia eletromagnética na faixa de microondas. A propagação de um pulso é ilustrada pelas sucessivas posições da frente de onda ao longo do tempo. Estes pulsos de alta energia são emitidos em períodos de tempo muito curtos, da ordem de  $10^{-6}$  segundos. Na Figura A1.3 A, após o tempo 6, a frente de onda alcança a casa, sendo por ela refletida (linha vermelha iniciando no tempo 7). No tempo 12, o sinal de retorno alcança a antena, conforme registro no gráfico de intensidade de retorno versus tempo (Fig. A1.3 B). Já no tempo 9, a frente de onda transmitida é refletida pela árvore e seu eco alcança a antena no tempo 17. Pelo fato da casa apresentar diedros e triedros, sua geometria propiciará a formação de um número maior de reflexões de canto, aumentando, assim, a intensidade de retorno para o sensor. Caso a árvore se desenvolva em uma área inundada, a intensidade do sinal de retorno aumentará, devido ao fato da água não permitir que a energia incidente do radar atinja o solo, propiciando, com isto, um maior número de reflexões. A distância entre o

transmissor e o objeto refletor em *slant range* pode ser calculada como segue (Lillesand & Kiefer, 1994):

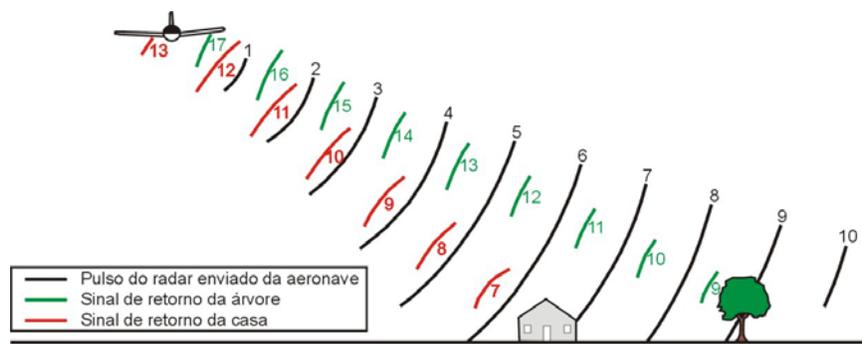
$$R = (c.t) / 2 ,$$

onde:

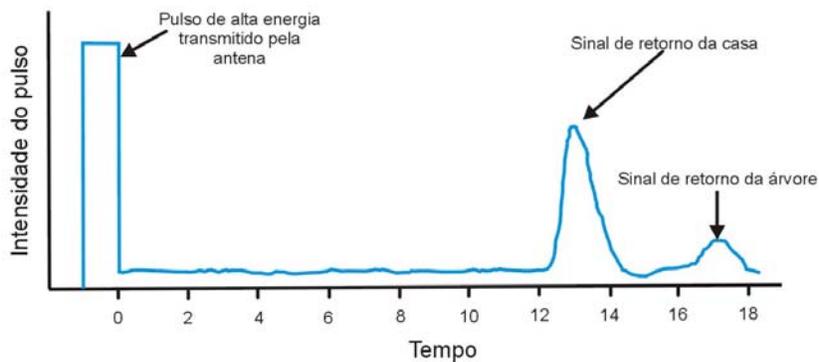
R = Distância em *slant range* (distância entre o transmissor e o objeto na direção do pulso do radar);

c = velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m/s);

t = tempo entre o pulso transmitido e recepção do eco.



A - Propagação de um pulso do radar



B - Retorno resultante para antena

Figuras A1.3 A e A1.3 B - Princípio de operação de um RAR (modificado de Lillesand & Kiefer, 1994).

Pelo fato do radar adquirir dados com visada lateral, a imagem resultante pode apresentar algumas distorções geométricas, tais como deslocamento de relevo, sombras e distorções de escala em *slant range* (*slant-range scale distortion*). Os deslocamentos de relevo podem ser de dois tipos; o primeiro é referente à inversão de relevo (*layover*) (Fig.

A1.4), que ocorre quando o topo de uma feição geomorfológica (e.g. montanha) é atingido primeiro que sua base pelo pulso transmitido pela antena. Como resultado, o sinal de retorno do topo da feição irá alcançar a antena primeiro que o sinal de retorno proveniente da base, resultando em uma imagem na qual o cume da montanha está deslocado na direção do sensor (Lillesand & Kiefer, 1994). O segundo tipo é inerente ao encurtamento do relevo (*foreshortening effect*) (Fig. A1.4) e ocorre devido à compressão em tempo de uma superfície inclinada (e.g. escarpa). Os fenômenos de inversão e compressão de relevo estão associados às sombras presentes nas imagens de radar (Fig. A1.4), que se formam devido ao bloqueio do sinal pelas escarpas íngremes das montanhas. Em áreas de relevo acidentado, as sombras estão contíguas a porções claras na imagem formadas pelo alto retorno do sinal que incide sobre as escarpas íngremes voltadas para a antena (Fig. A1.4). Todas as distorções geométricas mencionadas acima serão mais acentuadas quanto maior for o ângulo de depressão. Pelo fato do presente estudo compreender apenas regiões oceânicas, tais distorções não estão presentes nas imagens de radar aqui utilizadas.

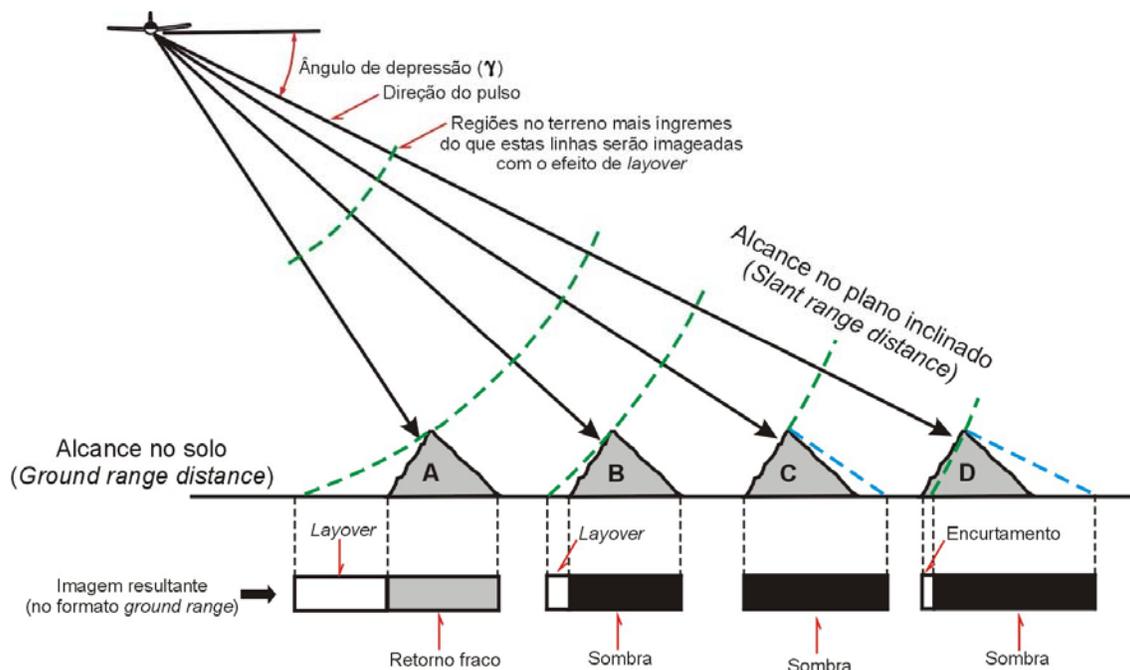


Figura A1.4 - Influência do relevo nas imagens SAR (modificado de Lewis in Lillesand & Kiefer, 1994).

As distorções de escala ocorrem pelo fato do radar adquirir imagens em *slant range*, acarretando, com isto, alterações geométricas relacionadas a variações no ângulo

de depressão. Deste modo, feições do terreno em *near range* sofrem uma compressão relativa a feições em *far range* (Fig. A1.5). Para corrigir esta distorção, as imagens em *slant range* devem ser convertidas para *ground range*. Tal conversão é efetuada utilizando a seguinte equação (Sabins, 1997):

$$G = H \left( \frac{1}{\sin 2\gamma} - 1 \right)^{1/2} ,$$

onde:

G = Distância em *ground range*;  
H = Altura da antena;  
 $\gamma$  = Ângulo de depressão.

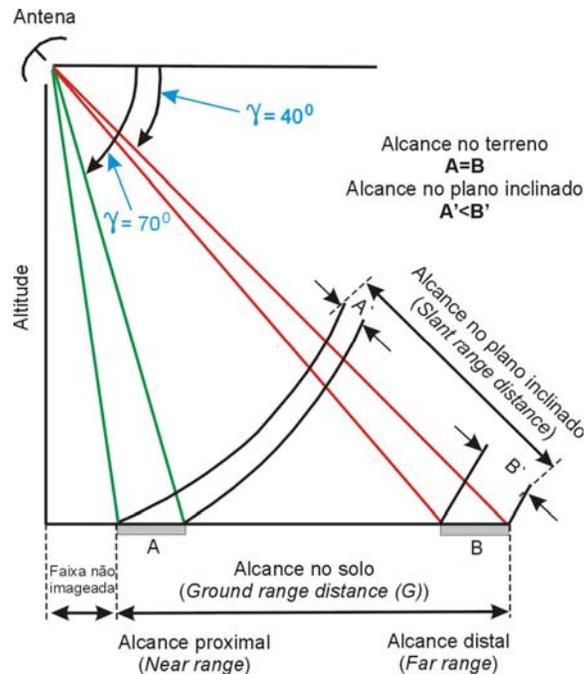
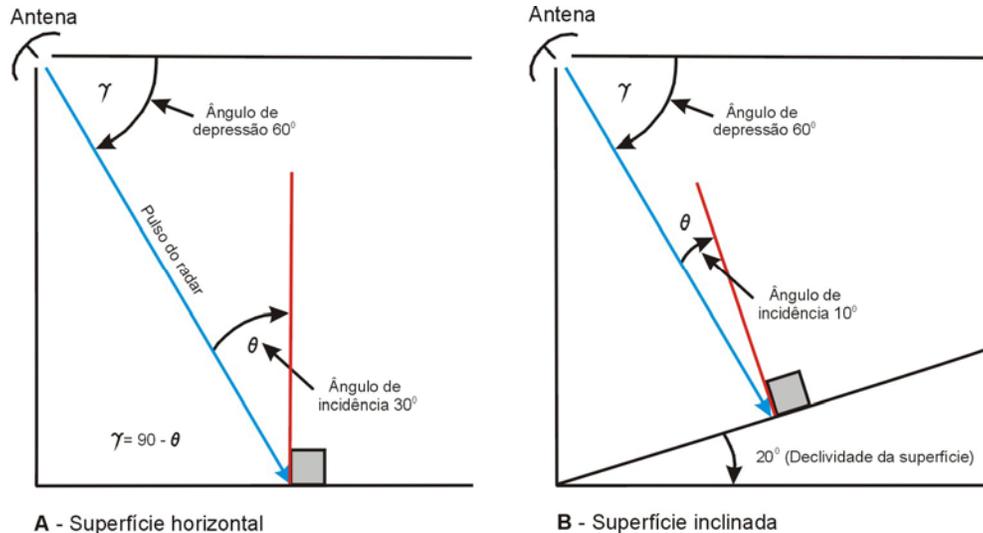


Figura A1.5 - Relação existente entre uma imagem projetada em *slant range* versus *ground range* (modificado de Sabins, 1997).

Em regiões planas, o sinal de retorno do radar é controlado pela rugosidade da superfície, pelo comprimento de onda utilizado pelo sensor ( $\lambda$ ) e pelo ângulo de depressão ( $\gamma$ ). Segundo Lillesand & Kiefer (1994), para ângulos de incidência locais entre  $0-30^\circ$ , o sinal de retorno do radar é controlado pela declividade da superfície. Para ângulos de incidência entre  $30-70^\circ$ , o que domina o sinal de retorno do radar é a rugosidade da superfície, a qual modula o espalhamento do sinal. Para ângulos maiores que  $70^\circ$ , a sombra predomina na imagem de radar. É bom ressaltar que, em regiões

acidentadas, o ângulo de depressão ( $\gamma$ ) não corresponde ao complemento do ângulo de incidência ( $\theta$ ), enquanto que, em áreas planas, os dois ângulos são complementares (Figs. A1.6 A e A1.6 B).



Figuras A1.6 A e A1.6 B - Diagrama mostrando a variação do ângulo de incidência em função da declividade da superfície (modificado de Sabins, 1997).

Além disso, as superfícies do terreno podem ser agrupadas em três categorias de rugosidade (Fig. A1.7) (Sabins, 1997):

1. Superfícies lisas, que refletem toda a energia incidente do radar com um ângulo de reflexão igual e oposto ao ângulo de incidência. Uma reflexão deste tipo é denominada de reflexão especular;
2. Superfícies de rugosidade intermediária, que refletem uma porção da energia incidente e espalham difusamente a outra parte;
3. Superfícies rugosas, que espalham difusamente toda a energia incidente.

A altura do micro-relevo vertical  $h$  (em centímetros) para que uma superfície se comporte como lisa (reflexão especular) ou rugosa (espalhamento difuso) pode ser calculada utilizando o critério de *Rayleigh*, expresso na equação abaixo (Sabins, 1997):

$$h < (\lambda) / (8 \text{ sen } \gamma) \text{ .}$$

As superfícies de rugosidade intermediária foram incluídas nos critérios estabelecidos por Peake & Oliver *in* Sabins (1997), conforme descrito a seguir:

- O limiar entre superfícies lisas e intermediárias é definido por  $h < (\lambda) / (25 \text{ sen } \gamma)$  ;
- O limiar entre superfícies intermediárias e rugosas é dado por  $h > (\lambda) / (4,4 \text{ sen } \gamma)$  .

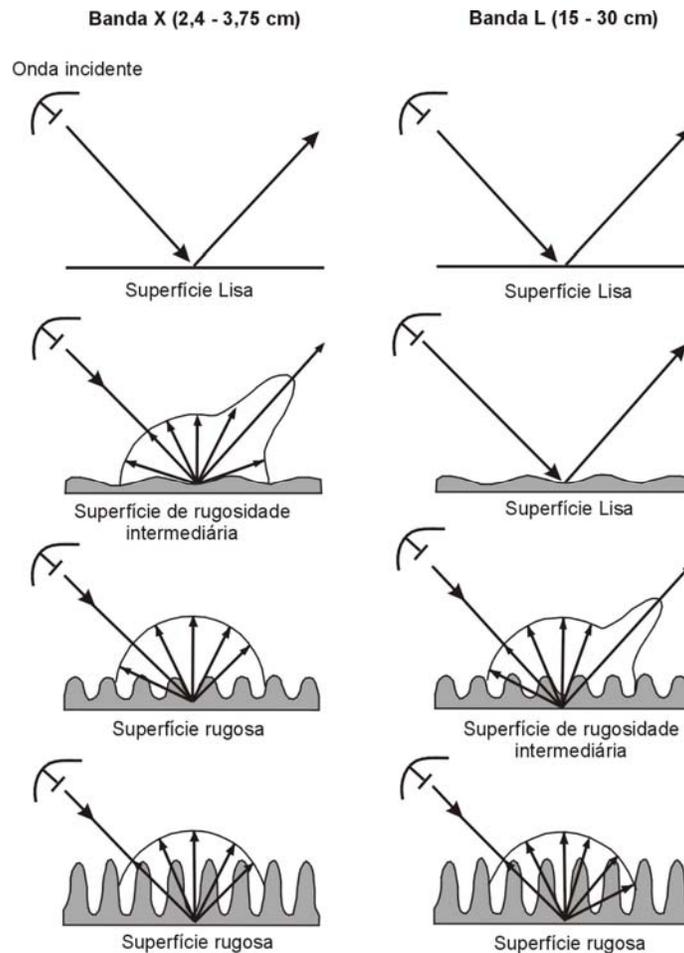
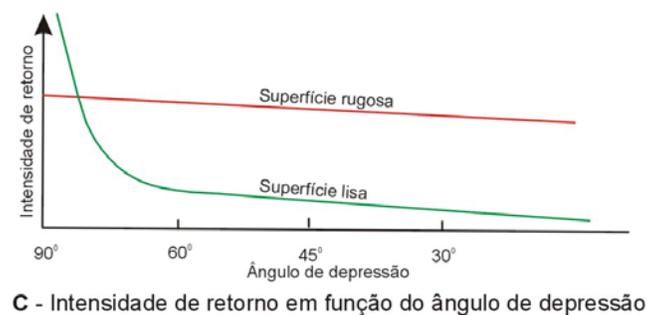
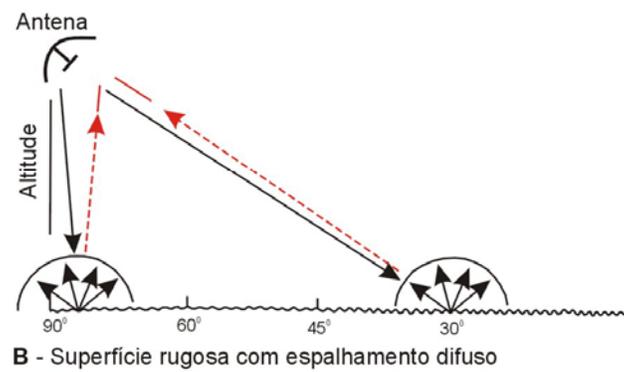
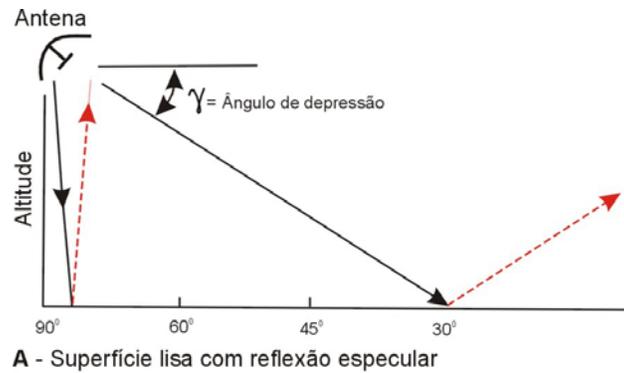


Figura A1.7 – Mecanismos de interação com o terreno do pulso do radar para as bandas X e L em diferentes superfícies (modificado do diagrama elaborado pelo *Environmental Research Institute of Michigan in Lillesand & Kiefer, 1994*).

As Figuras A1.8 A, B e C ilustram como variações no ângulo de depressão ( $\gamma$ ) e na rugosidade da superfície afetam a intensidade do sinal de retorno para a antena do radar. Pode-se observar que, para ângulos de depressão baixos a intermediários, a reflexão especular de uma superfície lisa irá retornar pouca ou nenhuma energia para a antena. Porém, para um ângulo de depressão alto ( $80^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ ), o retorno para uma superfície lisa é maior (Fig. A1.8 A). Superfícies rugosas produzem espalhamento difuso relativamente uniforme para um amplo intervalo de ângulos de depressão (Fig. A1.8 B). O gráfico da Figura A1.8 C compara a intensidade do sinal de retorno, considerando superfícies lisas e rugosas, para diferentes ângulos de depressão. Assim, em superfícies rugosas, o decréscimo na intensidade do sinal de retorno com o aumento no ângulo de depressão é pouco pronunciado, enquanto que, para superfícies lisas, a intensidade do sinal de retorno é maior para altos ângulos de depressão, decaindo substancialmente à medida que diminui o ângulo de depressão. Tais efeitos da variação na intensidade do sinal de retorno podem ser minimizados através de correções no padrão de antena (*antenna pattern noise*). Segundo Soler (2000), tal distorção é bastante significativa para sistemas SAR aerotransportados e causa menor impacto no caso de imagens orbitais.

Existem ainda outros fatores que aumentam em muito a intensidade no sinal de retorno: a presença de refletores de canto (*corner reflectors*) (Fig. A1.9) e de água incorporada aos materiais da superfície terrestre. O primeiro deles propicia múltiplas reflexões do sinal transmitido, resultando em forte retorno que satura o *pixel* na imagem de radar (*e.g.* casas, plataformas de petróleo, embarcações, *etc*) (Fig. A1.9). Vale ressaltar que ângulos de depressão muito altos não favorecem as reflexões de canto. O segundo fator é inerente à presença de água incorporada aos alvos superficiais, fazendo aumentar o valor da constante dielétrica (um parâmetro indicativo da reflectividade e condutividade dos materiais). Segundo Lillesand & Kiefer (1994), a constante dielétrica da maioria dos materiais naturais, quando secos, é da ordem de 3 a 8, enquanto que a água possui uma constante dielétrica de aproximadamente 80. Desta forma, a presença de água tanto no solo quanto na vegetação pode significar um aumento na reflectividade do radar. Assim, mudanças na intensidade do sinal de retorno de um alvo para o outro podem estar mais relacionadas a mudanças no seu conteúdo de água do que à constituição física do material (Lillesand & Kiefer, 1994). Considerando que as plantas possuem uma área superficial ampla e, muitas vezes, um alto conteúdo de água, elas se caracterizam por refletir bem a energia incidente do radar (Lillesand & Kiefer, 1994). A

presença de água inibe a penetração no solo da energia eletromagnética, até mesmo nos comprimentos de onda maiores (banda L). Além disso, como a penetração é inversamente proporcional à condutividade e salinidade do alvo, o fenômeno não ocorre em corpos de água (Soler, 2000). Conseqüentemente, a interação entre a água do mar e o pulso do radar é restrita à superfície do oceano.



Figuras A1.8 A, A1.8 B e A1.8 C – Intensidade do sinal de retorno do radar para superfícies lisas e rugosas, em função de variações no ângulo de depressão (modificado de Sabins, 1997).

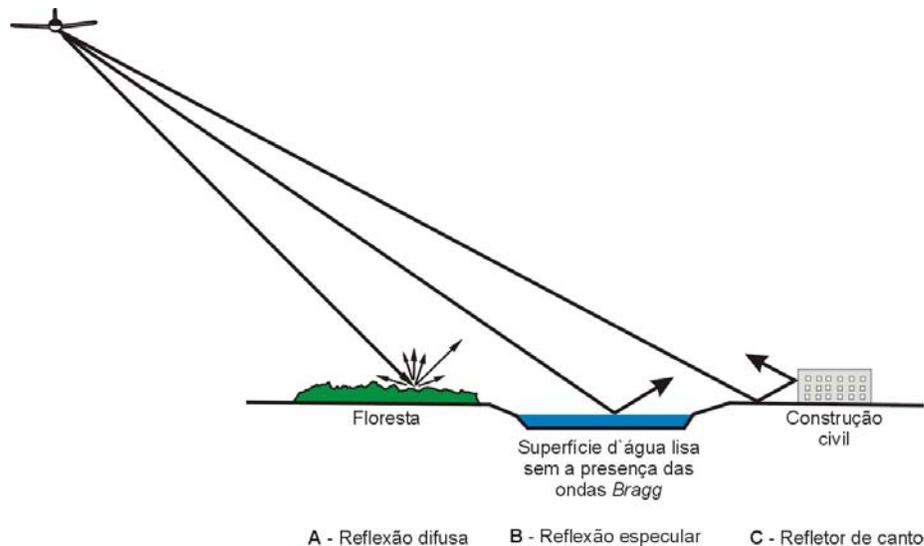


Figura A1.9 - Diferentes tipos de interações com o terreno do pulso incidente do radar considerando várias superfícies (modificado de Lillesand & Kiefer, 1994).

Um aspecto importante a ser comentado refere-se à interferência aleatória do sinal de radar, tanto destrutiva quanto construtiva, produzida no interior da célula de resolução do sensor, que resulta em uma aparência granulada na imagem, dificultando sua interpretação. Segundo Rees & Satchell (1997), o SAR é sujeito a tais ruídos multiplicativos, denominados de *speckle*, que podem ser descritos pela seguinte equação:

$$Q(j) = R(j) \cdot S(j) \quad ,$$

onde:

$Q(j)$  = Amplitude ou intensidade do *pixel*  $j$  na imagem;  
 $R(j)$  = Amplitude ou intensidade do *pixel* na ausência do *speckle*;  
 $S(j)$  = Ruído multiplicativo.

De acordo com Rennó *in* Soler (2000), o ruído *speckle* é formado por interferências destrutivas (*pixel* escuro) ou construtivas (*pixel* claro) entre os espalhamentos propiciados por um grande número de elementos difusores presentes em uma célula de resolução. De modo a aumentar a razão sinal/ruído, melhorando a interpretabilidade da imagem, dois métodos podem ser empregados para a redução do *speckle*. O primeiro é referente ao processamento multi-visada (*multi-look*), onde a informação pertinente a uma imagem em particular é dividida em inúmeros segmentos, sendo cada um processado separadamente para gerar uma sub-imagem (Rees &

Satchell, 1997). Estas sub-imagens são em seguida combinadas incoerentemente para gerar uma única imagem multi-visada final. Na forma mais simples, a imagem final corrigida é composta pela média das imagens de cada visada geradas separadamente (Vannucci,1999). O segundo método consiste em um procedimento de filtragem, no qual se considera na imagem uma janela de N por N *pixels*, sendo N um número inteiro (Rees & Satchell, 1997). Desta forma, o *pixel* central da janela é substituído por um valor derivado de todos os outros *pixels* dentro da janela (Rees & Satchell, 1997). No presente estudo, utilizou-se o filtro *Frost* para realizar a redução do *speckle*.

#### A1.1.1 – O radar de abertura real e o radar de abertura sintética

Em um sistema de radar de abertura real, a resolução em azimute ( $r_{aRAR}$ ) é controlada pelo comprimento da antena (L), pelo comprimento de onda do pulso transmitido ( $\lambda$ ) e pela distância entre a antena e o objeto refletor (R). Assim, quanto maior for o comprimento da antena, menor o comprimento de onda e menor a distância entre o transmissor e o receptor, maior será a resolução em azimute (Fig. A1.10). Tal relação pode ser observada na equação abaixo (Ulaby *et al.*, 1981):

$$r_{aRAR} = (\lambda R) / L \quad .$$

Esta relação indica que a utilização deste sistema em nível orbital (com valor de R muito grande) se torna impraticável, uma vez que seria necessário o emprego de uma antena muito longa para se resolver os alvos na direção de azimute. Assim sendo, um alvo com dimensões de poucas dezenas de metros, situado a 400.000 metros (400 km) de distância de uma antena com 8 metros de extensão, que transmite pulsos com comprimento de onda da ordem de 0,04 metros (4 cm), não será resolvido por este sistema, devido ao fato da resolução em azimute ser de 2000 metros (2 km) (Fig. A1.11). Com efeito, uma resolução de 2 km em azimute inviabiliza qualquer tipo de estudo visando, por exemplo, a exploração petrolífera.

Segundo Lillesand & Kiefer (1994), os problemas de resolução em azimute no sistema de abertura real foram superados pelo sistema de abertura sintética. Este sistema emprega uma antena fisicamente mais curta, porém, através de modificações das informações registradas e de técnicas de processamento, é possível sintetizar o efeito de

uma antena muito longa (Lillesand & Kiefer, 1994). O resultado deste modo de operação é um feixe de largura muito estreita até mesmo no *far range* (Fig. A1.13). Como conseqüência, não é necessário o emprego de uma antena muito longa e a utilização de comprimentos de onda muito curtos para se ter uma alta resolução em azimuth. Em um sistema deste tipo, uma antena de 2 metros pode ser aumentada sinteticamente até 600 metros de comprimento (Lillesand & Kiefer, 1994).

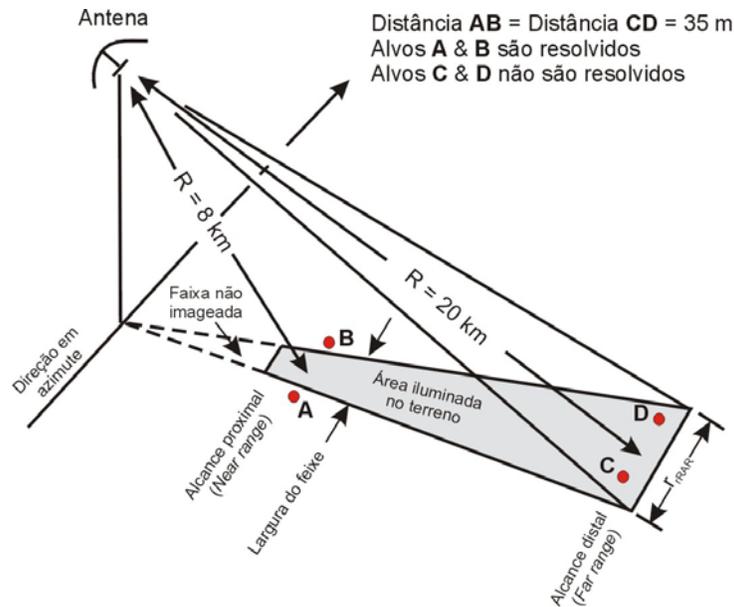


Figura A1.10 - Resolução em azimuth e largura do feixe para um RAR (modificado de Sabins, 1997).

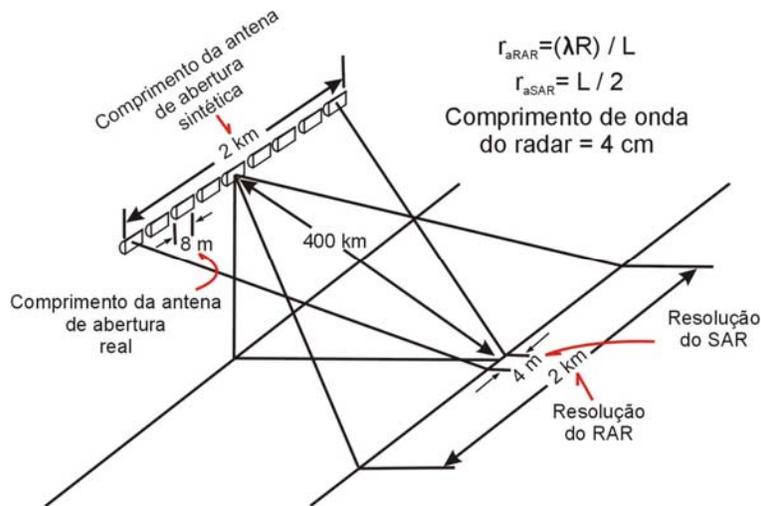


Figura A1.11 - Ilustração das vantagens do radar de abertura sintética para aplicações no espaço (modificado de Ulaby *et al.*, 1981).

A Figura A1.12 apresenta uma antena real em sucessivas posições ao longo da linha de vôo. Estas sucessivas posições são tratadas matematicamente como se fossem uma única antena sintética muito longa (Lillesand & Kiefer, 1994). Com esta abordagem, pontos do terreno em *near range* são visto por um número proporcionalmente menor de elementos de antena do que aqueles em *far range* (Fig. A1.12). Isto faz com que o comprimento efetivo da antena aumente em *range direction*. Este processo irá resultar em uma resolução constante na direção de azimute (*azimuth direction*) (Fig. A1.13) (Lillesand & Kiefer, 1994).

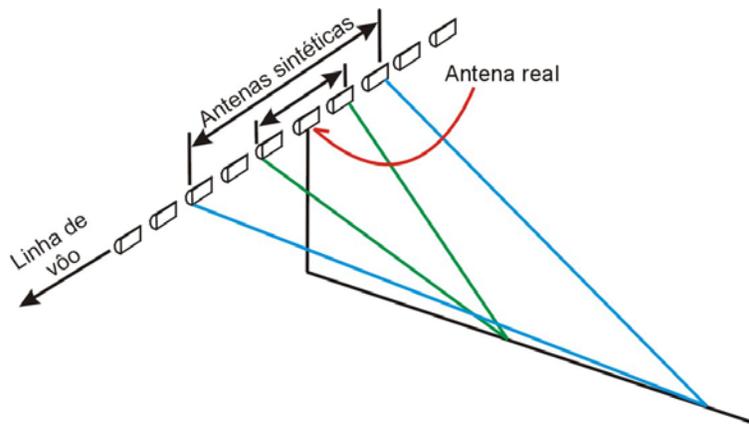


Figura A1.12 - Diagrama ilustrando as sucessivas posições de uma antena real ao longo da linha de vôo. Estas sucessivas posições da antena real são tratadas matematicamente como se fossem uma única antena sintética muito longa (modificado de Lillesand & Kiefer, 1994).

Com este procedimento, o sinal de retorno proveniente do centro do feixe da antena real é discriminado através da detecção de mudanças da frequência *Doppler* (Lillesand & Kiefer, 1994). De acordo com tais autores, o efeito *Doppler* é uma mudança na frequência de uma onda em função da velocidade relativa de um transmissor/receptor em relação a um refletor. Assim, dentro de um feixe largo de uma antena real, o retorno das feições no terreno para onde se desloca a plataforma terá as frequências dos seus ecos aumentadas (*Doppler* positivo) (Fig. A1.13). Já os retornos das feições atrás da trajetória da plataforma terão as frequências dos seus ecos diminuídas (*Doppler* negativo) (Fig. A1.13). Porém, os retornos das feições próximas à porção central do feixe vão ter um deslocamento pequeno ou desprezível das suas frequências (*Doppler* zero) (Fig. A1.13). Desta forma, através do processamento do sinal de retorno modulado pelo efeito *Doppler*, um feixe de largura muito estreita pode ser gerado.

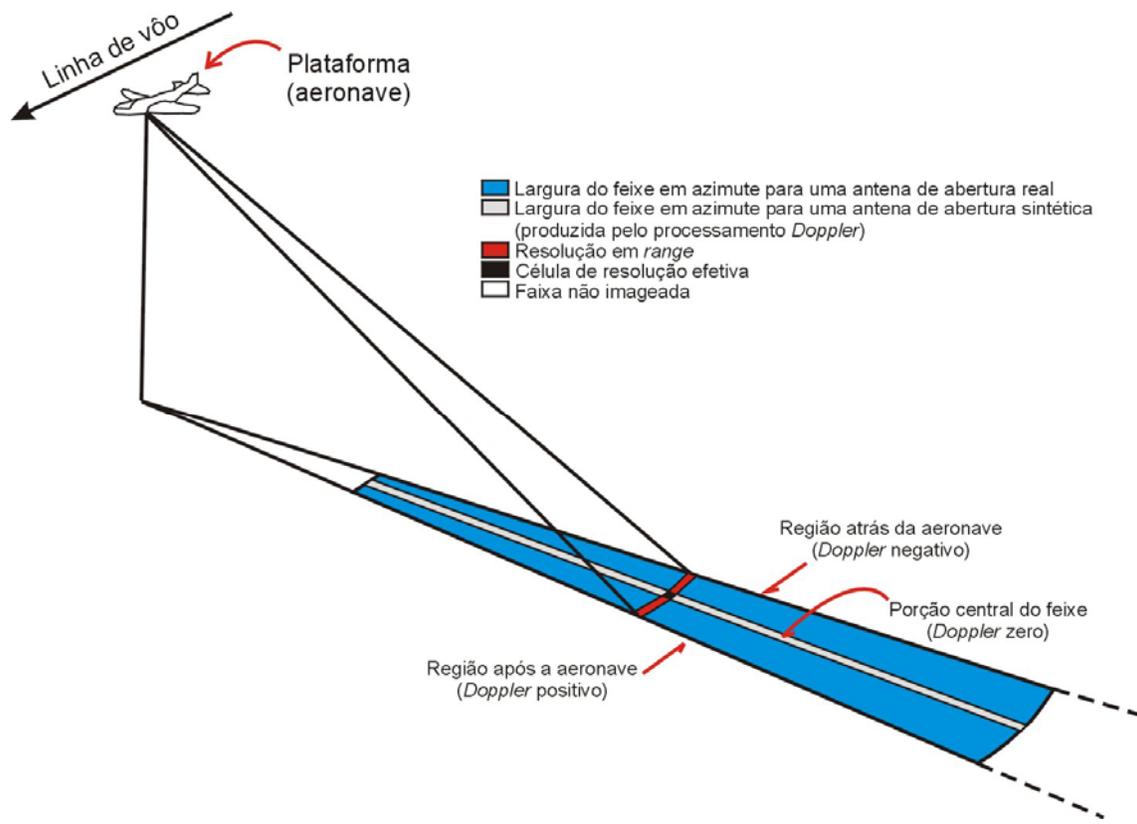


Figura A1.13 – Fatores determinantes da resolução em um SAR (modificado de Lillesand & Kiefer, 1994).

Em um sistema de abertura sintética, quanto menor o tamanho da antena ( $L$ ) maior a resolução em azimute ( $r_{aSAR}$ ). No entanto, o uso de antenas muito curtas aumenta a instabilidade da plataforma e a complexidade durante o processamento (Lillesand & Kiefer, 1994). A resolução em azimute para um sistema SAR segue a relação abaixo (Ulaby *et al.*, 1981):

$$r_{aSAR} = L/2 \quad .$$

Assim, de acordo com esta relação, um sistema de radar de abertura sintética com uma antena de 8 metros possuirá uma resolução ao longo da direção de azimute da ordem de 4 metros (Fig. A1.11).

Por outro lado, a resolução em *range* ( $r_r$ ) é dependente do ângulo de depressão ( $\gamma$ ) e do tempo de duração do pulso ( $\tau$ ), medido em microssegundos ( $\mu s$  ou  $10^{-6}s$ ) (Sabins,

1997). Tal dependência é válida tanto para o sistema de abertura real quanto para o de abertura sintética (Sabins, 1997). Assim, em uma mesma imagem, alvos em *near range* não serão tão bem resolvidos quanto os alvos em *far range*. A equação abaixo é utilizada para calcular a resolução em *range*:

$$r_r = (\tau c) / (2 \cos \gamma) ,$$

onde:

$c$  = velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m/s).

Com isto, alvos no terreno que possuam espaçamentos menores que  $r_r = 23,4$  metros não serão resolvidos para  $\gamma = 50^\circ$  e  $\tau = 0,1 \times 10^{-6}$  segundos (Fig. A1.14). A combinação dos valores de resolução em azimuth e *range* dá origem a uma célula (ou elemento) de resolução efetiva (Lillesand & Kiefer, 1994) (Fig. A1.13).

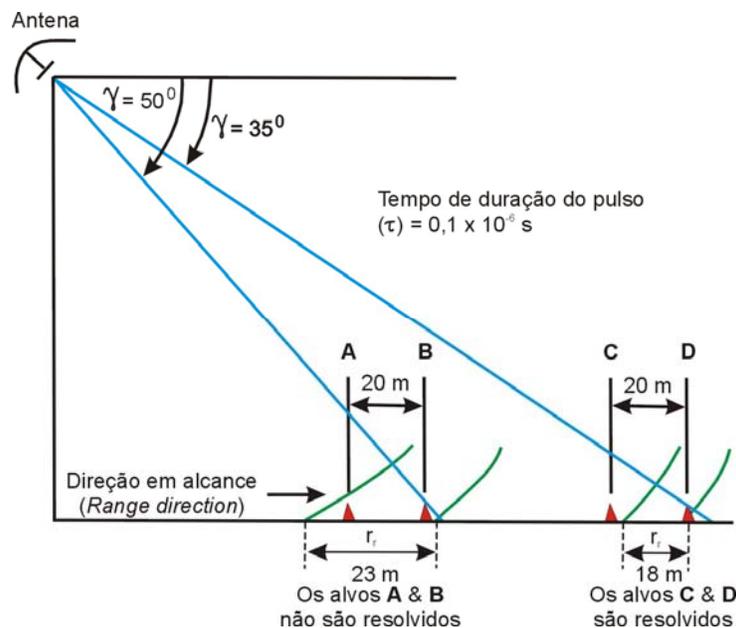


Figura A1.14 - Resolução em *range* para diferentes ângulos de depressão (modificado de Sabins, 1997).

### A1.1.2 – O sistema RADARSAT-1

O satélite RADARSAT-1 (Fig. A1.15) foi desenvolvido pela Agência Espacial Canadense (CSA), em cooperação com os Estados Unidos (governo e setor privado). O

Canadá foi responsável pelo *design*, controle e operação de todo o sistema, enquanto que a NASA efetuou o lançamento (Lillesand & Kiefer, 1994). O satélite foi colocado em órbita em 04 de novembro de 1995, com um tempo estimado de permanência no espaço de 5 anos (Raney, 1998). Apesar de sua vida útil já ter sido ultrapassada, o satélite ainda continua em operação.

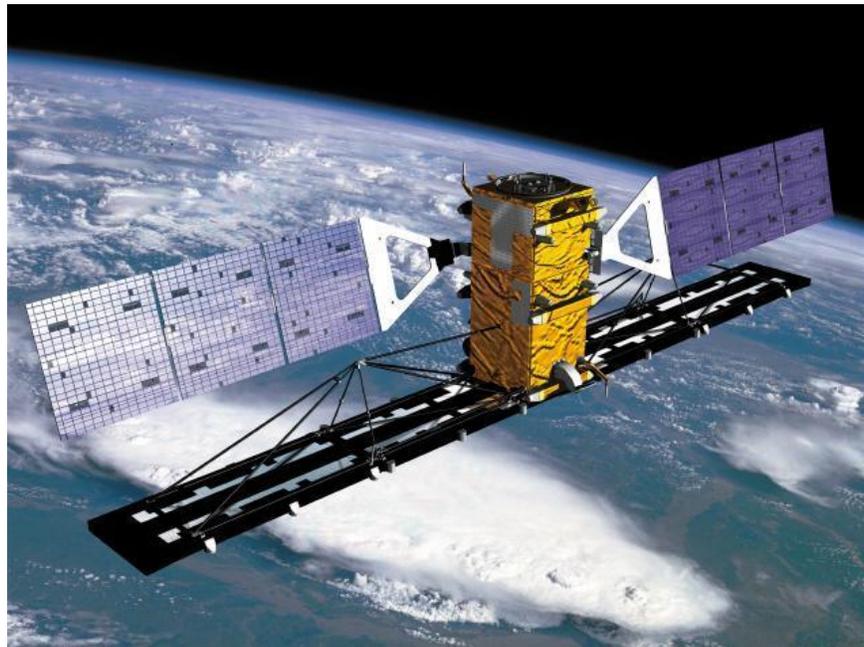


Figura A1.15 – Visão artística do satélite RADARSAT-1 (fonte: <http://halifax.mda.ca/projects/space.asp>).

Segundo (Lillesand & Kiefer, 1994), o RADARSAT-1 possui uma órbita circular, síncrona com o sol, e está posicionado a uma altitude de 798 km, com uma inclinação de  $98,6^{\circ}$ . A grande vantagem de uma órbita síncrona com o sol é maximizar a utilização de energia solar pelo sistema (Raney, 1998). Existe um curto período tempo, durante o inverno austral, no qual o satélite se encontra em eclipse (Raney, 1998). O período da órbita é de 107 minutos e o ciclo de repetição é de 24 dias (Lillesand & Kiefer, 1994). Porém, o satélite pode ser controlado de modo a permitir um ciclo de revisita mais freqüente, uma vez que o sistema possui vários modos de imageamento (Tabela A1.2), que abrangem um amplo intervalo de ângulos de incidência, e tem a capacidade de adquirir dados tanto em órbita descendente (com visada para oeste) quanto em órbita ascendente (com visada para leste) (Figs. A1.16, A1.17 e A1.18; *RADARSAT International*, 1996).

Modos de imageamento	Área nominal (km <sup>2</sup> )	Ângulo de incidência (graus)	Resolução nominal (metros)
<i>Fine F1 near</i>	50 X 50	36,4-39,6	8
<i>F1</i>		36,8-39,9	
<i>F1 far</i>		37,2-40,3	
<i>F2 near</i>		38,8-41,8	
<i>F2</i>		39,2-42,1	
<i>F2 far</i>		39,6-42,5	
<i>F3 near</i>		41,1-43,7	
<i>F3</i>		41,5-44,0	
<i>F3 far</i>		41,8-44,3	
<i>F4 near</i>		43,1-45,5	
<i>F4</i>		43,5-45,8	
<i>F4 far</i>		43,8-46,1	
<i>F5 near</i>		45,0-47,2	
<i>F5</i>		45,3-47,5	
<i>F5 far</i>		45,6-47,8	
<i>Standard S1</i>	100 X 100	20-27	25
<i>S2</i>		24-31	
<i>S3</i>		30-37	
<i>S4</i>		34-40	
<i>S5</i>		36-42	
<i>S6</i>		41-46	
<i>S7</i>		45-49	
<i>Wide W1</i>	165 X 165	20-31	30
<i>W2</i>	150 X 150	31-39	
<i>W3</i>	150 X 150	39-45	
<i>ScanSAR Narrow SCN1</i>	300 X 300	20-40	50
<i>SCN2</i>		31-46	
<i>Scan SAR Wide SW1</i>	500 X 500	20-49	100
<i>Extended High H1</i>	75 X 75	49-52	25
<i>H2</i>		50-53	
<i>H3</i>		52-55	
<i>H4</i>		54-57	
<i>H5</i>		56-58	
<i>H6</i>		57-59	
<i>Extended Low L1</i>	170 X 170	10-23	35

Tabela A1.2 - Características dos diferentes modos de imageamento do satélite RADARSAT-1 (fonte: *Radarsat International*, 1996).

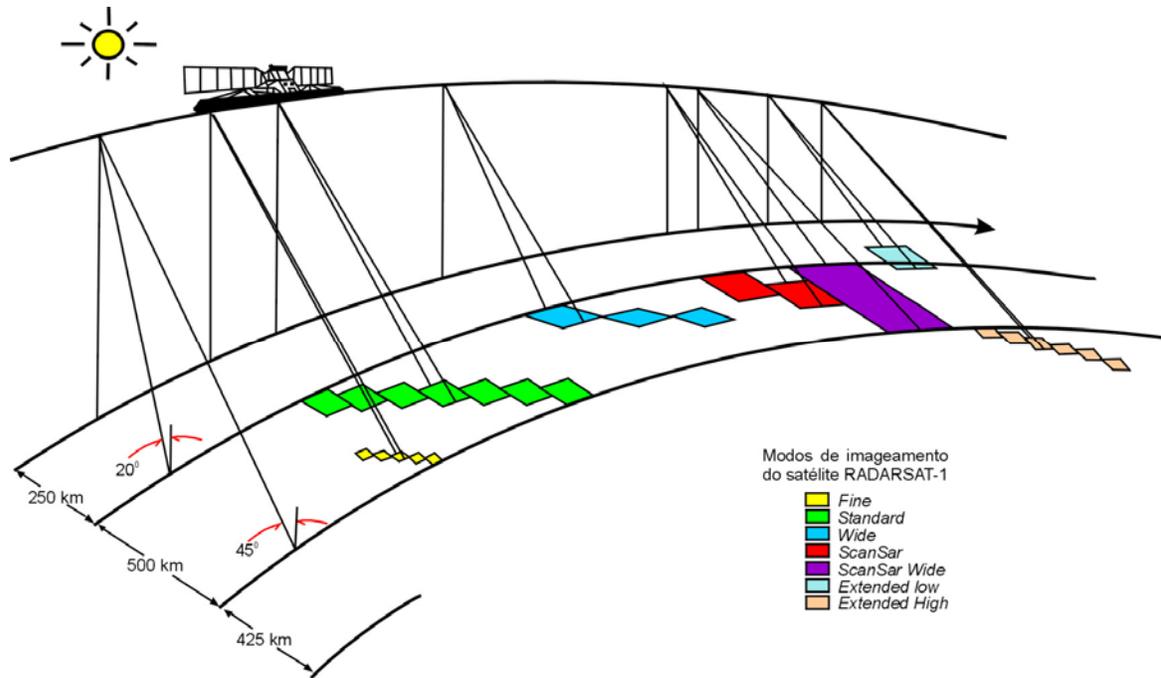


Figura A1.16 - Modos de imageamento disponíveis no satélite RADARSAT-1 (modificado de *Radarsat International*, 1996).

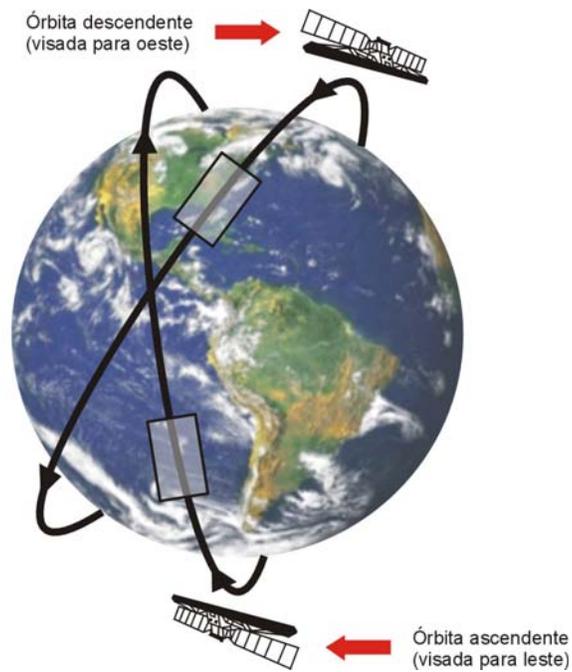


Figura A1.17 - Órbita descendente (com visada para oeste) e órbita ascendente (com visada para leste) do satélite RADARSAT-1 (modificado de *Radarsat International*, 1996).

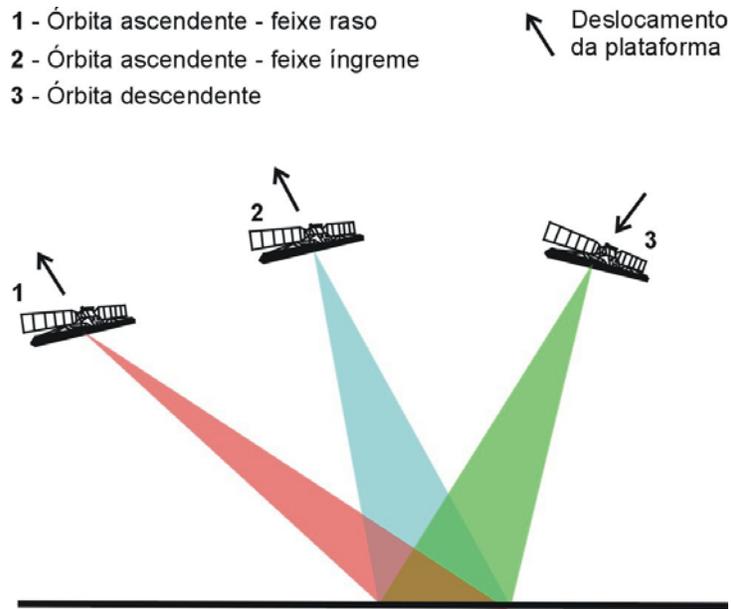


Figura A1.18 – Diagrama ilustrando a flexibilidade de imageamento do satélite RADARSAT-1 (modificado de *Radarsat International*, 1996).

A Tabela A1.3 mostra a capacidade máxima e mínima de revisita, em um ciclo de 24 dias, dos diferentes modos de imageamento do RADARSAT-1. A capacidade de revisita é maior nas regiões de baixa latitude e nos locais onde as órbitas ascendentes e descendentes se cruzam (Fig. A1.19). Em órbita descendente, o satélite passa pelo Equador às 06:00 da manhã (horário local). Quando a órbita é ascendente, a passagem pelo Equador ocorre às 06:00 da tarde (horário local) (Soler, 2000).

As imagens captadas pelo RADARSAT-1 são registradas em gravadores de fita *onboard* até que possam ser retransmitidas para um dos centros de processamento espalhados ao longo do globo (Lillesand & Kiefer, 1994). Segundo Raney (1998), as fitas de gravação a bordo do RADARSAT-1 são capazes de gravar até 10 minutos de dados SAR com alta qualidade. Além disso, sempre que o satélite estiver na área de cobertura das *Ground Receiving Stations*, os dados são enviados diretamente para a terra, sem necessidade de uso dos gravadores a bordo.

Latitude	Modos de imageamento							
	<i>Fine</i>		<i>Standard</i>		<i>Wide</i>		<i>ScanSar</i>	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
0°	4	10	2	5	2	5	2	5
10°	4	9	2	5	2	5	2	5
20°	4	8	2	4	2	4	2	4
30°	3	8	2	4	2	4	2	4
40°	3	6	2	3	2	3	2	3
50°	3	5	2	3	2	3	2	3
60°	2	3	1	3	1	3	1	3
70°		2		1		1		1

Tabela A1.3 - Capacidade de revisita do satélite RADARSAT-1 em um ciclo de 24 dias para os diferentes modos de imageamento (fonte: *Radarsat International*, 1996).

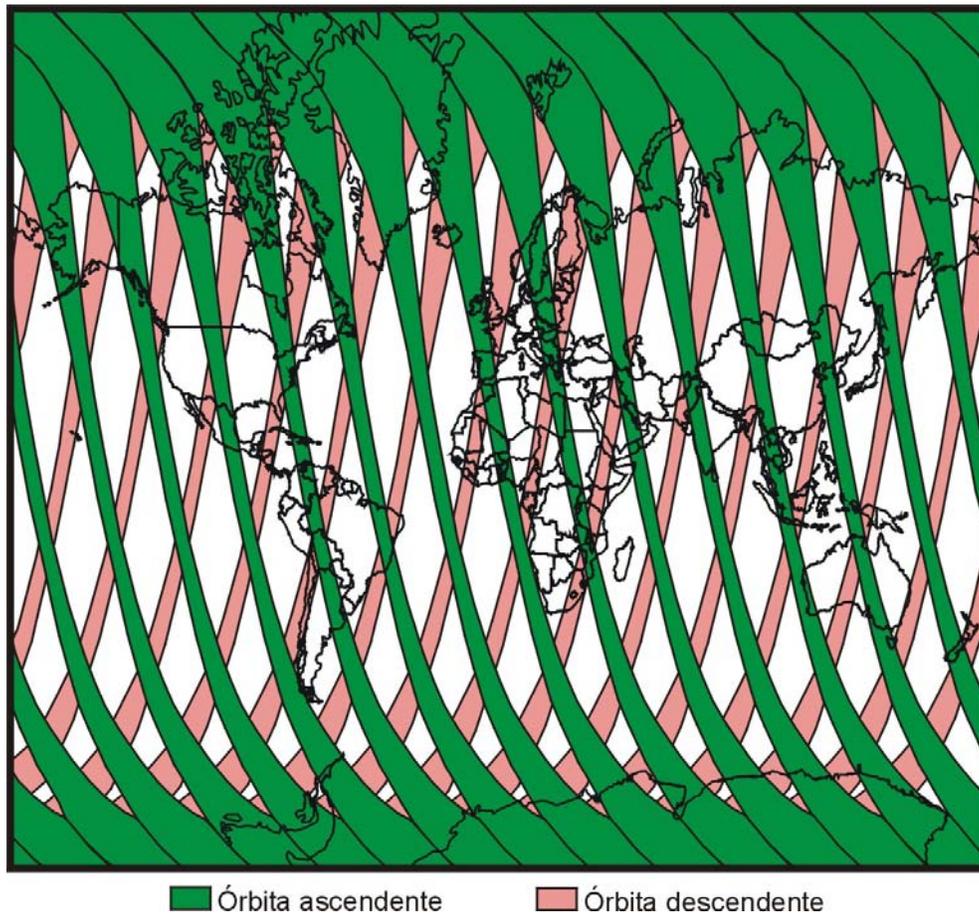


Figura A1.19 - Cobertura global de um dia para o modo *ScanSar* (modificado de *Radarsat International*, 1996).

O radar de abertura sintética a bordo do RADARSAT-1 utiliza uma antena com comprimento de 1,5 x 15 metros (Soler, 2000), que opera na banda C (5,6 cm ou 5,3 Ghz), com polarização HH. A Tabela A1.4 sumaria as principais características do satélite RADARSAT-1 comentadas anteriormente.

<b>Geometria</b>	Circular, síncrona com o sol
<b>Altitude</b>	798 km
<b>Inclinação</b>	98,6°
<b>Período</b>	100,7 minutos
<b>Repetição do ciclo</b>	24 dias
<b>Órbitas por dia</b>	14
<b>Frequência</b>	5,3 GHz
<b>Comprimento de onda</b>	5,6 cm (Banda C)
<b>Polarização</b>	HH (Horizontal-Horizontal)

Tabela A1.4 – Características do satélite RADARSAT-1 (fonte: *Radarsat International*, 1996).

### A1.2 – Utilização de imagens de radar para a detecção de exsudações e derramamentos de óleo no mar

Imagens de radar têm sido utilizadas para a detecção de manchas de óleo na superfície do mar, tanto com o objetivo de auxiliar na exploração petrolífera, através da detecção de exsudações, quanto para o monitoramento de poluição por derramamento. Porém, as imagens de radar só permitem a determinação do tamanho da mancha e de sua localização. A identificação do tipo de óleo e o cálculo de sua espessura não podem ser feitos com essa tecnologia (Mouchot & Garelo, 1998).

Segundo Mouchot & Garelo (1998), manchas de óleo na superfície do mar tendem a suavizar as ondas *Bragg* que dominam o retroespalhamento do radar, fazendo com que o retorno para a antena seja muito menor na área em que a mancha ocorre. Estas ondas são geradas pelo vento e possuem período e comprimento de onda relativamente curtos, podendo ser de dois tipos: ondas capilares (período menor que 0,1 segundo e comprimento de onda menor que 1,73 centímetro) e ondas curtas de gravidade (período menor que 1 segundo). Devido ao amortecimento das ondas *Bragg*, as manchas de óleo aparecem como áreas escuras na imagem de radar devido à reflexão especular (Fig. A1.20). Por outro lado, nas regiões onde tais ondulações estão presentes, o pulso incidente de radar é afetado pelo mecanismo de espalhamento *Bragg*. De acordo com

Mouchot & Garello (1998), o entendimento de tal mecanismo requer que a superfície iluminada dos oceanos seja decomposta em componentes do espectro *Fourier* de frequências (Fig. A1.21). Deste modo, o espalhamento *Bragg* ocorre a partir do componente espectral que se encontra em ressonância com a onda incidente do radar, na presença de interferências construtivas. Tal condição pode ser obtida através da equação a seguir:

$$\lambda_s = (n \lambda_r) / (2 \text{sen } \theta) ,$$

onde:

$\lambda_r$  = Comprimento de onda do radar;

$\lambda_s$  = Comprimento de onda *Bragg*;

$n$  = Ordem da ressonância (de acordo com Soler (2000), o espalhamento é dominante quando  $n = 1$ );

$\theta$  = ângulo de incidência.

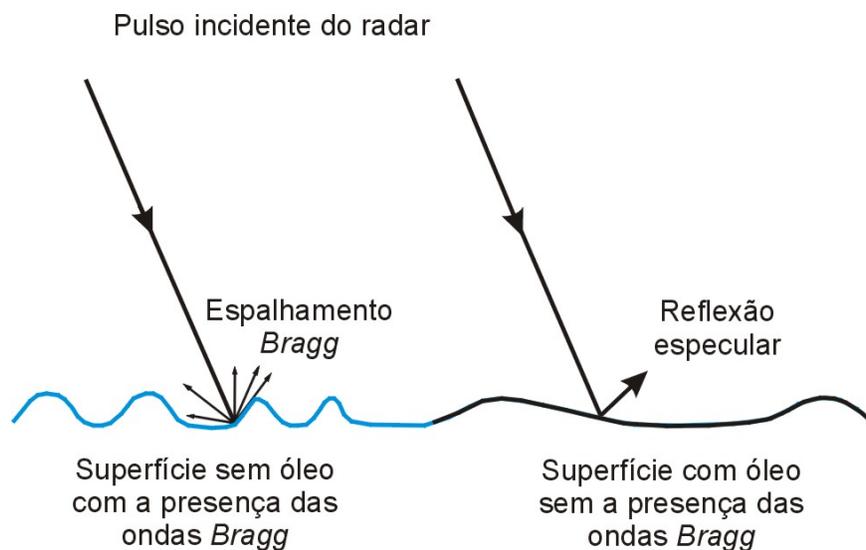


Figura A1.20 - Espalhamento do sinal de radar em uma superfície livre da influência de camadas de óleo e em uma superfície amortecida pela presença de óleo (modificado do Projeto GlobeSAR in Soler, 2000).

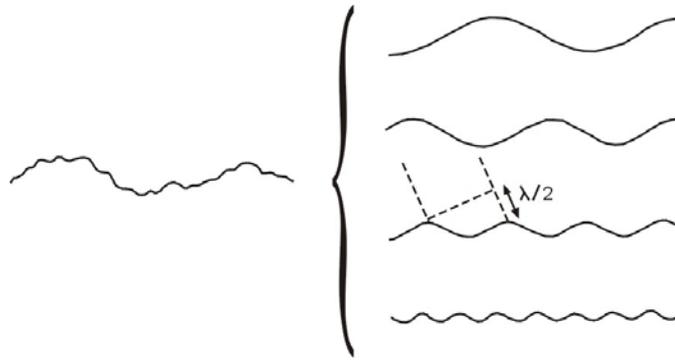


Figura A1.21 - A superfície do mar é subdividida dentro de seus componentes do espectro *Fourier* de freqüências. O espalhamento *Bragg* ocorre a partir do componente que atenda à condição de ressonância (modificado de Elachi *in* Mouchot & Garelo, 1998).

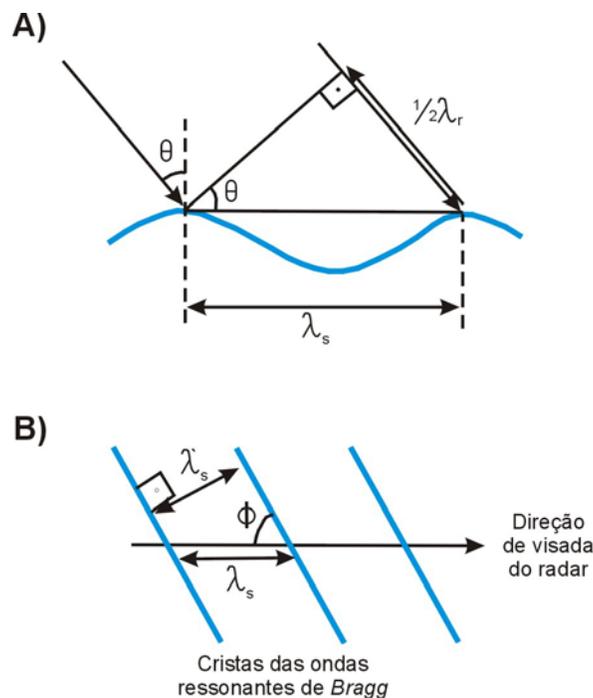
De acordo com Mouchot & Garelo (1998), em uma mesma imagem de radar, o decréscimo no retroespalhamento é fortemente influenciado pelo ângulo entre o vento, que controla a direção de propagação das ondas *Bragg*, e a direção de visada da antena. Desta forma, as manchas são melhor contrastadas quando a iluminação do radar é perpendicular às cristas das ondas (Fig. A1.22 A) (Nithack & Witte *in* Mouchot & Garelo, 1998). Como em uma mesma cena as ondas *Bragg* podem exibir diferentes *trends* de propagação (propagação perpendicular, oblíqua ou paralela à visada do radar), tais diferenças implicarão em uma variação na intensidade do sinal de retorno. Desta forma, quando a propagação for paralela à visada do sensor, não ocorrerá o espalhamento e a reflexão será especular ou ocorrerá um retroespalhamento muito baixo. Conseqüentemente, tal fenômeno fará com que a imagem SAR apresente tons escuros podendo, com isto, gerar ambigüidades na interpretação, uma vez que as manchas de óleo presentes na superfície do mar terão uma resposta parecida em função do amortecimento das ondas *Bragg*. Caso a propagação das cristas das ondas ocorra a um ângulo  $\Phi$  da direção de visada do radar (Fig. A1.22 B), a condição *Bragg* será descrita pela equação a baixo (Johannessen *et al.*, 1994):

$$\lambda'_s = [(\lambda_r \text{ sen } \Phi) / (2 \text{ sen } \theta)] = \lambda_s \text{ sen } \Phi \quad ,$$

onde:

$\lambda'_s$  = Comprimento de onda *Bragg* se propagando a um ângulo  $\Phi$  da direção de visada do radar.

Deste modo, assumindo-se que as ondas *Bragg* se propagam a  $\Phi = 90^\circ$  (perpendiculares) da visada da antena, e que  $\lambda_r = 5,6$  cm,  $\theta = 30^\circ$  e  $n = 1$ , a componente do espectro de onda em ressonância com o pulso do radar, gerando o espalhamento do sinal, possuirá  $\lambda'_s \approx 5,6$  cm. Porém, se a propagação das ondas ocorrer a um ângulo de  $\Phi = 45^\circ$ , para  $\lambda_r = 5,6$  cm e  $\theta = 30^\circ$ , a componente do espectro de onda que estará em ressonância com a onda do radar possuirá  $\lambda'_s \approx 3,96$  cm. Caso a propagação das ondas *Bragg* ocorra a  $\Phi = 0^\circ$  da visada do radar (paralela), considerando  $\lambda_r = 5,6$  cm e  $\theta = 30^\circ$ , nenhum componente do espectro de onda estará em ressonância com o pulso do radar, gerando, com isto, reflexão especular, uma vez que  $\lambda'_s = 0$  cm.



Figuras A1.22 A e A1.22 B - A) Relação de *Bragg* entre o ângulo de incidência do radar ( $\theta$ ) e o comprimento de onda da superfície ( $\lambda_s$ ). B) Relação da ressonância de *Bragg* quando as cristas das ondas estão a um ângulo  $\Phi$  da direção de visada do radar (modificado Johannessen *et al.*, 1994).

Uma outra forma de se alterar os valores de  $\lambda_s$  e  $\lambda'_s$  seria modificando o comprimento de onda utilizado pelo radar ( $\lambda_r$ ) ou o ângulo de incidência ( $\theta$ ). Assim, no caso de um comprimento de onda de 23,5 cm e ângulo de incidência igual a  $30^\circ$ ,  $\lambda_s$  e  $\lambda'_s$  possuíam aproximadamente 23,5 cm (para  $\Phi = 90^\circ$ ) e 20,35 cm (para  $\Phi = 60^\circ$ ), respectivamente. Já as variações de  $\lambda_s$  ou  $\lambda'_s$  em função de  $\theta$  podem ocorrer dentro de

uma mesma imagem, uma vez  $\theta$  é menor no *near range* e maior no *far range*. Com isto, neste último exemplo apresentado, caso  $\theta = 20^\circ$  em *near range* e  $\theta = 40^\circ$  em *far range*,  $\lambda_s$  seria respectivamente, 34,35 cm e 18,28 cm. Neste exemplo, teríamos para  $\lambda'_s$  os valores 29,74 cm e 15,83 cm, respectivamente, considerando  $\Phi = 60^\circ$ .

No entanto, componentes do espectro que possuem comprimento de onda mais curto do que os exigidos pela condição de *Bragg* (Fig. A1.21) também propiciam o espalhamento do sinal do radar, obedecendo, desta vez, o critério de *Rayleigh* (Mouchot & Garelo, 1998). Deste modo, o sinal de retorno do radar é a soma do espalhamento gerado pelas ondas *Bragg* com o espalhamento gerado pelas ondulações mais curtas determinadas pelo critério de *Rayleigh*.

Segundo Miranda *et al.* (2004), o ângulo de incidência é um importante fator a ser considerado quando se deseja obter o contraste adequado entre as manchas de óleo e suas vizinhanças. Sendo assim, estes autores propuseram que ângulos de incidência entre  $10^\circ$  e  $40^\circ$  melhoram o contraste para este tipo de aplicação. No caso do satélite RADARSAT-1, os modos de imageamento *Extended Low 1 (L1)*, *Standard 1 a 4 (S1 a S4)*, *Wide 1 e 2 (W1 e W2)* e *ScanSAR Narrow 1 e 2 (SCN1 e SCN2)* atendem a estas especificações (Tabela A1.2). Porém, deve-se ressaltar que ângulos de incidência muito baixos ( $10^\circ - 20^\circ$ ), como no caso do modo *Extended Low 1*, não são adequados quando o objetivo é a identificação de embarcações, uma vez que tais valores para ângulos de incidência não favorecem as reflexões de canto, as quais aumentam o sinal de retorno do radar saturando o *pixel* da imagem. Outra desvantagem é que ângulos de incidência muito baixos não aumentam o contraste entre a mancha de óleo e a superfície rugosa do mar isenta de óleo, visto que o sinal de retorno para ambas as superfícies é alto. Ângulos de incidência maiores que  $40^\circ$  irão favorecer a identificação de embarcações, em razão do aumento das reflexões de canto. No entanto, ângulos desta ordem de grandeza também diminuem o contraste entre as manchas de óleo e suas vizinhanças, devido ao baixo retorno de ambas as superfícies (que tendem a ser mais lisas, de acordo com o critério de *Rayleigh*, para altos ângulos de incidência).

De acordo com os citados autores, a capacidade de discriminação, utilizando um sistema SAR, irá depender também do tamanho da mancha e da resolução do sensor. Assim, no caso do satélite RADARSAT-1, o modo *Wide 1* (Tabela A1.2) é o mais indicado

na detecção de exsudações de óleo, uma vez que cobre uma área de 165 x 165 km, com ângulos de incidência variando entre 20° e 31° e resolução espacial de 30 metros. Já as imagens do modo *ScanSAR Narrow 1* e 2 são muitas vezes usadas por abrangerem uma área muito ampla (300 x 300 km), utilizarem ângulos de incidência entre 20° – 40° (*SCN1*) e 31° – 36° (*SCN2*), com uma resolução espacial de 50 metros (Tabela A1.2). Uma outra vantagem deste modo de imageamento é a aquisição de dados em largas faixas no terreno, o que aumenta o ciclo de revisita, resultando em maior resolução temporal. Um outro modo passível de ser empregado é o *ScanSar Wide 1 (SW1)* (Tabela A1.2). Apesar de possuir um intervalo de ângulos de incidência entre 20° - 49° e uma largura de faixa imageada de 500 x 500 km, o tamanho de sua célula de resolução não é adequado (100 metros). Porém, Wu *et al. in Soler* (2000) aconselhou a utilização do *ScanSar Wide 1* quando o objetivo é o monitoramento costeiro, uma vez que a imagem pode cobrir grandes áreas. Já as imagens *Standard 1 a 4* (Tabela A1.2) embora apresentem os intervalos de ângulos de incidência dentro do recomendado e resolução de 25 metros, possuem área de cobertura menor (100 x 100 km) se comparada com os modos anteriormente descritos.

#### A1.2.1 – Reconhecimento de feições similares (falsos alvos) às exsudações de óleo nas imagens de radar

Uma série fenômenos meteorológicos, oceanográficos e de natureza antrópica podem propiciar o amortecimento das ondas *Bragg*, ocasionando um baixo retorno à antena da energia transmitida pelo radar. Deste modo, o reconhecimento nas imagens de feições similares (falsos alvos) às exsudações de óleo assim originadas é de extrema importância para evitar interpretações errôneas. Alguns dos fenômenos que também produzem um baixo retorno do sinal de radar estão descritos a seguir.

##### *(1) – Regiões com baixa intensidade de vento*

Variações na intensidade do campo de vento influenciam fortemente as condições do estado do mar. Com isto, em regiões que apresentem baixa intensidade de vento, ou seja, com valores menores que 3 m/s (Staples & Hodgins *in Miranda et al.*, 2004), a formação das ondas *Bragg* é inibida, acarretando em um baixo retroespalhamento da energia incidente do radar. Em áreas com ventos muito intensos, com valores maiores que 8 m/s (Staples & Hodgins *in Miranda et al.*, 2004), a detecção das exsudações de

óleo é dificultada, uma vez que, em um mar muito agitado, o óleo não amortece a amplitude das ondas *Bragg*. Como consequência, estas áreas aparecem em tons claros nas imagens de radar. Para auxiliar na identificação das regiões de baixo vento, podem ser usados os dados do sensor SSM/I (*Special Sensor Microwave Imager*), a bordo do satélite DMSP F-13. Maiores informações a respeito da utilização destes dados podem ser encontradas no item A1.2.2.1.

### (2) – Regiões de “sombra de vento”

Segundo Espedal (1998), em condições moderadas de ventos, plataformas de petróleo muito grandes protegem parte da superfície dos oceanos da ação eólica e, com isto, resultam na formação de áreas escuras nas imagens de radar atrás das estruturas (Fig. A1.23). De acordo com a citada autora, o tamanho da “sombra de vento” depende da velocidade do vento e das dimensões das facilidades de produção.

Regiões na imagem próximas a ilhas ou a montanhas também podem proteger a superfície dos oceanos da ação dos ventos, inibindo a formação das ondas *Bragg* e acarretando em um baixo retroespalhamento (Fig. A1.24). Segundo Espedal (1998) a formação da “sombra de vento” depende, neste caso, da direção do campo de vento no momento da aquisição da imagem de radar.

### (3) – Liberação de óleo de plataformas de produção e descarte a partir de embarcações

A liberação de óleo a partir de plataformas ou navios acarreta na formação de feições semelhantes às exsudações de óleo. Porém, os derramamentos possuem, geralmente, uma forma bastante típica e têm sempre como origem pontos claros na imagem de radar (Fig. A1.25). Tais pontos são indicativos da presença de embarcações que, devido às reflexões de canto, saturam os *pixels* da imagem. Muitas vezes, não é possível identificar a plataforma ou a embarcação responsável pela liberação do óleo. Isto geralmente ocorre quando o tempo decorrido entre o descarte do óleo e a aquisição da imagem é grande (com diferença de horas ou alguns dias). De fato, em razão da ação de correntes oceânicas e do vento, o óleo se afasta progressivamente da estrutura de origem, dificultando a interpretação. Fenômenos como o descarte de água de lastro a

temperaturas relativamente mais baixas, assim como a liberação de lama de perfuração (à base de água ou óleo), também geram feições semelhantes a derramamentos.



Figura A1.23 - Detalhe de uma imagem do satélite RADARSAT-1 mostrando uma feição interpretada como sombra de vento. No canto superior esquerdo, ocorre uma área de baixo retorno associada à exsudação de óleo de Cantarell (Golfo do México).

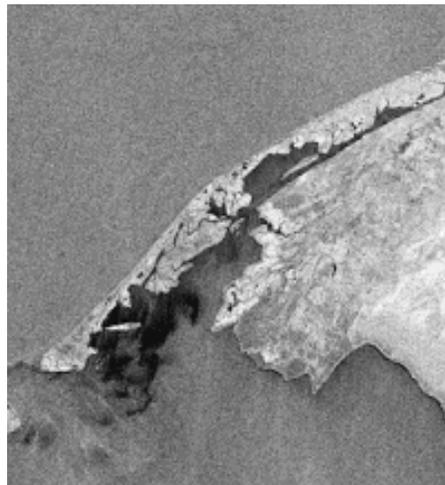


Figura A1.24 - Detalhe de uma imagem do satélite RADARSAT-1 adquirida na Baía de Campeche (Golfo do México, porção mexicana). Nesta figura, pode-se observar uma área de baixo retorno interpretada como sombra de vento.

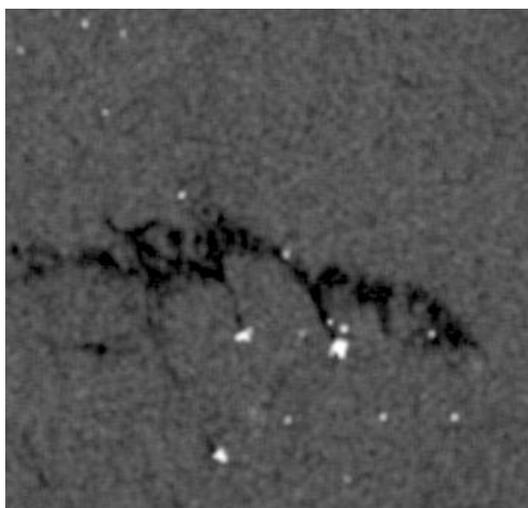


Figura A1.25 - Detalhe de uma imagem do satélite RADARSAT-1 mostrando uma série de derramamentos de óleo (áreas escuras). Os pontos brancos são plataformas de petróleo que, devido às reflexões de canto, saturam os *pixels* da imagem.

#### (4) – Óleos biológicos

Segundo Johannessen *et al.* (1994), substâncias orgânicas secretadas por peixes ou por outras espécies planctônicas na porção superior dos oceanos podem, sob certas condições oceanográficas e meteorológicas, ser transportadas até a superfície. Os óleos biológicos que atingem a superfície marinha são retidos na interface ar e água e permanecem lá como uma microcamada (Johannessen *et al.*, 1994). De acordo com os mencionados autores, em condições relativamente calmas, esta microcamada pode se estender por amplas áreas no oceano. A presença dos óleos biológicos acarreta na atenuação das ondas *Bragg*, causando um baixo retorno para o sinal de radar. Tais óleos apresentam, na maioria das vezes, um padrão filamentosso muito contínuo (Fig. A1.26). Isto provavelmente ocorre devido à sua baixa viscosidade, que permite o seu alinhamento às direções das correntes cisalhantes, dando assim uma representação no espaço do padrão de circulação oceânica. Em alguns casos, a discriminação entre óleos de origem biológica e termogênica é muito difícil.

Johannessen *et al.* (1994) também afirmam que vórtices podem ser visualizados indiretamente pela presença de óleos biológicos dispostos ao longo da direção de movimentação das correntes oceânicas (Fig. A1.27). A turbulência, por sua vez, permite

uma movimentação convectiva da água, que faz com que o material orgânico presente na porção superior dos oceanos seja concentrado na superfície. As linhas em espiral sugerem um movimento convergente para o centro do vórtice. Tal movimento pode ser importante para a distribuição e concentração de clorofila-a, algas e poluentes, como, por exemplo, os derramamentos de óleo (Johannessen *et al.*, 1994).

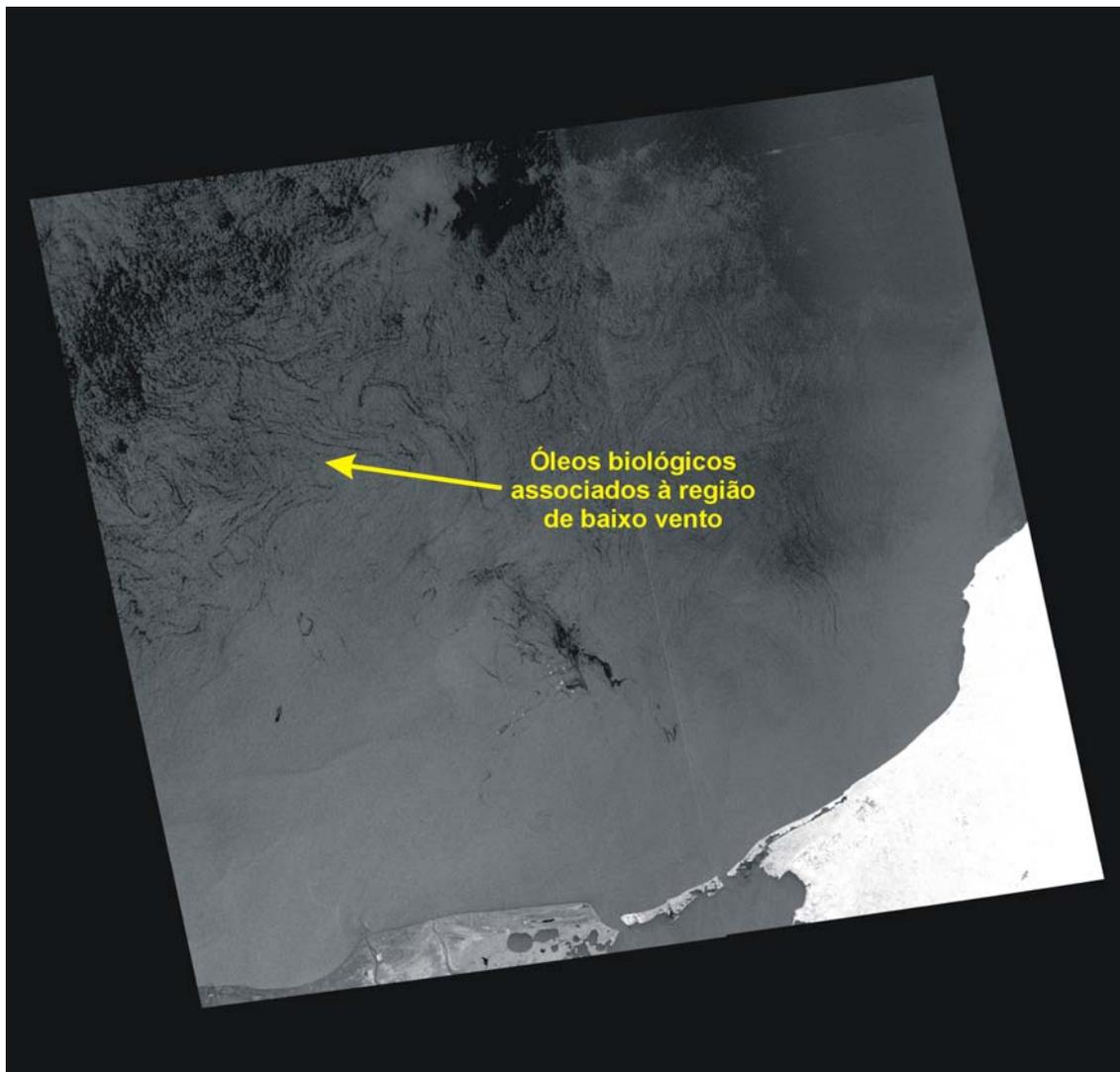


Figura A1.26 – Feições de baixo retorno na imagem *ScanSAR Narrow 1* (*SCN1* - *RADARSAT-1*) interpretadas como associadas à óleos biológicos na presença de baixo vento.

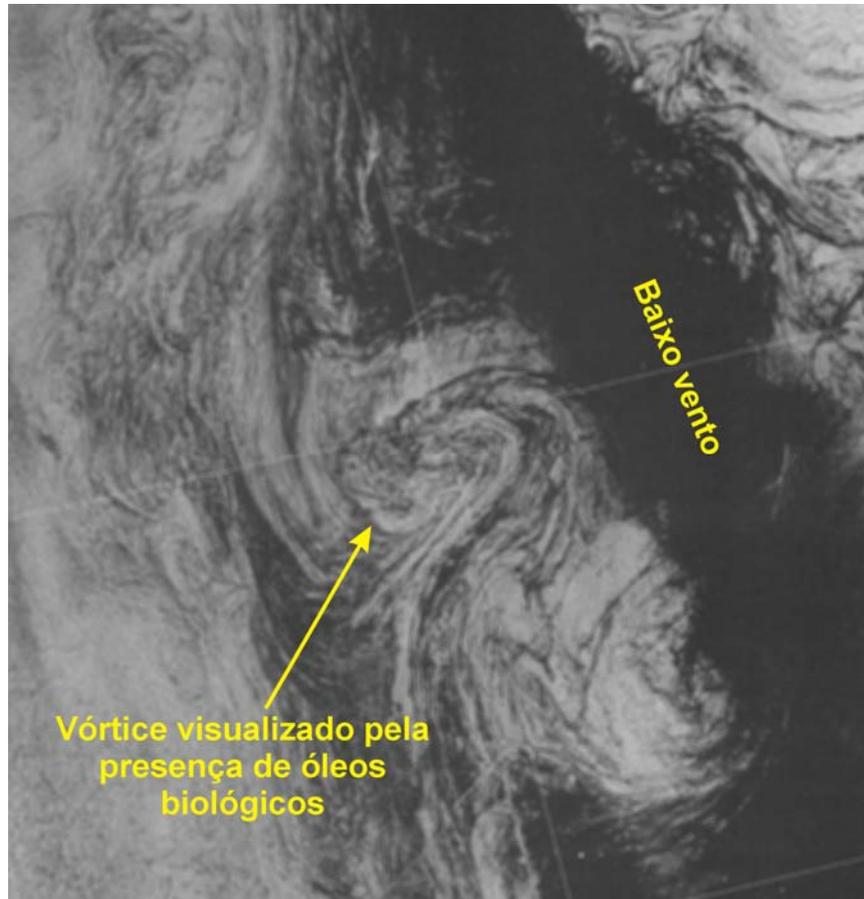


Figura A1.27 - Imagem SAR do satélite europeu ERS-1 adquirida sobre a costa sudoeste da Noruega em 06 de maio de 1993. O vórtice visualizado na imagem é responsável por coletar e dispor óleos biológicos ao longo de um padrão em espiral (Johannessen *et al.*, 1994).

(5) – *Presença de células de chuva*

Quando chuvas muito intensas caem sobre a superfície dos oceanos, ocorre o amortecimento das ondas *Bragg* devido à turbulência (Johannessen *et al.*, 1994). Como resultado, forma-se uma área com baixo retorno do sinal de radar no centro da célula de chuva, enquanto que, a sua volta, o retroespalhamento aumenta (Johannessen *et al.*, 1994) (Figs. A1.28 e A1.29). A formação de áreas rugosas no mar e, portanto, mais claras na imagem ocorre devido a ventos muito fortes que afastam o ar frio descendente para longe do centro da célula de chuva (Fig. A1.28) (Johannessen *et al.*, 1994). Segundo tais autores, a formação dessas células ocorre mais comumente em regiões subtropicais. De

modo a auxiliar na identificação das células de chuva, são usados mapas da temperatura do topo de nuvem (TTN). Estes produtos serão comentados no item A1.2.2.3.

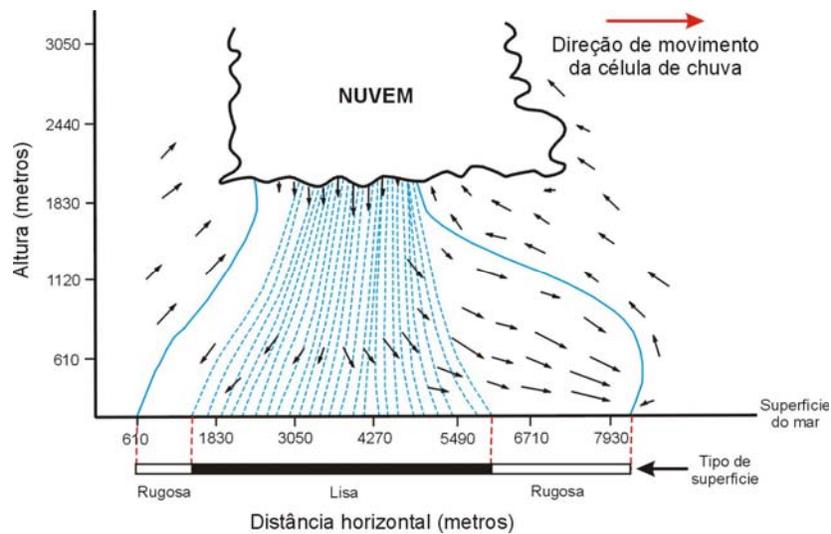


Figura A1.28 - Desenho esquemático de uma célula de chuva formada sobre a superfície do mar (modificado de Johannessen, 1994).

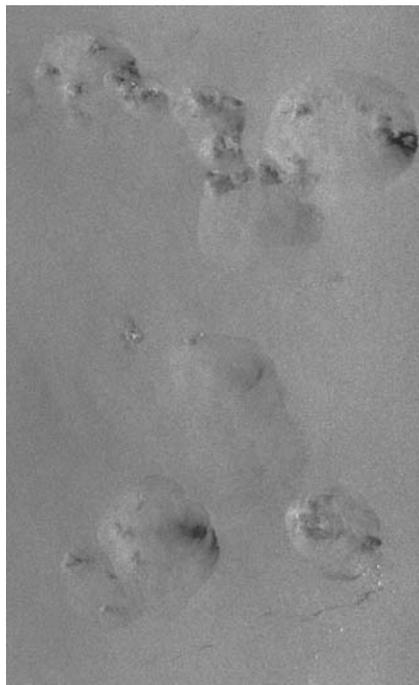


Figura A1.29 - Detalhe de uma imagem do satélite RADARSAT-1, mostrando áreas de baixo retorno associadas à presença de células de chuva.

### (6) – Zonas de ressurgências

Zonas de ressurgência são caracterizadas por águas frias e de alta produtividade orgânica, que também causam o amortecimento das ondas *Bragg* e o conseqüente baixo retroespalhamento do sinal de radar (Figs. A1.45 e A1.46). Deste modo, regiões com tais características se apresentam escuras nas imagens de radar. Para auxiliar na identificação das zonas de ressurgência, são utilizados mapas da temperatura da superfície do mar (TSM), que serão comentados no item A1.2.2.2.

### (7) – Limites de correntes

De acordo com Johannessen *et al.* (1994), sob condições moderadas de vento (3 a 10 m/s), é possível identificar limites de correntes, meandros e vórtices nos dados SAR. Os mecanismos capazes de propiciar o realce de feições oceânicas em mesoescala (da ordem de dezenas a centenas de quilômetros) observadas nas imagens de radar são (Johannessen *et al.*, 1994):

- (A) – Amortecimento das ondas de gravidade pela presença de manchas naturais (óleos biológicos) alinhadas ao longo do limite frontal da corrente;
- (B) – Interação entre ondas de gravidade curtas e correntes ao longo do cisalhamento e/ou zonas de convergência dentro da frente de corrente;
- (C) – Mudanças na intensidade de vento induzidas pelo forte gradiente na temperatura da superfície do mar.

Quando existem diferenças de temperatura entre a água do mar e o ar, a assinatura presente na imagem SAR é modulada por variações na intensidade do vento, que ocorrem devido a tal diferença de temperatura. Caso a diferença de temperatura entre a água do mar e o ar seja neutra, ou próxima disso, as assinaturas presentes nas imagens SAR são moduladas pela interação entre as ondas de gravidade curtas e as correntes ao longo das frentes oceânicas (Johannessen *et al.*, 1994) (Fig. A1.30). Segundo Soler (2000), nas regiões de cisalhamento de correntes, o encontro entre diferentes massas d'água pode causar tanto o aumento quanto a diminuição da amplitude das ondas fronteiriças. Assim, de acordo com a direção de visada do radar, caso ocorra a diminuição da amplitude das ondas fronteiriças, o sinal de retorno será menor na faixa de

encontro entre as ondas de diferentes direções. Tal efeito ocasionará a formação de faixas estreitas e curvadas de grande extensão e que podem ser confundidas com manchas de óleo (Fig. A1.30) (Soler, 2000). Para auxiliar na identificação dos limites de corrente, são empregados os mapas de temperatura da superfície do mar (TSM) discutidos no item A1.2.2.2.

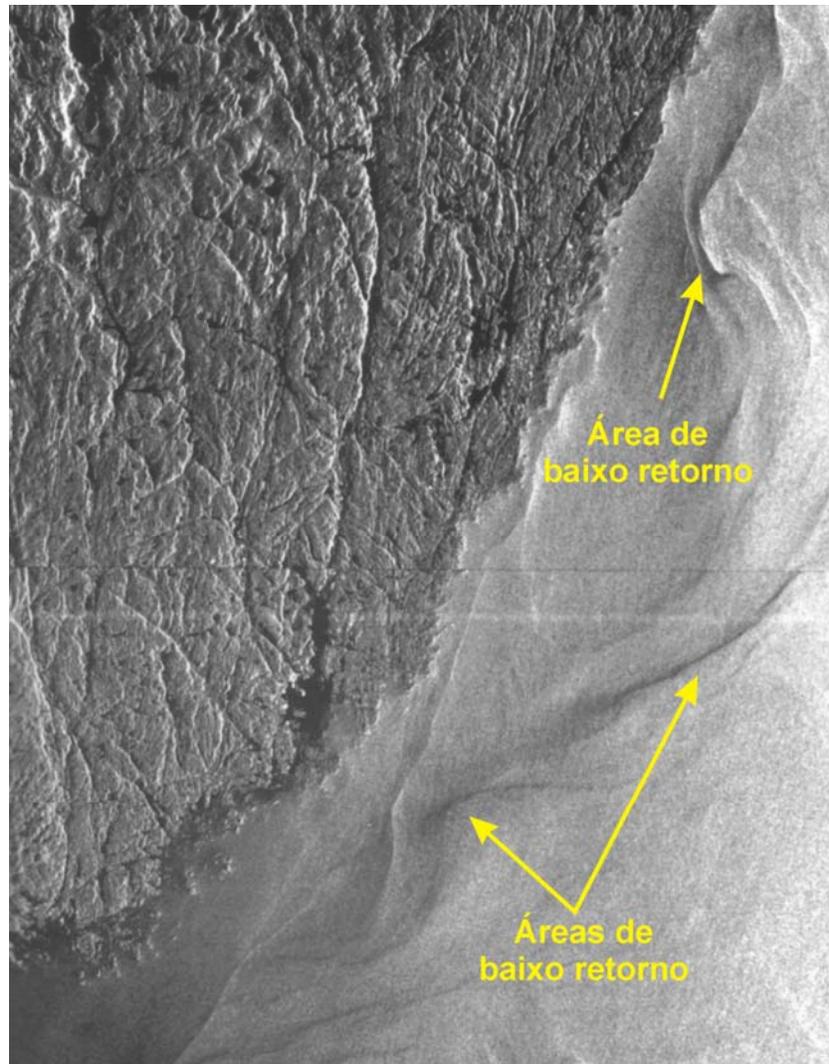


Figura A1.30 - Imagem SAR do satélite europeu ERS-1 adquirida sobre a costa sudeste da Noruega. As regiões claras e escuras nesse produto são perturbações ao longo da corrente costeira norueguesa (Johannessen *et al.*, 1994).

(8) – *Presença de vegetações submersa e de altas concentrações de matéria orgânica*

De acordo com Miranda *et al.* (2001), a vegetação subaquática pode propiciar a suavização da superfície do mar, diminuindo assim o retroespalhamento. Regiões próximas à costa possuem maior concentração de matéria orgânica e, como consequência, apresentam-se escuras nas imagens de radar devido ao baixo retorno do sinal (Figs. A1.50 e A1.51). Para identificar as áreas com altas concentrações destes materiais, são usados os mapas da concentração de clorofila-a discutidos no item A1.2.2.4.

(9) – *Turbulência causada pela popa de embarcações em movimento*

A turbulência originada pela popa das embarcações em movimento tende a amortecer as ondas *Bragg*, criando uma área de baixo retorno na imagem de radar (Figs. A1.31 e A1.32) (Lyden *et al. in* Mouchot & Garello, 1998). Tal feição, criada pela turbulência, é algumas vezes bordejada por duas linhas claras formando um V e que recebem o nome de envoltória *Kelvin* (Figs. A1.31 e A1.32) (Mouchot & Garello, 1998). Estas linhas de alto retorno se desenvolvem devido à formação de ondas *Bragg* induzidas por vórtices produzidos pelo corpo da embarcação (Mouchot & Garello, 1998). Perpendicularmente à direção de movimentação do navio, ocorrem ondas geradas pela proa, cortando estas ondas, podem aparecer as denominadas *cusp waves* (Fig. A1.32).

(10) – *Convecções atmosféricas*

Convecções no plano vertical da atmosfera causam uma alteração na rugosidade da superfície dos oceanos (Johannessen *et al.*, 1994). Assim, em áreas de convergência, a superfície do mar se torna lisa (mais escura na imagem SAR), enquanto que, em áreas de divergência, a superfície será rugosa (assinatura de radar mais clara) (Fig. A1.33). Como resultado, a imagem de radar apresentará alternâncias de faixas escuras e claras alinhadas com a direção principal de convecção (Fig. A1.34).

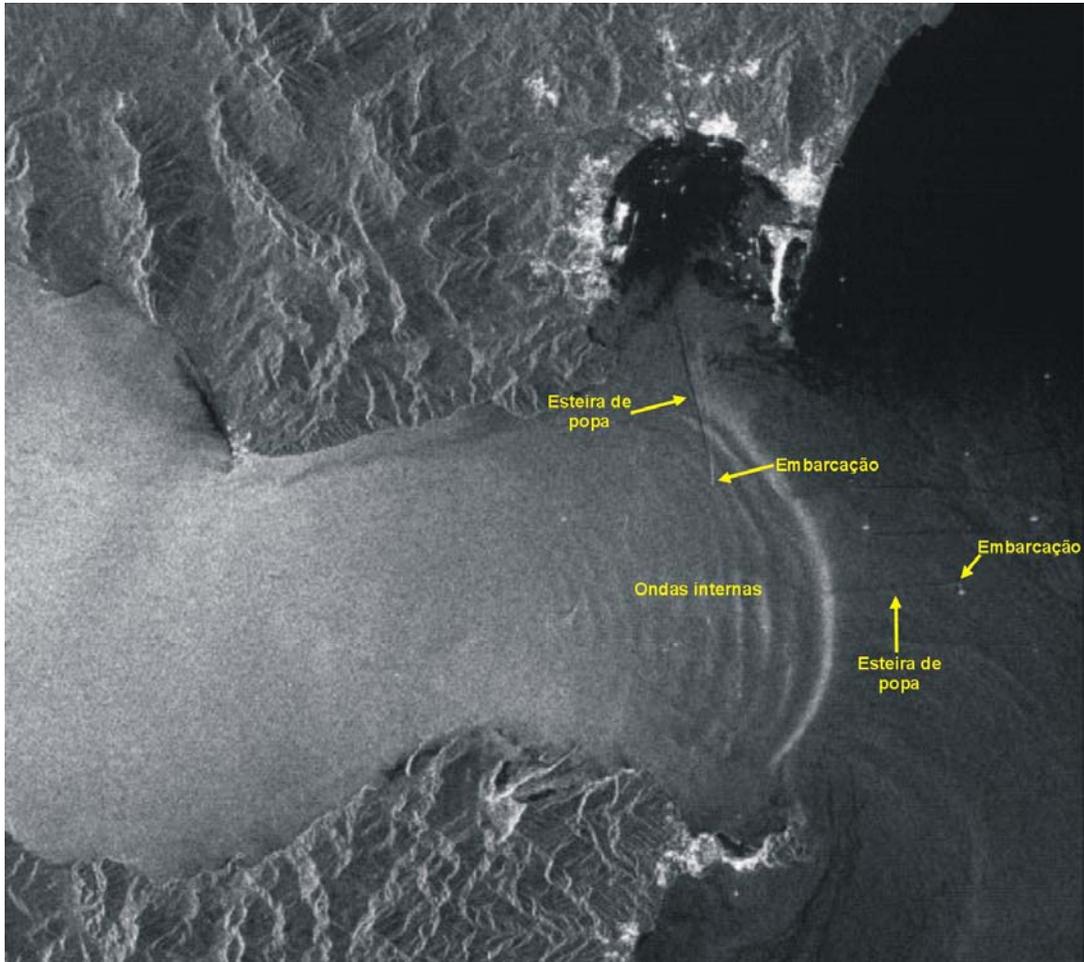


Figura A1.31 - Imagem RADARSAT-1 adquirida sobre o Estreito de Gibraltar, com feições de baixo retorno relacionadas à turbulência causada pela popa de embarcações em movimento. Ondas internas, formadas pela interação entre duas camadas estratificadas de água nesta região, também podem ser observadas na imagem de radar. Tais ondas estão se movendo do Oceano Atlântico para o Mar Mediterrâneo (fonte: <http://envisat.esa.int/dataproducts/asar/CNTR1-1-5.htm#eph.asar.ug.choos.specfeat>).

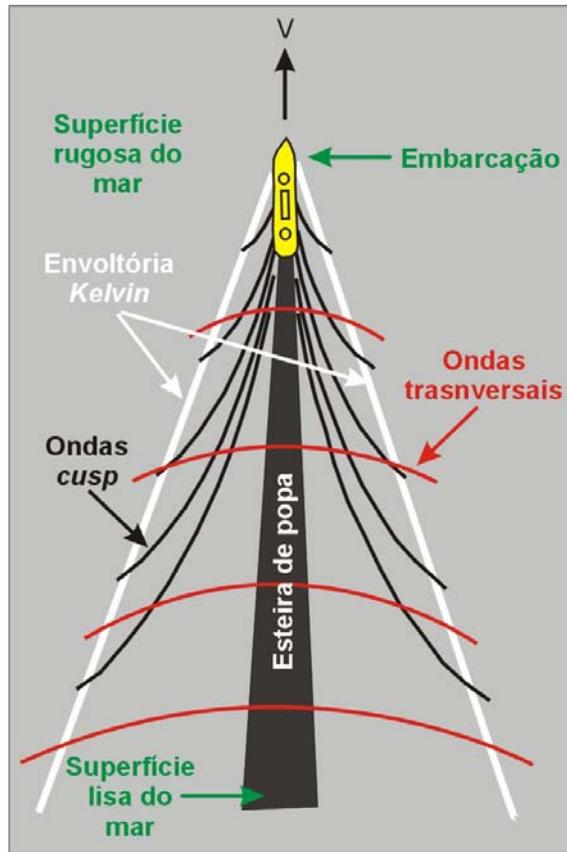


Figura A1.32 - Componentes de uma esteira de *Kelvin* clássica. O comprimento de onda das ondas transversais aumenta à medida que a embarcação se torna mais veloz (modificado de Lyden *et al.* in Mouchot & Garelo, 1998).

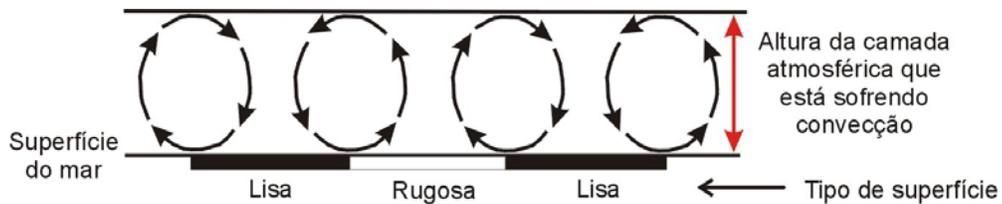


Figura A1.33 - Ilustração esquemática da convecção atmosférica no plano vertical e o efeito resultante nas imagens SAR (modificado de Johannessen *et al.*, 1994).

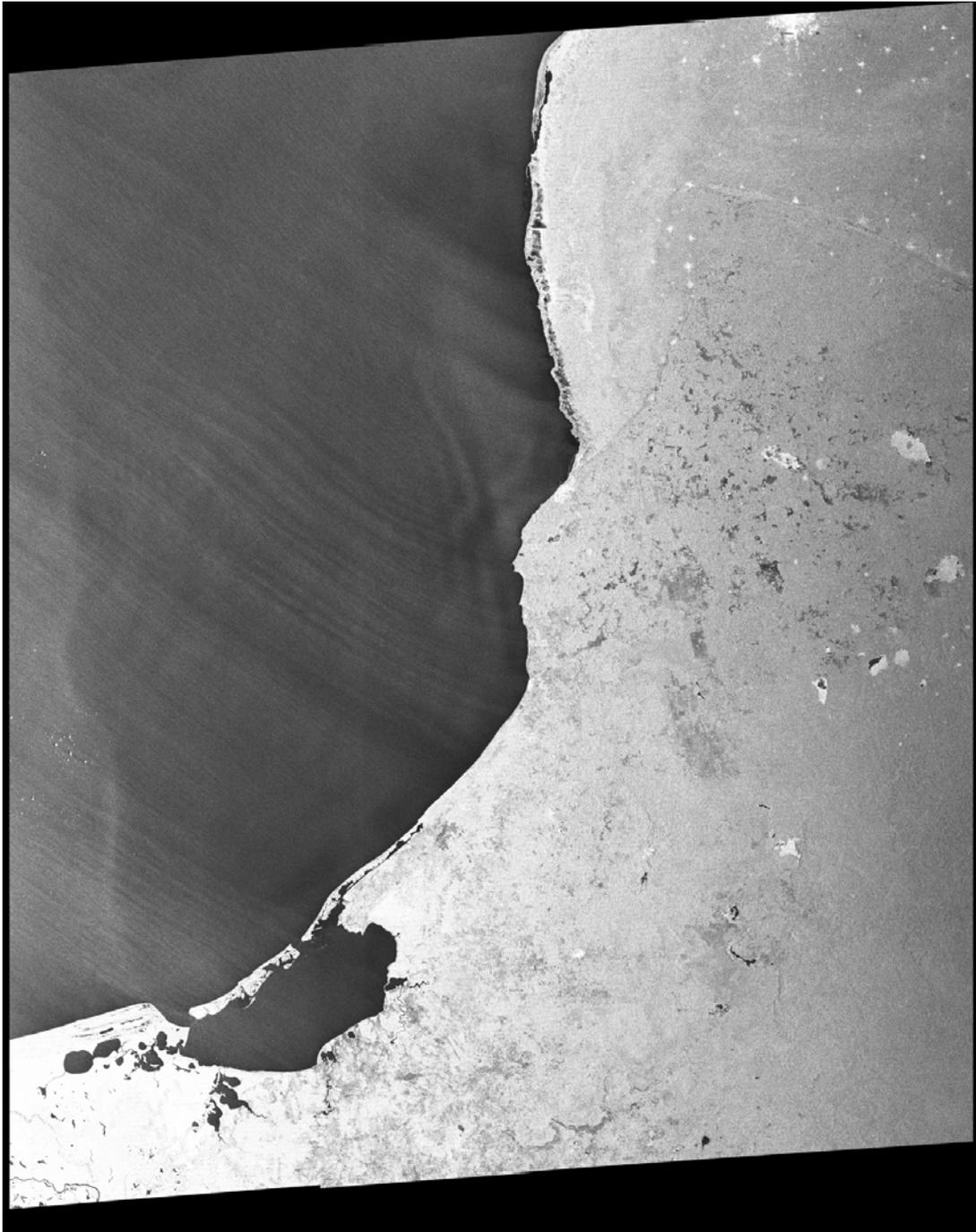


Figura A1.34 - Imagem *ScanSAR Narrow 1* (SCN1 - RADARSAT-1) com feições em grande escala relacionadas a convecções atmosféricas.

(11) – Ondas de gravidade atmosféricas

O mecanismo para a geração das ondas de gravidade atmosféricas é muitas vezes incerto. Entretanto, fenômenos como interações orográficas, distúrbios frontais na frente atmosférica em função de variações na velocidade do vento (Figs. A1.35 e A1.36) e instabilidade convectiva podem explicar a formação destas feições nas imagens de radar (Johannessen *et al.*, 1994). De acordo com Sica (2004), a onda de gravidade é uma oscilação causada pelo deslocamento de uma parcela do ar, cuja posição inicial é restaurada pela força da gravidade. Assim, a força que desloca inicialmente a partícula para cima é a flutuação (*buoyancy force*), enquanto que a força de restauração é a da gravidade (*gravity force*) (Sica, 2004).

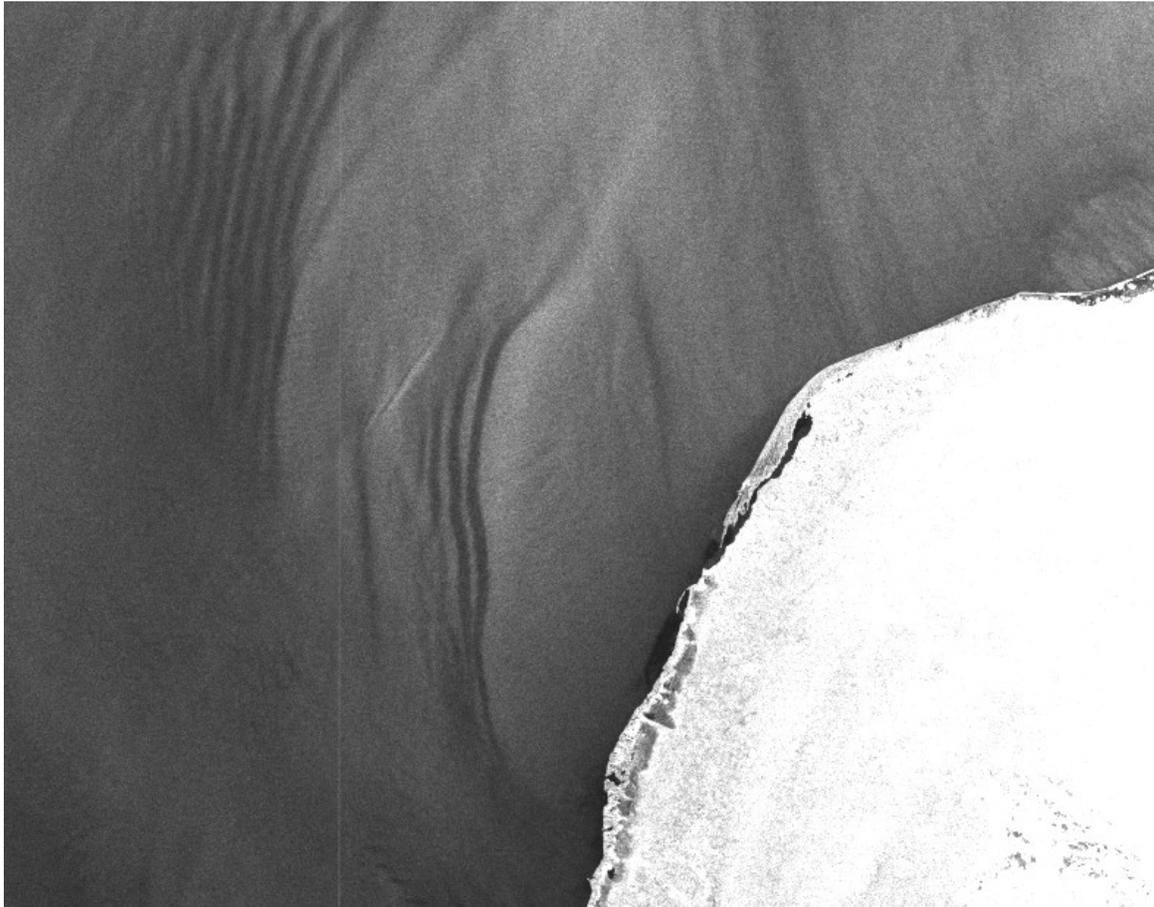


Figura A1.35 - Detalhe da imagem do satélite RADARSAT-1 adquirida sobre a porção mexicana do Golfo do México em 08 de maio de 2003. Podem ser observadas áreas de baixo retorno associadas a ondas de gravidade atmosféricas.

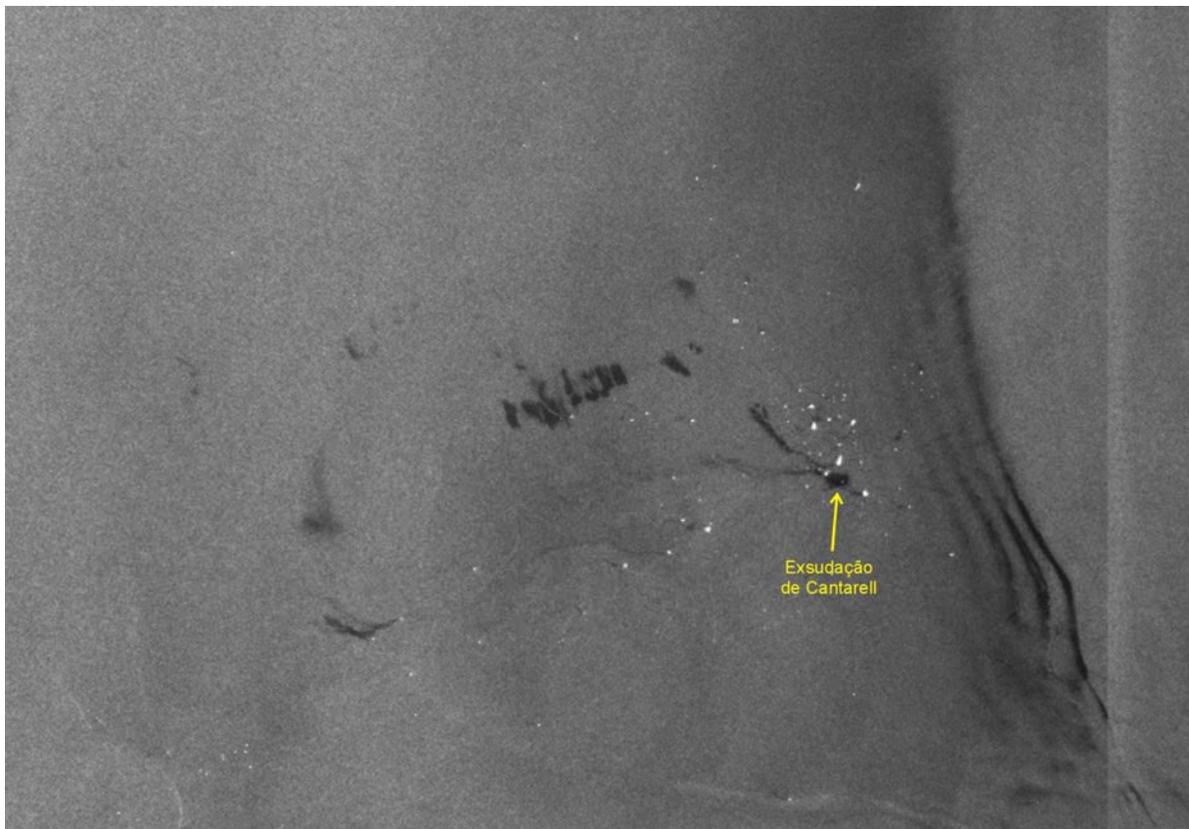


Figura A1.36 - Detalhe da imagem do satélite RADARSAT-1 adquirida sobre a porção mexicana do Golfo do México em 03 de novembro de 2004. Podem ser observadas áreas de baixo retorno associadas a ondas de gravidade atmosféricas. Uma série de manchas de óleo, incluindo a exsudação de Cantarell, também é identificada na imagem.

#### (12) – Ondas internas

Segundo Johannessen *et al.* (1994), ondas internas são formadas principalmente pela interação entre correntes de maré e feições batimétricas abruptas. A propagação é próxima à superfície em regiões onde ocorre estratificação na coluna d'água (Figs. A1.31, A1.37 e A1.38). A manifestação nas imagens SAR se dá em zonas de alto e baixo retorno associadas, respectivamente, a bandas rugosas e lisas (Figs. A1.31, A1.37 e A1.38). Em áreas onde existe convergência de fluxos, a superfície do mar é lisa, enquanto que, nos locais de divergência, ocorre o aumento da rugosidade da superfície do mar (Fig. A1.37).

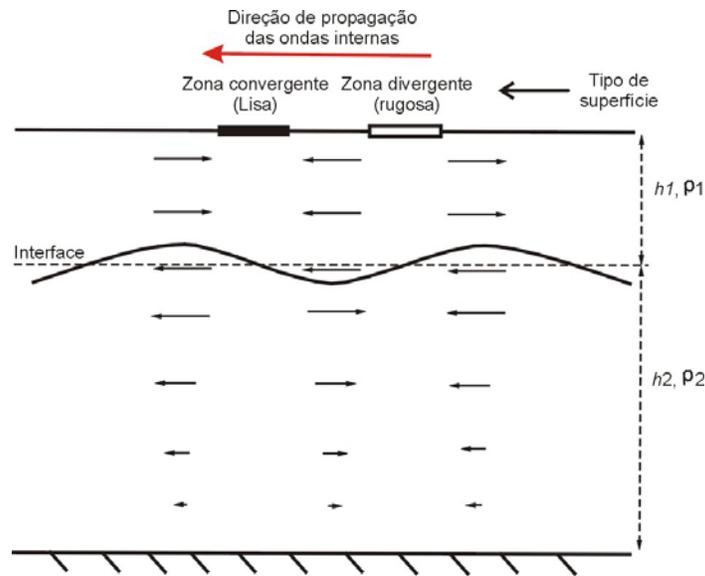


Figura A1.37 - Diagrama esquemático da geometria de uma onda interna, mostrando a velocidade das partículas de fluidos e as zonas de convergência e divergência de fluxos. No diagrama,  $\rho$  é a densidade (onde  $\rho_1 < \rho_2$ ) e  $h$  é a profundidade de cada estratificação da coluna d'água. As setas indicam a direção e a velocidade das partículas; quanto maior a seta, maior a velocidade (modificado de Johannessen *et al.*, 1994).

### (13) – Camadas de gelo

De acordo com Soler (2000), quando a concentração de cristais de gelo na superfície do mar é alta, a resposta ao radar diminui, pois ocorre o amortecimento das ondas *Bragg*. Quando as concentrações são baixas, tal amortecimento não acontece.

### (14) – Intrusões de água doce e poluição costeira

Em regiões onde ocorre a intrusão de água doce, como, por exemplo, na desembocadura de rios, o retorno do sinal para o radar é baixo (Figs. A1.39 e A1.40) (Miranda *et al.*, 2004). Na zona costeira, caso a água esteja poluída com produtos químicos ou substâncias orgânicas o amortecimento das ondas *Bragg* também é efetivo (e.g. baías e desembocaduras de rios).

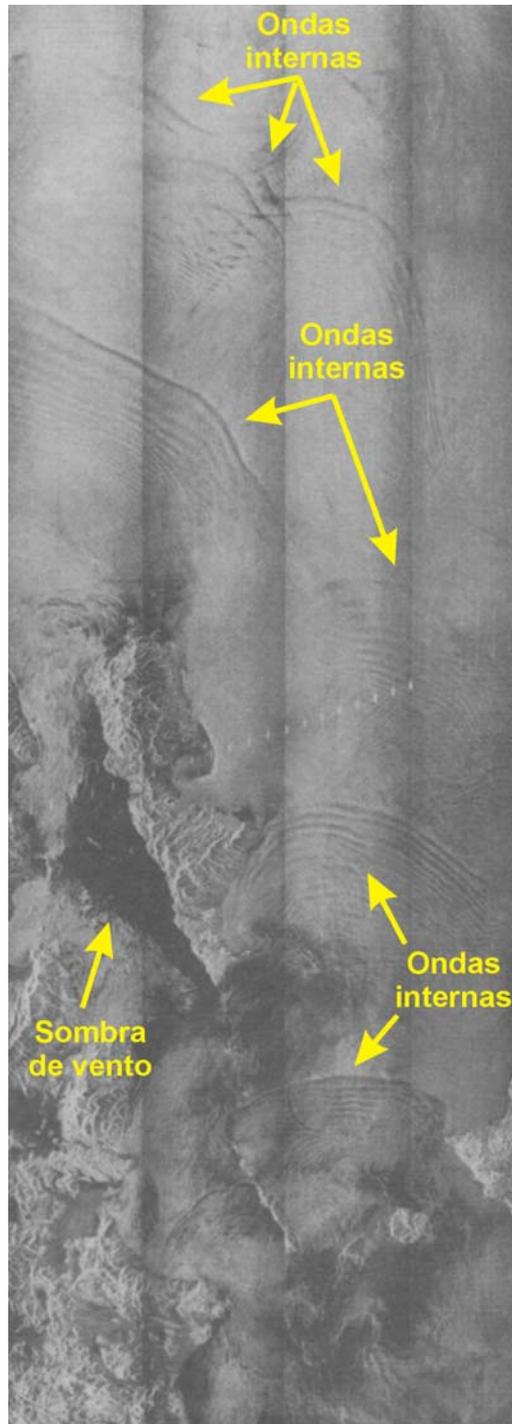


Figura A1.38 - Imagem SAR do satélite SEASAT adquirida sobre o Golfo da Califórnia em 29 de setembro de 1978. Pode-se observar nesta imagem grupos distintos de ondas internas, assim como uma região de baixo retorno de radar atrás de uma ilha, possivelmente associada à sombra de vento (cortesia do *Jet Propulsion Laboratory in Mouchot & Garello, 1998*).

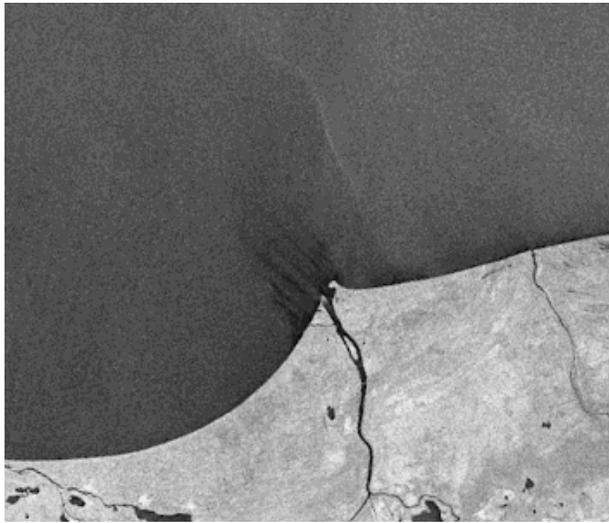


Figura A1.39 - Detalhe da imagem do satélite RADARSAT-1 mostrando uma feição de baixo retorno de radar interpretada como uma pluma de água doce, ou poluída.

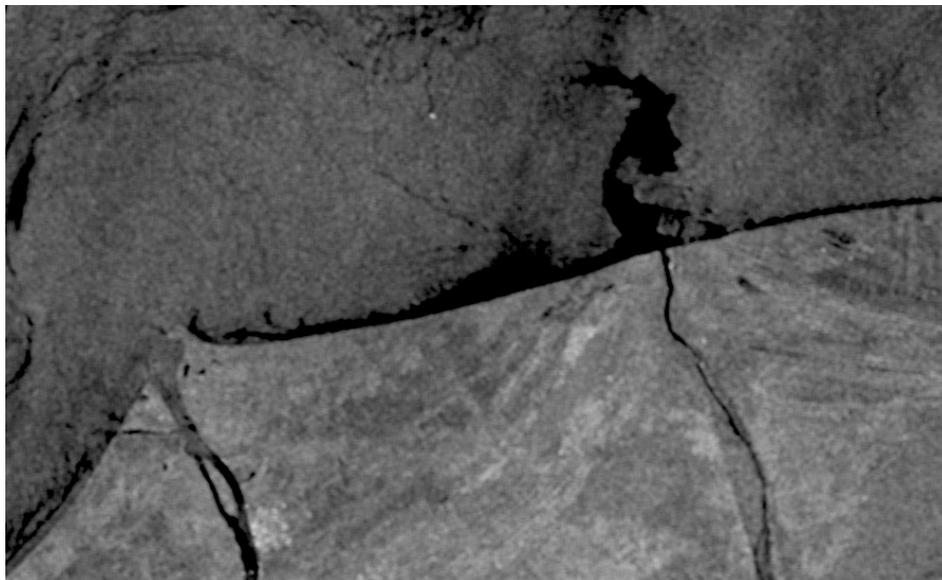


Figura A1.40 - Detalhe da imagem do satélite RADARSAT-1 mostrando uma feição de baixo retorno de radar interpretada como descarga de água doce ou poluída no mar.

(15) – Interação entre a fisiografia do fundo e as direções de correntes

A interação entre a fisiografia do fundo do mar e as direções de correntes influencia a rugosidade da superfície oceânica (Fig. A1.41). Por exemplo, quando as faces íngremes das barras de maré estiverem voltadas contra a direção principal de fluxo, a superfície do mar se apresentará lisa (regiões escuras na imagem de radar) (Fig. A1.42). Caso as faces íngremes das barras de maré estejam voltadas para a direção principal de fluxo, a superfície do mar possuirá uma textura rugosa (regiões claras na imagem de radar) (Fig. A1.42). Como em um mesmo dia podemos ter tanto marés vazantes (quando se estabelecem correntes de maré do continente para o mar aberto) quanto enchentes (quando se estabelecem correntes de maré do mar aberto para o continente), as imagens adquiridas em cada um destes períodos apresentarão valores de intensidade reversos, modulados pela rugosidade resultante da superfície do mar. As condições ideais para se observar a influência da fisiografia do fundo nas imagens SAR estão listadas abaixo:

- (A) – Quando o eixo principal da barra de maré é perpendicular à direção de corrente (McLeish *et al. in* Mouchot & Garello, 1998);
- (B) – Quando a profundidade da lâmina d’água é menor que 40 metros (McLeish *et al. in* Mouchot & Garello, 1998);
- (C) – Quando a velocidade de corrente é da ordem de 0,40 m/s ou mais, dependendo da profundidade da feição no fundo do mar (Shuchman *et al. in* Mouchot & Garello, 1998);
- (D) – Quando os ventos não são muito fortes, de modo a permitir que a interação entre a fisiografia de fundo e as correntes seja o principal mecanismo indutor de mudanças na rugosidade da superfície do mar (Shuchman *et al. in* Mouchot & Garello, 1998). Para que esta condição seja atendida, a velocidade do vento deve ser menor que 7,5 m/s, dependendo, evidentemente, da intensidade da corrente e da topografia do fundo (Shuchman *et al. in* Mouchot & Garello, 1998).

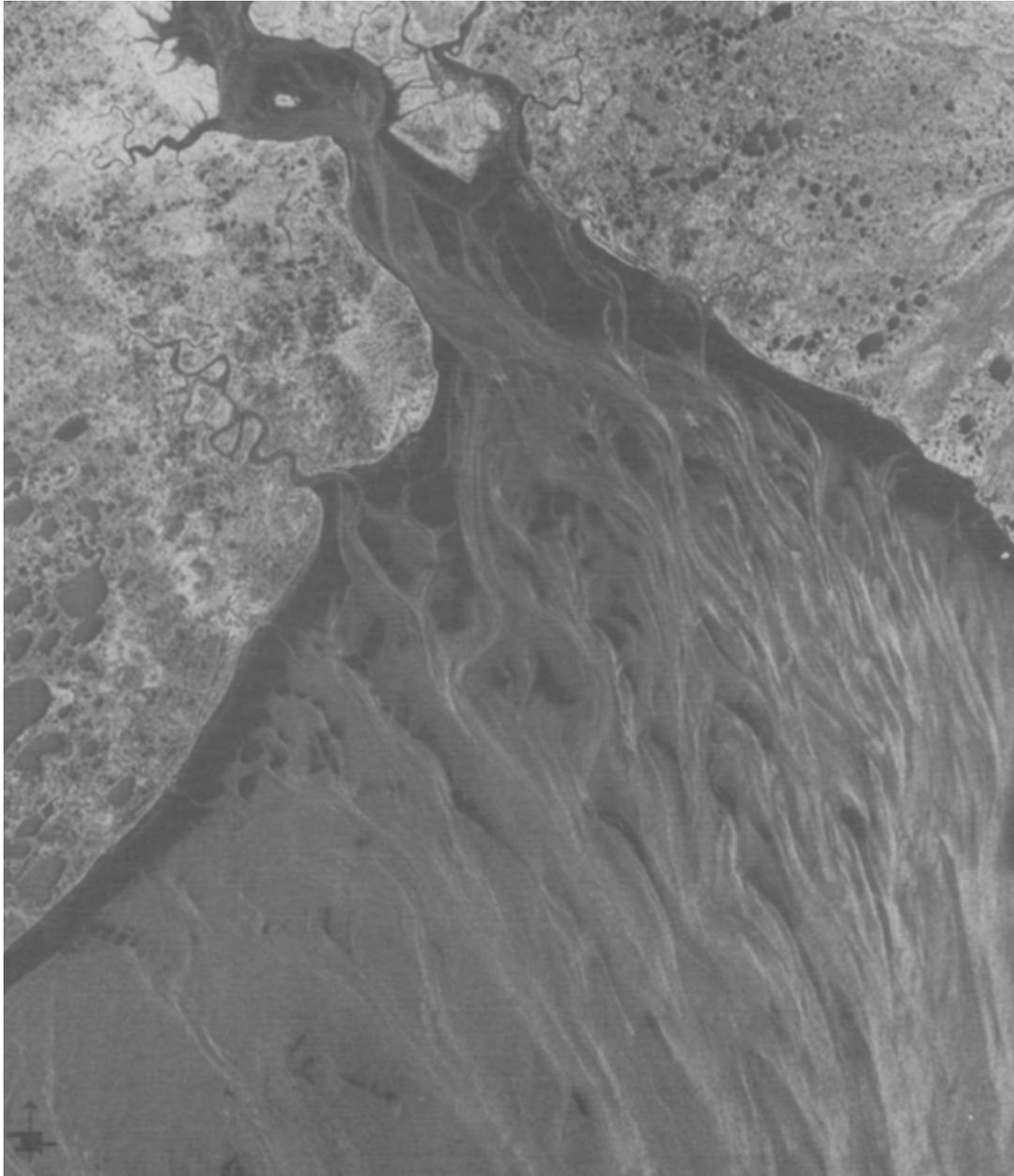


Figura A1.41 - Imagem SAR do satélite SEASAT adquirida sobre a desembocadura do Rio Kuskokwin, no Alaska, em 13 de julho de 1978. A imagem foi obtida durante o período de maior descarga fluvial provocado pelo derretimento da neve. As feições escuras (baixa rugosidade) na imagem estão associadas aos depósitos sedimentares, enquanto que as regiões mais claras (alta rugosidade) são canais que separam estes depósitos e que possuem profundidades entre 7 e 14 metros. O fluxo nesses canais torna a superfície do mar relativamente mais rugosa (cortesia do *Jet Propulsion Laboratory in Mouchot & Garelo, 1998*).

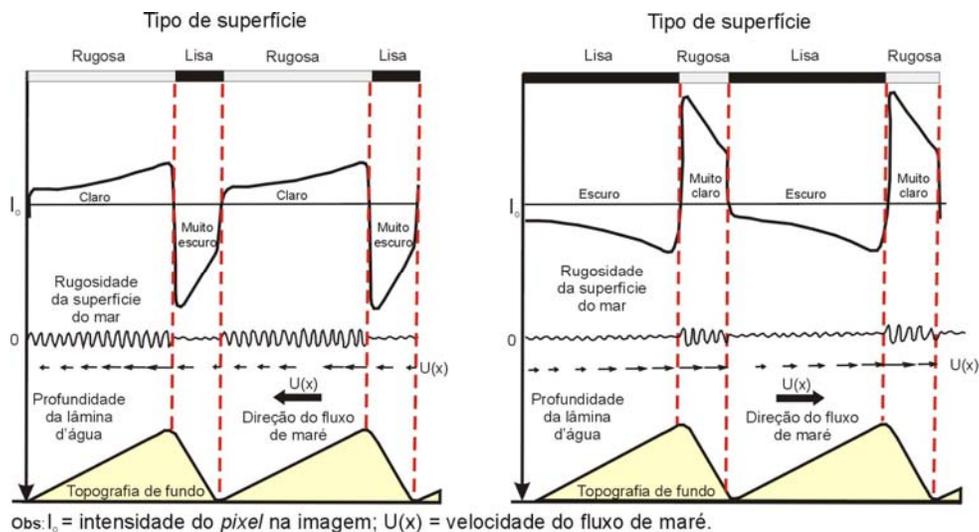


Figura A1.42 – Diagrama ilustrando a relação existente entre a topografia do fundo, variações na velocidade do fluxo de maré ( $U(x)$ ) e alterações na rugosidade da superfície do mar. Em regiões onde a velocidade de fluxo de maré ( $U(x)$ ) é alta, a superfície do mar apresenta uma rugosidade maior, enquanto que, em regiões onde a velocidade do fluxo é baixa, a rugosidade da superfície do mar é menor (modificado de Alpers & Hennings *in* Mouchot & Garello, 1998).

### A1.2.2 – Utilização de dados meteorológicos e oceanográficos como suporte à interpretação de exsudações de óleo no mar

De modo a fornecer informações meteorológicas e oceanográficas o mais próximo possível do momento de aquisição da imagem de radar, foram obtidos dados multifontes disponíveis no mercado. Os produtos gerados a partir destes dados auxiliam na interpretação das imagens de radar, possibilitando a identificação de falsos alvos. Tais produtos incluem: mapas de intensidade do campo de vento, mapas de temperatura da superfície do mar, mapas de temperatura do topo de nuvens, mapas de concentração de clorofila-a e mapas da altura significativa de ondas.

#### A1.2.2.1 – Mapas de intensidade do campo de vento

Para auxiliar na identificação das áreas de baixo vento, são utilizados os dados do sensor SSM/I (*Special Sensor Microwave Imager*), a bordo dos satélites do programa DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*). O satélite DMSP F-8 foi o primeiro da série a transportar o sensor SSM/I, com lançamento em 19 de junho de 1987. O DMSP F-

8 encontra-se hoje fora de operação. Contudo, os outros satélites da série continuam captando informações em órbita ao redor do globo. O SSM/I é um sensor de microondas passivo, que possui 7 canais operando em 4 diferentes frequências, com polarização linear. Para as frequências de 19,35, 37,0 e 85,5 GHz, as medições podem ser feitas tanto com polarização vertical quanto horizontal; porém, para a frequência de 22,235 GHz, as medições são feitas apenas com polarização vertical. Assim, o SSM/I mede o retroespalhamento de microondas proveniente da superfície da terra. De acordo com Miranda *et al.* (2004), utiliza-se o algoritmo desenvolvido por Wentz (1989) para se determinar a velocidade do vento a uma altura de 10 metros acima da superfície do mar, usando, para isto, as frequências de 22,235 e 37,0 GHz verticalmente polarizadas, além da frequência de 37,0 GHz horizontalmente polarizada. Segundo estes autores, a resolução espacial para estas frequências é de 25 km. As informações a respeito da intensidade do campo de vento são, sem dúvida, de extrema importância para o estudo de detecção de exsudações de óleo no mar e devem ser obtidas o mais próximo possível do período de aquisição das imagens RADARSAT-1. Para Staples & Hodgins *in* Miranda *et al.* (2004), o intervalo ideal de velocidade do vento para a detecção de exsudações de óleo no oceano situa-se entre 3 e 8 m/s.

Caso as imagens do sensor SSM/I não estejam disponíveis e caso as imagens do satélite RADARSAT-1 sejam posteriores a junho de 1999, pode-se utilizar os dados obtidos pelo SeaWinds. O SeaWinds é um escaterômetro a bordo do satélite QuikSCAT, que foi lançado em junho de 1999. Este instrumento opera na faixa de microondas, com uma frequência de 13,4 GHz, e mede a velocidade e a direção do vento a 10 metros da superfície dos oceanos. Pelo fato de operar na faixa das microondas, o SeaWinds capta informação em qualquer condição climática e até mesmo na presença de nuvens. O sensor adquire dados em uma faixa de 1.800 km no terreno, cobrindo, com isto, 90% da superfície do planeta em um dia. O SeaWinds mede a velocidade de vento no intervalo de 3 m/s até 20 m/s, com uma acurácia de 2 m/s na intensidade e de 20° na direção. A resolução no vetor de vento é de 25 km. Deve-se privilegiar a utilização dos dados obtidos pelo SeaWinds às informações captadas pelo sensor SSM/I, uma vez que o primeiro fornece informações sobre a intensidade e a direção do campo de vento. Como no presente trabalho somente foram empregadas imagens RADARSAT-1 anteriores ao ano de lançamento do satélite QuikSCAT, os dados do escaterômetro SeaWinds não foram aqui considerados.

A Figura A1.43 apresenta uma imagem *ScanSAR Narrow 1* (SCN1 – órbita ascendente) do satélite RADARSAT-1, adquirida às 00:06:58 horas (*Coordinated Universal Time* – UTC) do dia 27 de janeiro de 2004. Nas porções central e noroeste da imagem, ocorre uma região de baixo retorno do pulso do radar associada a condições de ventos baixos, os quais atenuam a formação das ondas *Bragg*. Esta região de baixo retorno presente na imagem SAR também pode ser observada no mapa da intensidade do campo de vento, obtido a partir do sensor SeaWinds (Fig. A1.44). Os dados do sensor SeaWinds foram adquiridos às 00:00:00 horas (UTC) do dia 27 de janeiro de 2004, portanto 6 minutos e 58 segundos antes da imagem SAR.

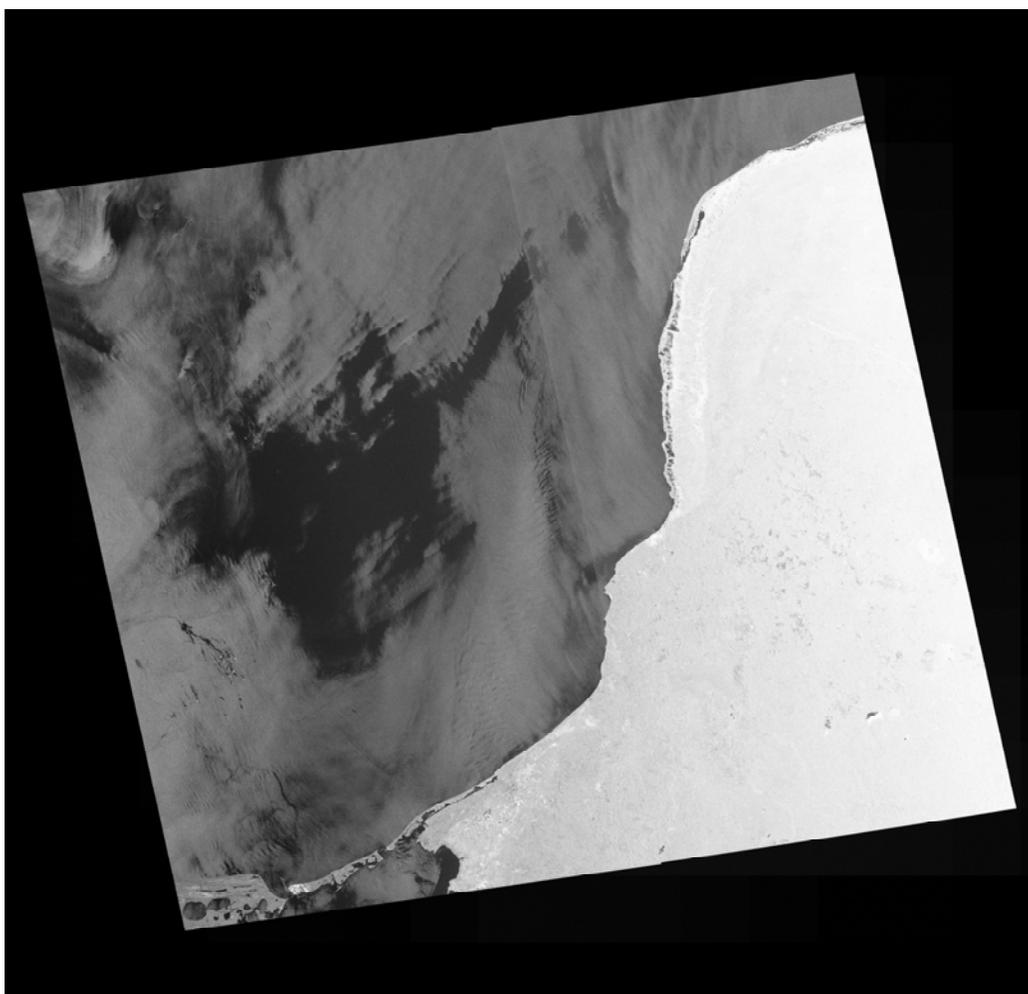


Figura A1.43 - Imagem do satélite RADARSAT-1 no modo *ScanSAR Narrow 1* (SCN1 - órbita ascendente), adquirida em 27 de janeiro de 2004, às 00:06:58 horas (UTC). Nas porções central e noroeste da imagem, pode-se observar uma área de baixo retorno que está associada a ventos de baixa intensidade.

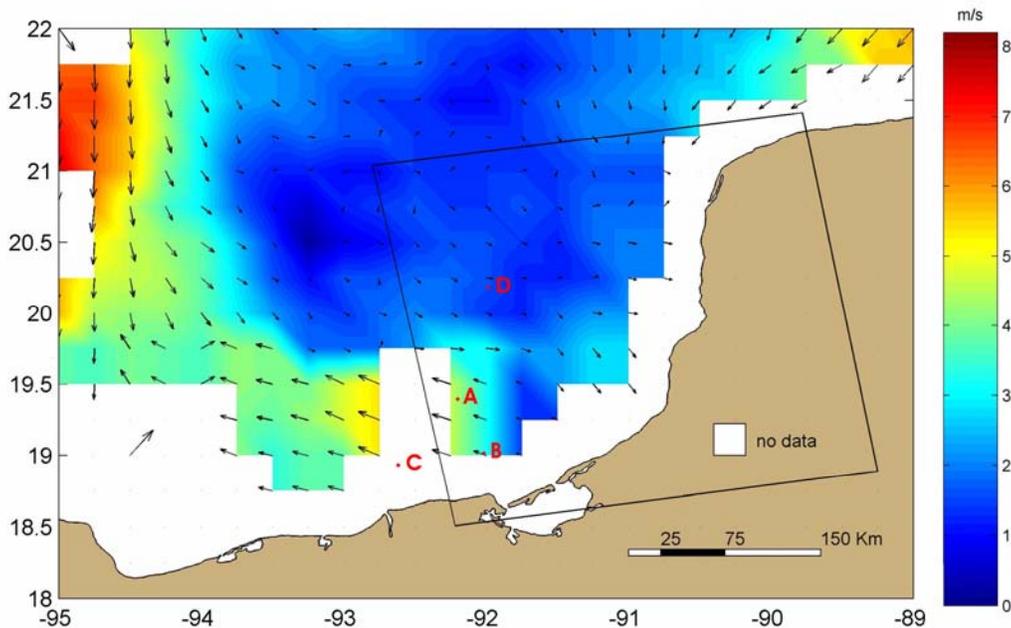


Figura A1.44 - Mapa de intensidade do campo de vento obtido pelo sensor SeaWinds, a bordo do satélite QuickSCAT, em 27 de janeiro de 2004, às 00:00:00 (UTC). A linha preta representa o *frame* da imagem SCN1 adquirida em 27 de janeiro 2004 (Fig. A1.43). Pode-se observar, nas porções central e noroeste do *frame*, uma área com ventos baixos (entre 1 e 3 m/s), que está afetando o espalhamento na imagem SAR. As letras A, B, C e D correspondem às estações meteorológicas e oceanográficas de IXTOC-A (3,4 m/s), ECO-1 (2,0 m/s), REBOMBEO (3,4 m/s) e CAYO ARCAS (3,4 m/s), respectivamente. Os valores da velocidade de vento para cada uma destas estações estão indicados entre os parênteses e mostram uma boa correlação com as informações obtidas com o sensor SeaWinds. As setas estão indicando direções calculadas do vento.

#### A1.2.2.2 – Mapas de temperatura da superfície do mar (TSM)

As informações usadas para a construção dos mapas de TSM foram obtidas a partir do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), a bordo dos satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). O primeiro AVHRR possuía um radiômetro de quatro canais e estava a bordo do primeiro satélite da série, lançado em 1978, que recebeu o nome de TIROS-N. Posteriormente, o sensor AVHRR a bordo de outros satélites da série (NOAA-7 a 17) sofreu o acréscimo de mais um canal. A banda 1 do AVHRR corresponde à faixa do visível, as bandas 2 e 3A à faixa do infravermelho refletido e as bandas 3B, 4 e 5 englobam a região do infravermelho

termal. A resolução espacial de cada uma das cinco bandas é de 1,1 x 1,1 km no nadir. O sensor mede a quantidade de radiação emitida pela superfície dos oceanos, o que permite o cálculo de sua temperatura usando a região do infravermelho termal. De acordo com Miranda *et al.* (2004), além dos mapas de TSM fornecerem informações de temperatura, eles dão ao intérprete uma visão sinóptica de importantes feições oceânicas como, por exemplo, zonas de ressurgência, frentes oceânicas, meandros, vórtices e padrões de correntes. Segundo tais autores, os dados do AVHRR utilizados para a confecção dos mapas de TSM podem ser obtidos a qualquer hora do dia da aquisição das imagens RADARSAT-1, visto que as temperaturas da superfície do mar são estáveis por 24 horas. De modo a auxiliar na interpretação das exsudações de óleo identificadas nas imagens de radar, deve-se realizar um cotejamento com os mapas de TSM, descartando, com isto, falsos alvos produzidos por regiões na superfície do mar que apresentem temperaturas suficientemente baixas para propiciar o amortecimento das ondas *Bragg* (e.g. zonas de ressurgência). Caso as imagens obtidas pelo sensor AVHRR não estejam disponíveis no momento da aquisição dos dados RADARSAT-1, podem ser utilizados os dados do sensor MODIS captados no infravermelho termal, que possuem resolução espacial de 1 km no nadir. Porém, os dados do sensor MODIS só estão disponíveis a partir de dezembro de 1999 (data de lançamento do satélite TERRA), impossibilitando, deste modo, sua comparação com as imagens RADARSAT-1 anteriores a esta data.

Com o objetivo de correlacionar feições oceânicas de mesoescala observadas em uma imagem *SCN1* (com órbita ascendente) (Fig. A1.45), obtida sobre a região da Baía de Campos às 07:58 p.m. (hora local) do dia 28 de dezembro de 1997, Beisl *et al.* (2000) utilizaram um mapa de TSM (Fig. A1.47) confeccionado a partir de imagens do sensor AVHRR/NOAA-12. Tais dados foram obtidos 56 minutos antes (07:02 p.m.) da aquisição da imagem SAR. Ao analisarem o mapa de TSM, os citados autores concluíram que variações no gradiente termal ocasionavam mudanças na rugosidade da superfície do mar observadas na imagem SAR. Assim, na região da Corrente do Brasil, a temperatura da superfície do mar era de 25°-28°C (rugosidade alta), enquanto que as águas de plataforma apresentavam temperaturas entre 23°C to 24°C (rugosidade intermediária). Na zona de ressurgência do Cabo de São Tomé, as temperaturas eram mais baixas (20°C to 22°C), propiciando, desta forma, um baixo retorno do pulso do radar devido a uma menor rugosidade da superfície do mar. Estes limites são mais nítidos quando se observa a

imagem RADARSAT-1 classificada empregando o método USTC (*Unsupervised Semivariogram Textural Classifier*) (Fig. A1.46).

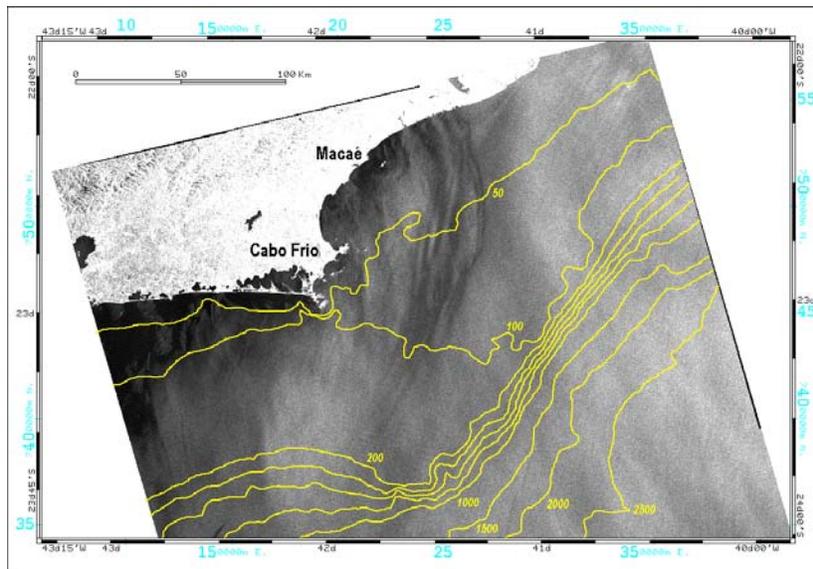


Figura A1.45 - Imagem do satélite RADARSAT-1 no modo SCN1 obtida sobre a região da Bacia de Campos. As linhas amarelas (isóbatas) indicam a profundidade da lâmina d'água em metros (Beisl *et al.*, 2000). Os dados foram adquiridos no dia 28 de dezembro de 1997, às 07:58 p.m. (hora local).

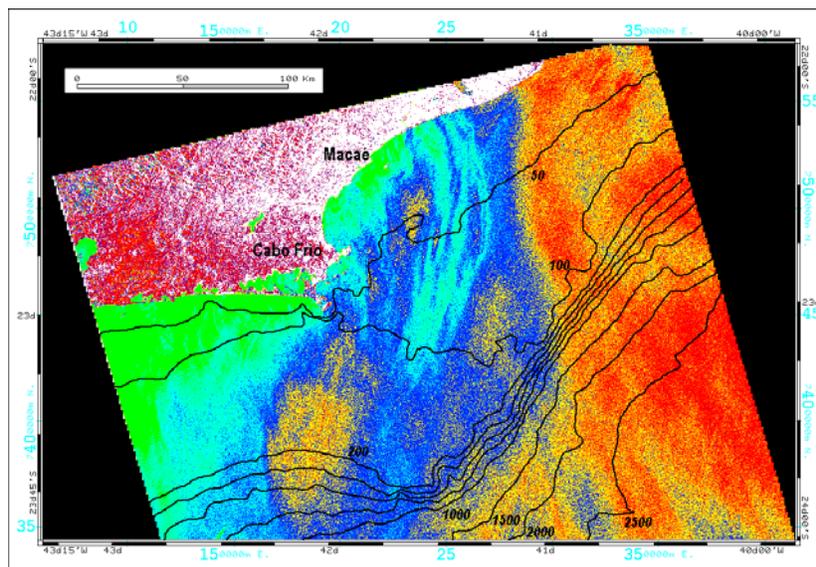


Figura A1.46 - Imagem do satélite RADARSAT-1 no modo SCN1 classificada empregando o método USTC. As linhas pretas (isóbatas) indicam a profundidade da lamina d'água em metros (Beisl *et al.*, 2000).

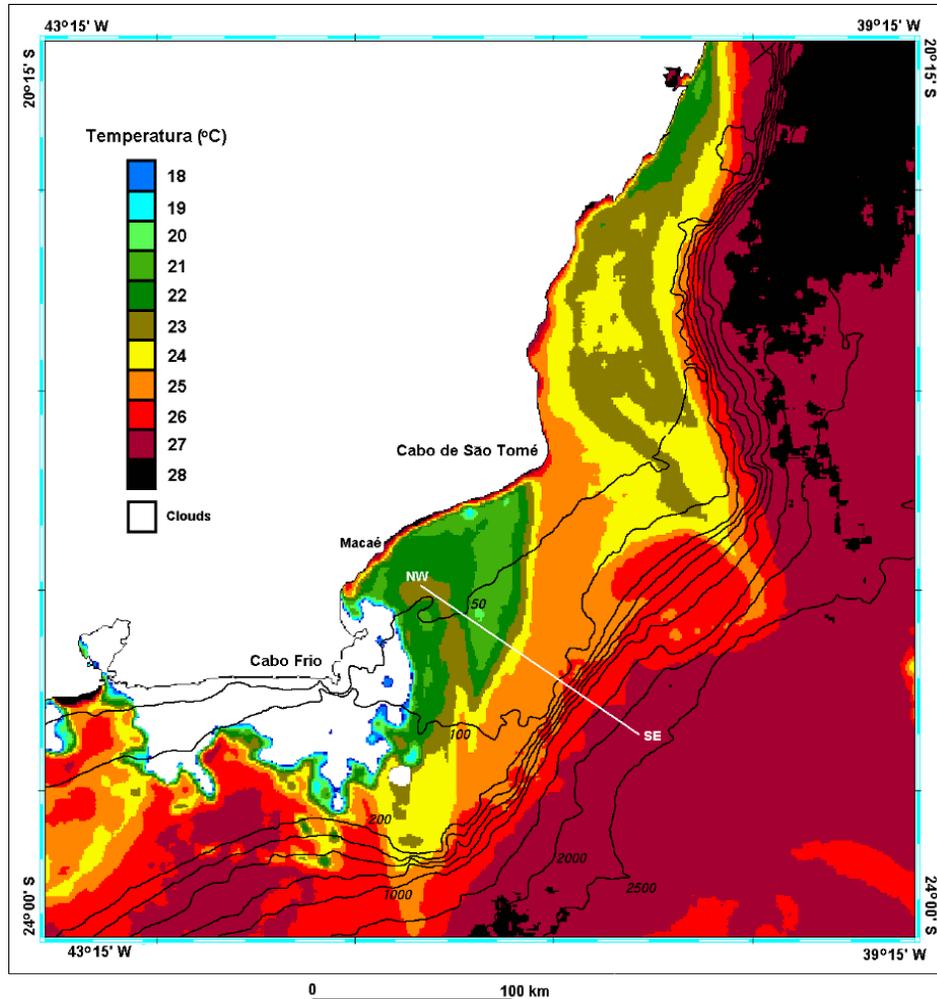


Figura A1.47 - Mapa da temperatura da superfície do mar obtido a partir de imagens do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12 (Beisl *et al.*, 2000). As linhas pretas (isóbatas) indicam a profundidade da lâmina d'água em metros. Os dados foram adquiridos no dia 28 de dezembro de 1997, às 07:02 p.m. (hora local).

#### A1.2.2.3 – Mapas de temperatura do topo de nuvens (TTN)

As imagens do sensor AVHRR também são úteis para a confecção dos mapas de TTN, empregando, para isto, os dados adquiridos na faixa do espectro do infravermelho termal comentados anteriormente. Os mapas de TTN são utilizados para se identificar os locais onde as células de chuva, que se desenvolvem em formações do tipo *Cumulus Nimbus*, estão presentes (Miranda *et al.*, 2004). A temperatura no topo destas nuvens muito elevadas é extremamente baixa, podendo ser menor que  $-40^{\circ}\text{C}$  (Miranda *et al.*,

2004). Assim, áreas no mapa de TTN com temperaturas menores ou iguais a  $-40^{\circ}\text{C}$  são sítios potenciais de chuvas muito intensas, que podem causar o amortecimento das ondas *Bragg*. Tal efeito propicia, assim, um baixo retroespalhamento do pulso do radar (Figs. A1.48 e A1.49). As imagens usadas para gerar os mapas de TTN devem ser obtidas o mais próximo possível da aquisição das imagens RADARSAT-1.

Caso os dados obtidos pelo o sensor AVHRR não estejam disponíveis no momento em que as imagens RADARSAT-1 foram adquiridas, pode-se utilizar o sensor *Imager*, a bordo dos satélites da série GOES (*Geostationary Operational Enviromental Satellite*). Tais satélites são geoestacionários e se posicionam a uma altitude de aproximadamente 35.800 km. A grande vantagem do GOES em relação aos outros satélites é a sua alta resolução temporal, o que permite a obtenção de imagens da mesma área na superfície da Terra a cada 30 minutos. O sensor *Imager* a bordo deste satélite inclui 5 bandas espectrais. A banda 1 possui resolução espacial de 1 km no nadir e está posicionada na faixa do visível. As outras 4 bandas correspondem à faixa do infravermelho termal, com resolução espacial de 4 km no nadir. Tais bandas são utilizadas para gerar os mapas de TTN. A grande desvantagem do *Imager* em relação ao AVHRR é a menor resolução espacial (4 km no nadir).

A Figura A1.48 apresenta uma imagem *ScanSAR Narrow 1* (*SCN1* – órbita ascendente), adquirida às 00:11:58 horas (*Coordinated Universal Time* – UTC) do dia 06 de julho de 2004. No canto direito da imagem SAR, ocorre uma área com grande variação de rugosidade na superfície do mar, que está associada à presença de uma célula de chuva. Ao se observar o mapa de TTN confeccionado a partir dos dados do sensor AVHRR (NOAA-15), nota-se a presença de uma célula de chuva de grandes dimensões (Fig. A1.49). A imagem AVHRR foi obtida 19 minutos e 58 segundos após a aquisição da imagem SAR (05 de julho 2004, às 23:52:00 horas (UTC)).

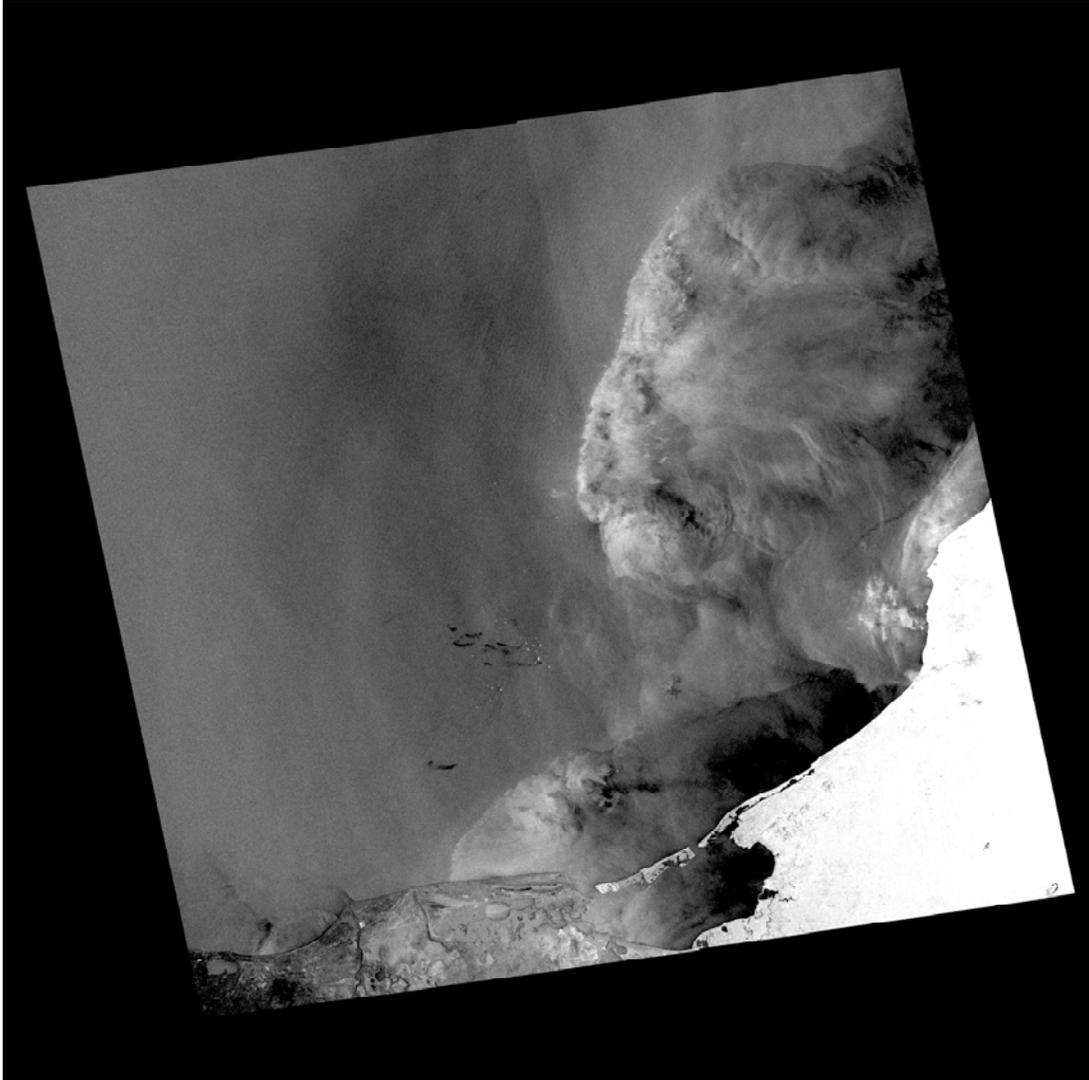


Figura A1.48 - Imagem do satélite RADARSAT-1 no modo *SCN1* (órbita ascendente), adquirida no Golfo do México em 06 de julho de 2004, às 00:11:58 horas (UTC). Na porção leste da imagem, pode-se observar uma grande variação na rugosidade da superfície do mar associada à presença de uma célula de chuva de grandes dimensões.

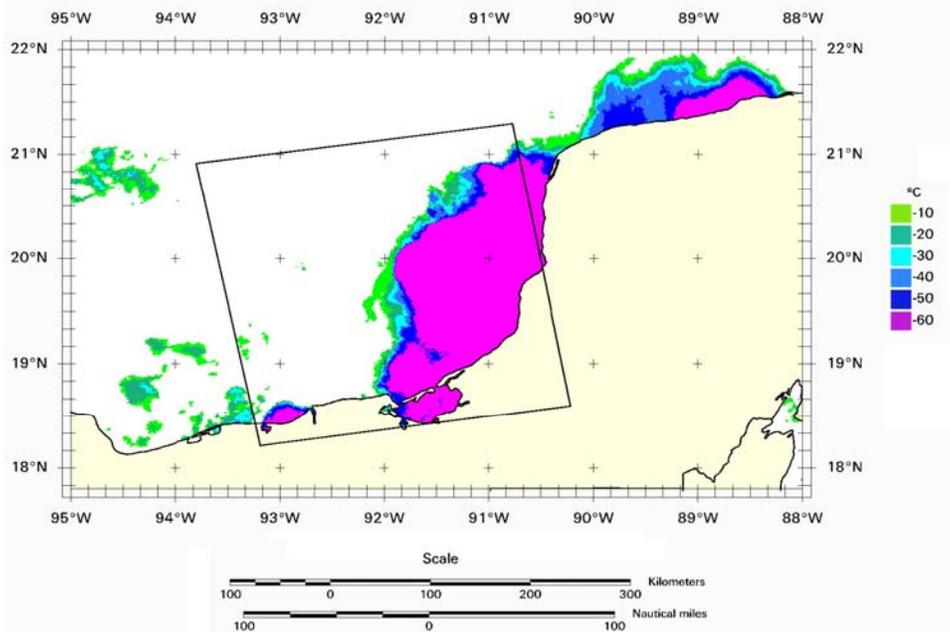


Figura A1.49 - Mapa de TTN obtido a partir de uma imagem do sensor AVHRR, a bordo do satélite NOAA-15. A imagem utilizada para a confecção deste mapa foi adquirida em 05 de julho de 2004, às 23:52:00 horas (UTC). Uma ampla área no mapa apresenta temperatura de  $-60^{\circ}\text{C}$  e está associada à presença de uma célula de chuva de grandes dimensões, que está afetando as características de espalhamento na imagem SAR. Em preto está representado o *frame* da imagem SCN1 adquirida em 06 de julho de 2004, às 00:11:07 horas (UTC).

#### A1.2.2.4 – Mapas de concentração de clorofila-a

Para criar os mapas de concentração de clorofila-a, são utilizados os dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo dos satélites TERRA (lançado em dezembro de 1999) e AQUA (lançado em maio de 2002). O sensor MODIS possui 36 bandas, com resolução radiométrica de 12 *bits* e resolução espacial em nadir de 250 metros (bandas 1 e 2), 500 metros (bandas de 3 a 7) e 1000 metros bandas (8 a 36). Para a confecção dos mapas de concentração de clorofila-a, podem ser empregadas as bandas 8 a 16, que se encontram na faixa de 405-877 nanômetros (1 nanômetro =  $10^{-9}$  metros). Regiões na superfície do mar com altas concentrações de algas ou de material fito-planctônico absorvem muito mais a energia eletromagnética nesta faixa do espectro permitindo, com isto, relacionar a reflectividade da superfície do mar à concentração de clorofila-a. Desta forma, tais mapas são utilizados com objetivo de

se identificar regiões na superfície do mar com alta concentração destes materiais, os quais causam o amortecimento das ondas *Bragg* (Figs. A1.50 e A1.51). Os dados usados para a confecção destes mapas devem ser adquiridos o mais próximo possível do período de aquisição das imagens RADARSAT-1. Como neste trabalho as imagens RADARSAT-1 são anteriores ao ano de lançamento dos satélites TERRA e AQUA estes mapas não foram utilizados no estudo.

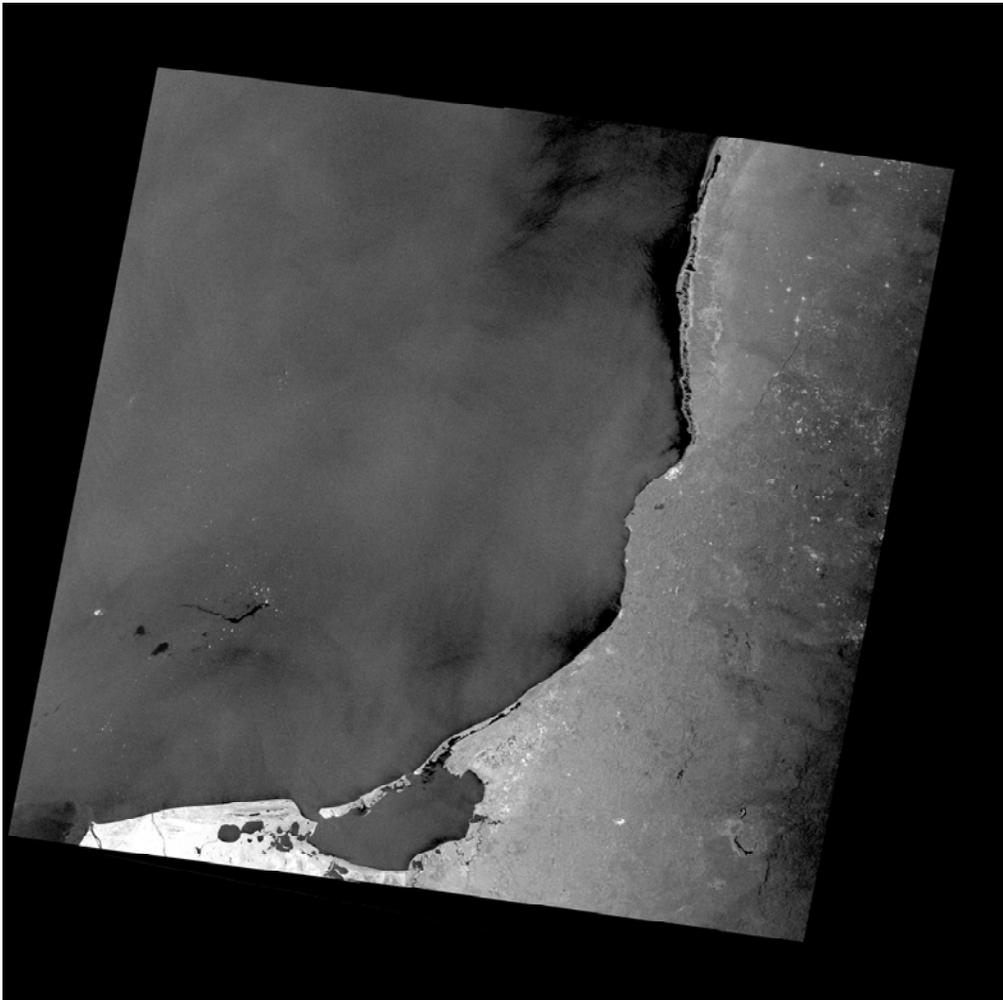


Figura A1.50 - Imagem do satélite RADARSAT-1 no modo SCN1 (órbita descendente), adquirida em 14 de julho de 2004, às 12:02:19 horas (UTC). Na porção nordeste da imagem, ocorre uma área de baixo retorno de radar que pode estar associada a concentrações elevadas de clorofila-a. No local também existe uma região de baixo retorno de radar que pode estar associada a ventos baixos.

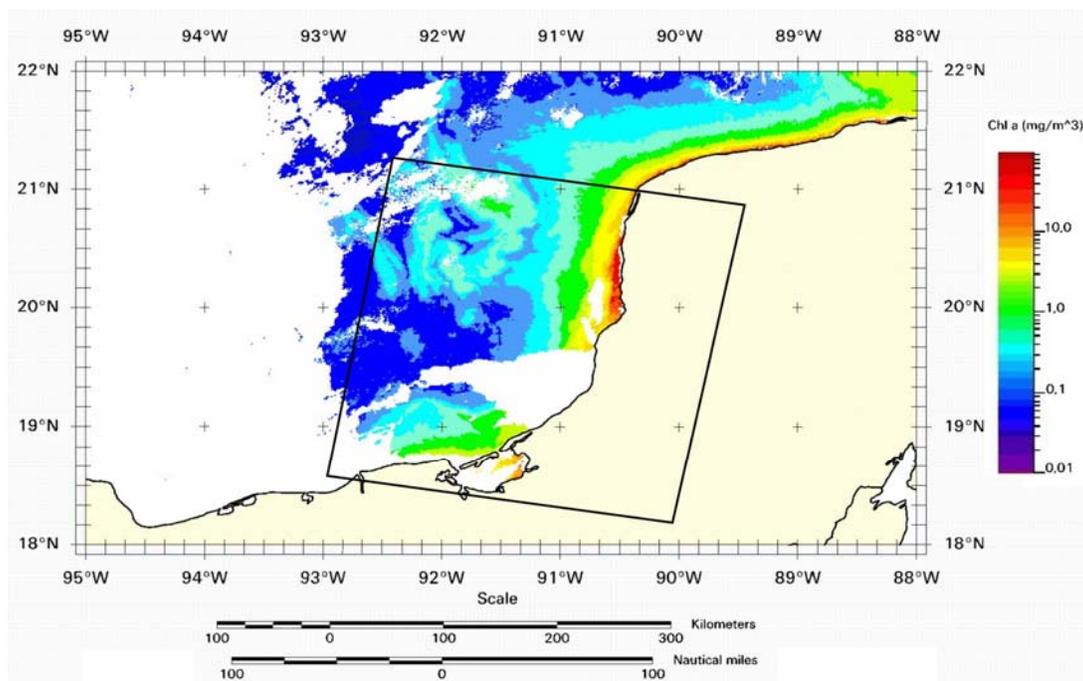


Figura A1.51 - Mapa da concentração de clorofila-a, confeccionado a partir do processamento de uma imagem do satélite MODIS/AQUA, obtida em 14 de julho de 2004, às 19:30:00 horas (UTC). Em preto, está representado o *frame* da imagem SCN1 adquirida em 14 de julho de 2004, às 12:02:19 horas (UTC). A concentração de clorofila-a nas porções livres de nuvens dentro da área do *frame* varia de 0,04 mg/m<sup>3</sup> (*offshore*) a 11,0 mg/m<sup>3</sup> (próximo ao litoral). Áreas com alta concentração de clorofila-a podem estar afetando as características de espalhamento da imagem SAR na região próxima à costa (porção nordeste da imagem).

#### A1.2.2.5 – Mapas de altura significativa de ondas

Medidas da altura significativa de ondas podem ser obtidas com o auxílio de um altímetro a bordo do satélite TOPEX-POSEIDON, lançado em 1992. Este instrumento envia um pulso de radar com frequência de 13,5 GHz para a superfície do mar, o qual é retroespalhado para a antena (Miranda *et al.*, 2004). A largura da faixa de coleta de dados é de 315 km e a precisão nas medidas é de 5 cm. O estado de mar ideal para a detecção de exsudações de óleo é caracterizado por ondas com alturas menores que 1,5 metros (Miranda *et al.*, 2004). Nessa situação, considera-se que o valor do ângulo de incidência do pulso de radar não sofre variações locais na superfície do oceano. No presente trabalho, os dados do satélite TOPEX-POSEIDON não foram utilizados.

Na Figura A1.52 pode-se observar uma imagem *ScanSAR Narrow 2* (SCN2 – órbita ascendente) do satélite RADARSAT-1, adquirida sobre a região da Baía de Campeche (Golfo do México, porção mexicana) em 13 de março de 2005, às 00:19:23 horas (UTC). Na porção central da imagem, ocorrem feições de baixo retorno do pulso do radar interpretadas como variações locais do ângulo de incidência na superfície do oceano. Tais variações foram geradas pela interação entre o pulso do radar e os fortes gradientes observados no mapa de altura significativa de ondas apresentado na Figura A1.53. Nesta figura a altura significativa de ondas para a região abrangida pelo *frame* da imagem SCN2 está entre 0,6 e 2,3 metros. É interessante notar que a direção de visada do satélite RADARSAT-1 está com alto ângulo em relação ao forte gradiente observado na Figura A1.53, acarretando, com isto, em um maior contraste das feições presentes na imagem SAR (Fig. A1.52).

#### A1.2.3 – Exemplos da utilização de imagens RADARSAT-1 na detecção de exsudações de óleo

De acordo com Miranda *et al.* (2004), as atividades exploratórias na porção mexicana do Golfo do México começaram logo após um pescador de nome Cantarell reportar a existência de exsudações de óleo na Baía de Campeche. Posteriormente, o complexo de campos de petróleo descobertos abaixo desta exsudação recebeu seu nome (Miranda *et al.*, 2004). A produção de óleo no campo de Cantarell é da ordem de 1,9 milhões de barris por dia, enquanto que a produção de gás atinge 709 milhões de pés cúbicos por dia (Miranda *et al.*, 2004). Segundo estes autores, a exsudação de Cantarell (Figs. A1.54 e A1.55) ocorre em águas rasas, em uma região de tectônica salina. O petróleo gerado nesta área é proveniente principalmente de rochas geradoras do Jurássico Superior (Titoniano). As falhas e os corpos salinos (*e.g.* domos) penetram os sedimentos depositados acima das rochas geradoras, criando, com isto, rotas de migração desde as geradoras e/ou reservatórios até o fundo do mar (Miranda *et al.*, 2004). Como nesta região a atividade pesqueira é intensa e o ecossistema é delicado, o entendimento da dinâmica temporal e da distribuição espacial das exsudações de óleo é de extrema importância para a adoção de práticas apropriadas de gerenciamento ambiental. Por essa razão, a Pemex Exploração e Produção (PEP) utilizou o sensoriamento remoto por radar para caracterizar tais feições no complexo de Cantarell (Miranda *et al.*, 2004). Assim, no ano de 2000, foram adquiridas 12 (doze) imagens

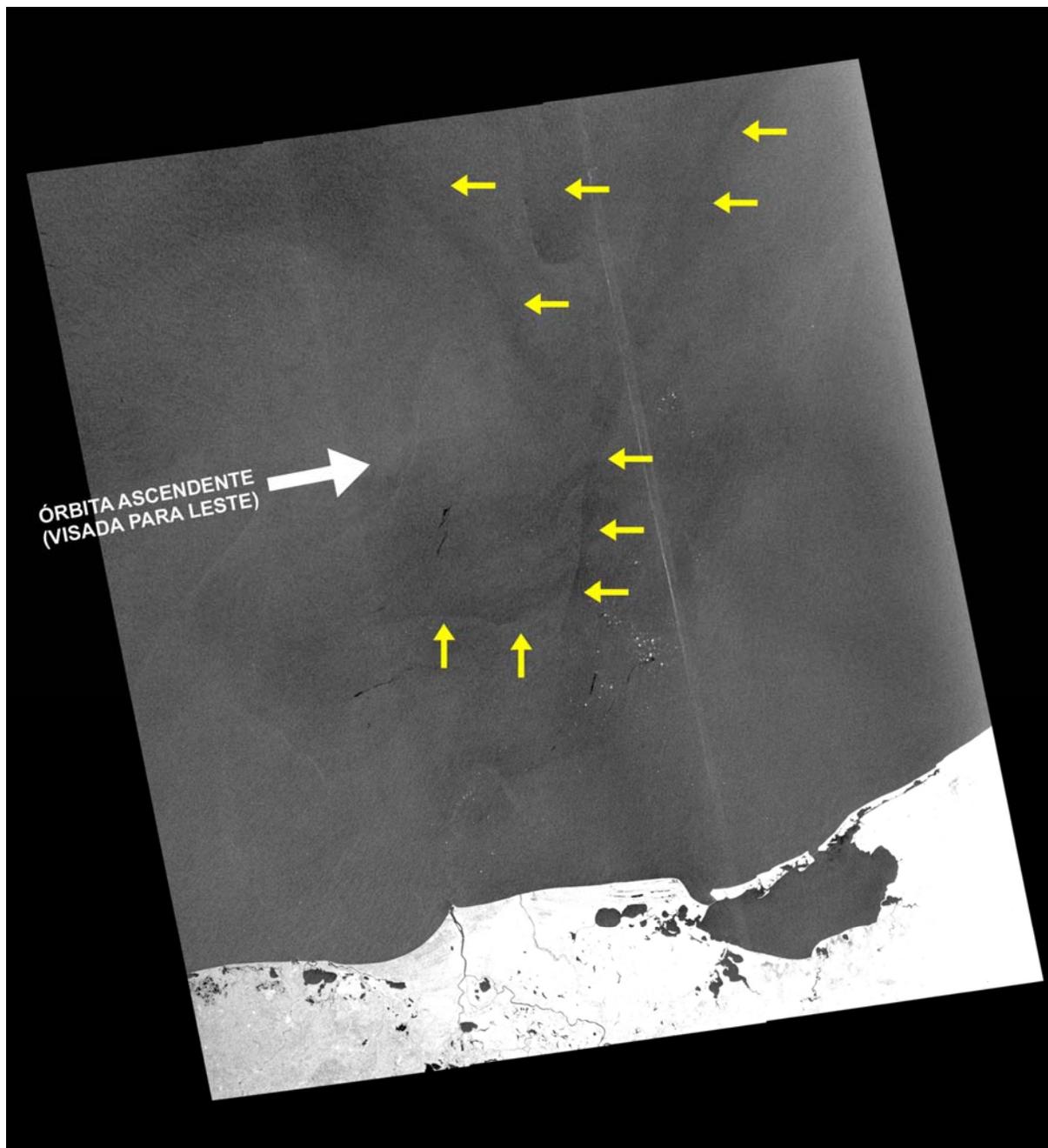


Figura A1.52 - Imagem do satélite RADARSAT-1 no modo SCN2 (órbita ascendente), adquirida sobre a região da Baía de Campeche (Golfo do México, porção mexicana) em 13 de março de 2005, às 00:19:23 horas (UTC). Na porção central da imagem, ocorrem feições de baixo retorno do pulso do radar interpretadas como variações locais do ângulo de incidência na superfície do oceano. As setas amarelas indicam as feições de baixo retorno observados na imagem e que estão, em sua maior parte, com alto ângulo em relação à visada do satélite RADARSAT-1.

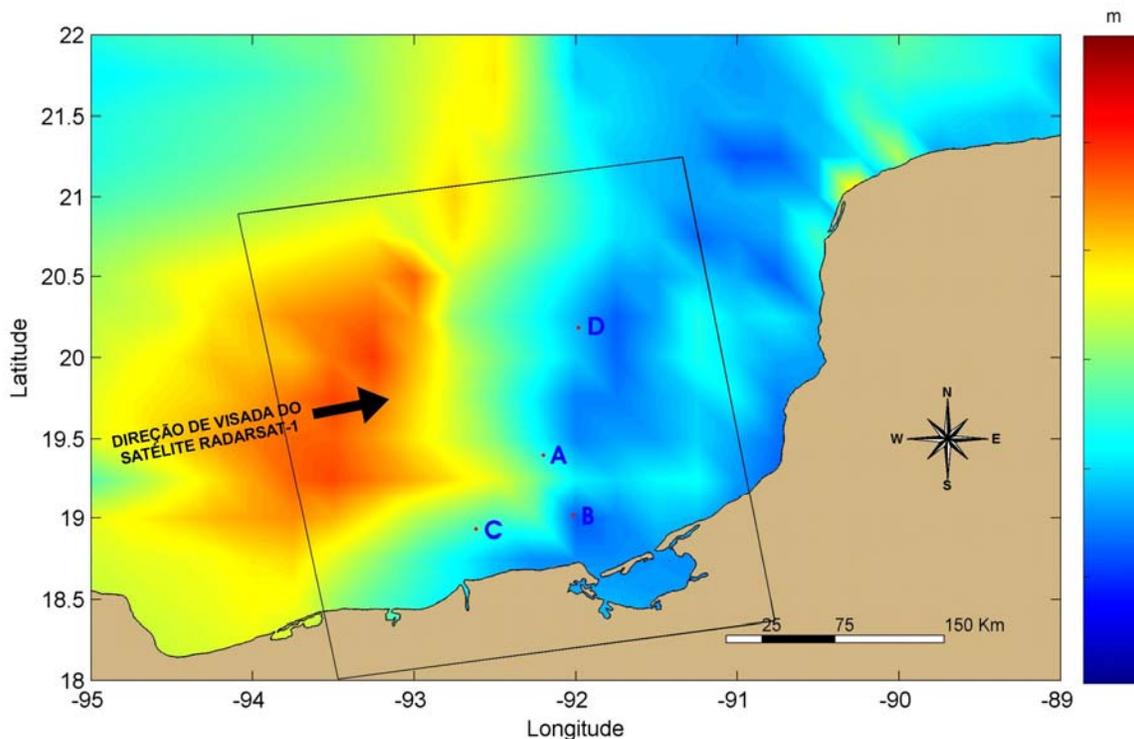


Figura A1.53 - Mapa da altura significativa de ondas, obtido pelo altímetro a bordo do satélite TOPEX-POSEIDON, em 13 de março de 2005 (UTC). Em preto pode ser observado o *frame* da imagem SCN2 adquirida em 13 de março 2005, às 00:19:23 (UTC). As letras A, B, C e D corresponde às estações meteorológicas e oceanográficas de IXTOC-A (0,9 e 1,2 metros), ECO-1 (0,6 e 0,9 metros), REBOMBEO (0,9 to 1,2 m) e CAYO ARCAS (0,3 to 0,6 m), respectivamente. Os valores da altura significativa de onda para cada uma destas estações estão indicados entre os parênteses e mostram uma boa correlação com as informações obtidas pelo satélite TOPEX-POSEIDON. O forte gradiente observado neste mapa pode estar afetando as características de espalhamento da imagem RADARSAT-1 apresentada na Figura A1.52.

RADARSAT-1 no modo *W1*, onde a exsudação de Cantarell estava ativa em 9 (nove) delas (Fig. A1.56). Em 2001, foram obtidas 20 (vinte) imagens RADARSAT-1 nos modos *SCN1*, *W1* e *W2*, onde a exsudação de Cantarell aparecia em 19 (dezenove) delas (Fig. A1.57). Após a seleção das imagens RADARSAT-1, foi realizado o processamento digital das imagens contendo a exsudação de Cantarell, utilizando, para isto, o método USTC (*Unsupervised Semivariogram Textural Classifier*) (Miranda *et al.*, 2004). Com este experimento, estes autores puderam demonstrar a capacidade do satélite RADARSAT-1 em detectar remotamente exsudações de óleo indicativas de sistemas petrolíferos ativos no Golfo do México (Miranda *et al.*, 2004).

Em outro trabalho, Miranda *et al.* (2001) empregaram imagens RADARSAT-1 para identificar a presença de exsudações de óleo nas bacias da Foz do Amazonas e de Santos. Na Foz do Amazonas, foram utilizadas duas imagens RADARSAT-1 (uma no modo *SCN1* e a outra no modo *W1*). Os citados autores efetuaram a classificação através do método USTC, com objetivo de definir manchas de óleo relacionadas às exsudações. Após o processamento das imagens RADARSAT-1, foi realizada a integração dos dados de sensoriamento remoto com informações geológicas, o que permitiu verificar que grande parte das exsudações identificadas no domínio extensional estava relacionada a falhas lítricas normais (Fig. A1.58). Apenas uma exsudação estava vinculada a falhas de empurrão e de transcorrência presentes no domínio compressional em águas profundas (Fig. A1.59). Na Bacia de Santos, Miranda *et al.* (2001) usaram uma imagem do modo *W1* para identificar as manchas de óleo. Após o processamento da imagem, utilizando o algoritmo USTC, as informações de sensoriamento remoto foram integradas com dados de sísmica de reflexão e com resultados de modelagem termo-mecânica e geoquímica. Os citados autores chegaram à conclusão que as exsudações de óleo podem ocorrer em águas rasas devido à migração lateral do petróleo a longas distâncias, através de um sistema de camadas carreadoras (*carrier bed system*) que sub-aflora ao longo da linha de charneira do Aptiano (Fig. A1.61). Além disso, exsudações de óleo ocorrem por migração vertical em áreas onde os diápiros de sal estão presentes (Fig. A1.60). Neste último caso, a migração vertical acontece ao longo dos flancos falhados dos diápiros até o fundo do mar.

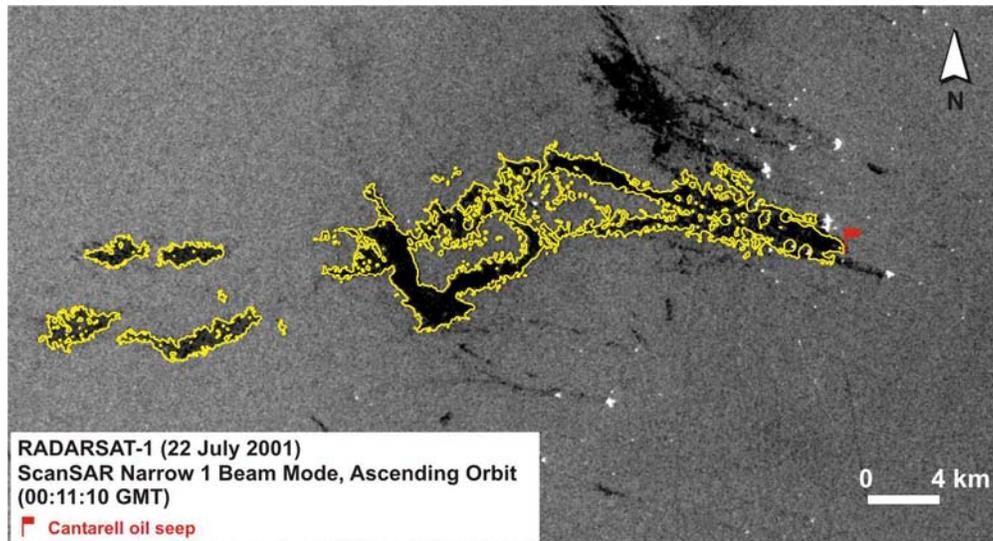


Figura A1.54 - Detalhe de uma imagem do satélite RADARSAT-1 no modo *SCN1* (órbita ascendente), adquirida em 22 de julho de 2001, às 00:11:10 horas (UTC), mostrando a exsudação de Cantarell (destacada em amarelo). Derramamentos de óleo oriundos de plataformas de produção também podem ser identificados na imagem (Miranda *et al.*, 2004).

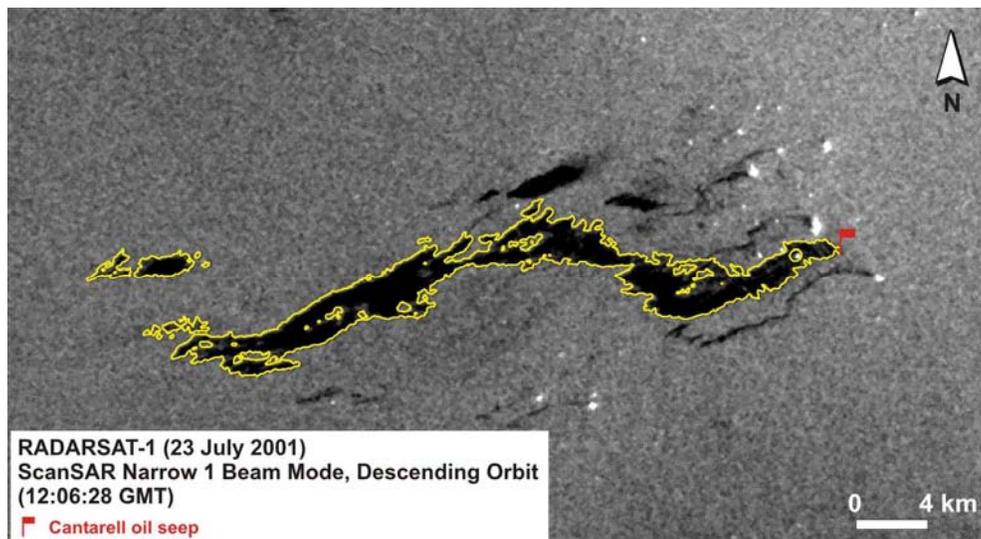


Figura A1.55 - Detalhe de uma imagem do satélite RADARSAT-1 no modo *SCN1* (órbita descendente), adquirida em 23 de julho de 2001, às 12:06:28 horas (UTC), mostrando a exsudação de Cantarell (destacada em amarelo). Derramamentos de óleo oriundos de plataformas de produção também podem ser identificados na imagem (Miranda *et al.*, 2004).

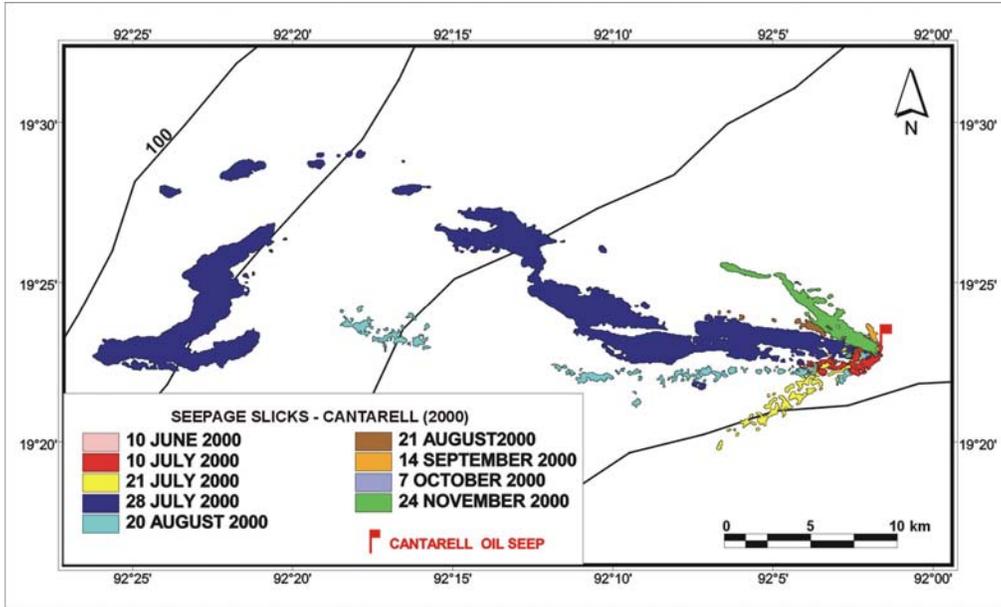


Figura A1.56 – Exsudação de Cantarell identificada em 9 (nove) imagens do satélite RADARSAT-1 no modo W1, adquiridas durante o ano de 2000 (Miranda *et al.*, 2004).

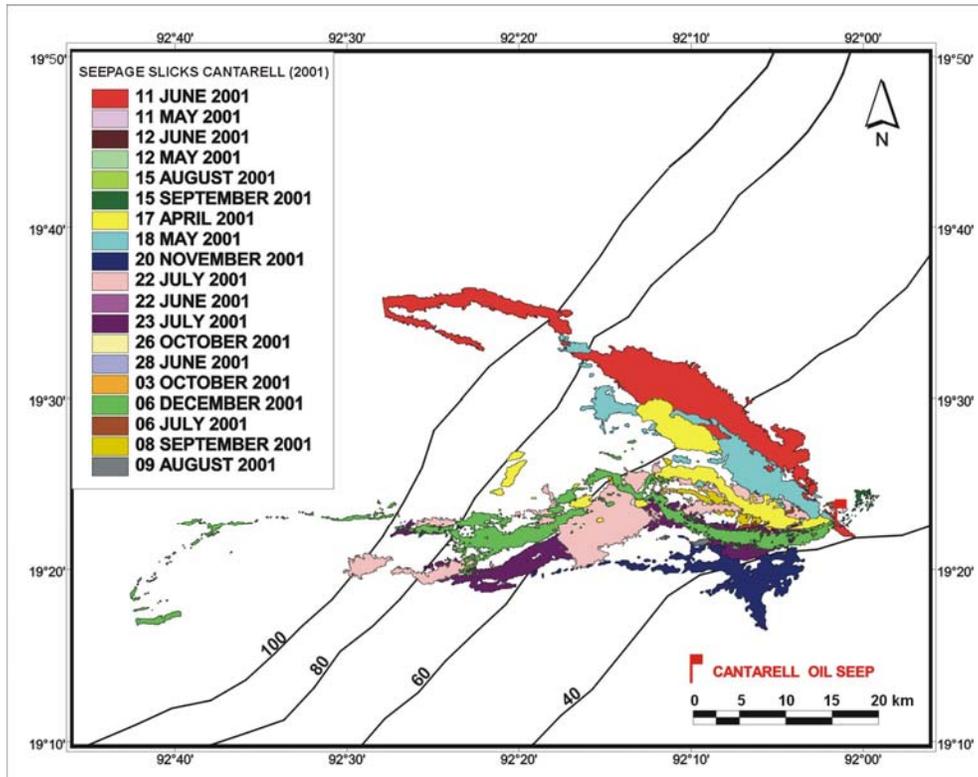


Figura A1.57 – Exsudação de Cantarell identificada em 19 (dezenove) imagens do satélite RADARSAT-1 nos modos SCN1, W1 e W2, adquiridas durante o ano de 2001 (Miranda *et al.*, 2004).

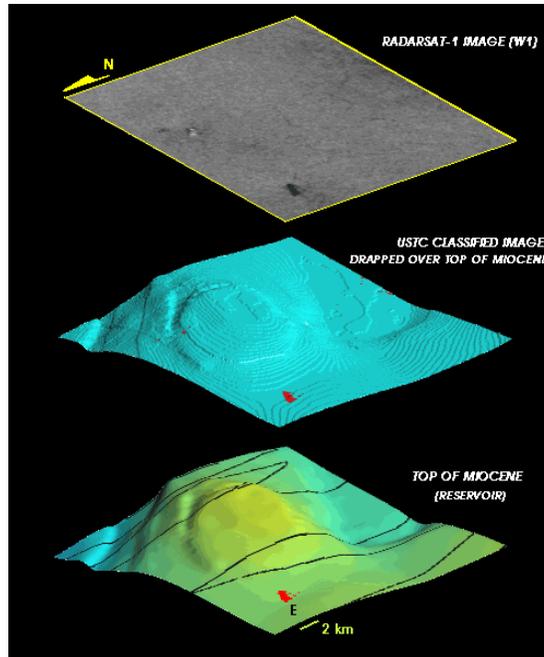


Figura A1.58 – Exsudação de óleo localizada no domínio extensional da Bacia da Foz do Amazonas. A imagem RADARSAT-1 utilizada foi adquirida no modo *W1* em 14 de agosto de 1996 (Miranda *et al.*, 2001).

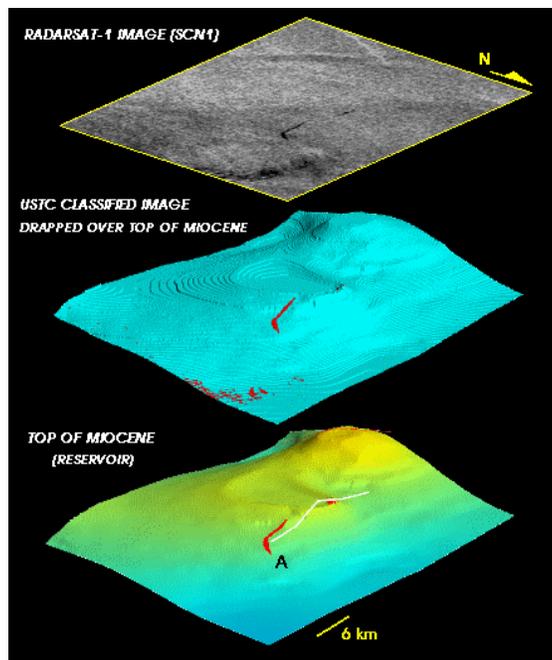


Figura A1.59 - Exsudação de óleo localizada no domínio compressional da Bacia da Foz do Amazonas. A imagem RADARSAT-1 utilizada foi adquirida no modo *SCN1* em 12 de maio de 1997 (Miranda *et al.*, 2001).

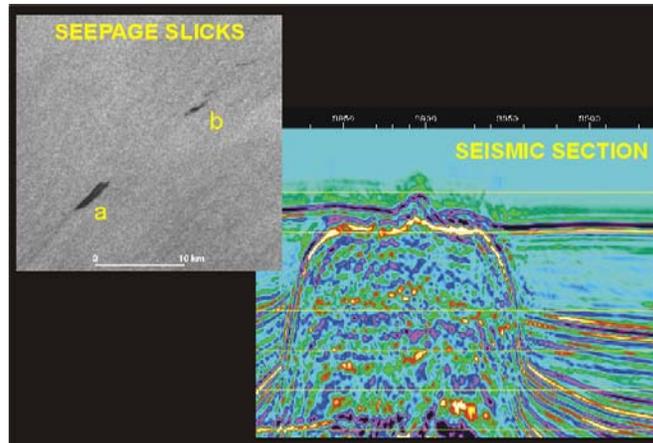


Figura A1.60 - Exsudação de óleo localizada na região de águas profundas da Bacia de Santos, que é caracterizada por uma tectônica de sal muito intensa. A imagem RADARSAT-1 utilizada foi adquirida no modo *W1* em 26 de agosto de 1998 (Miranda *et al.*, 2001).

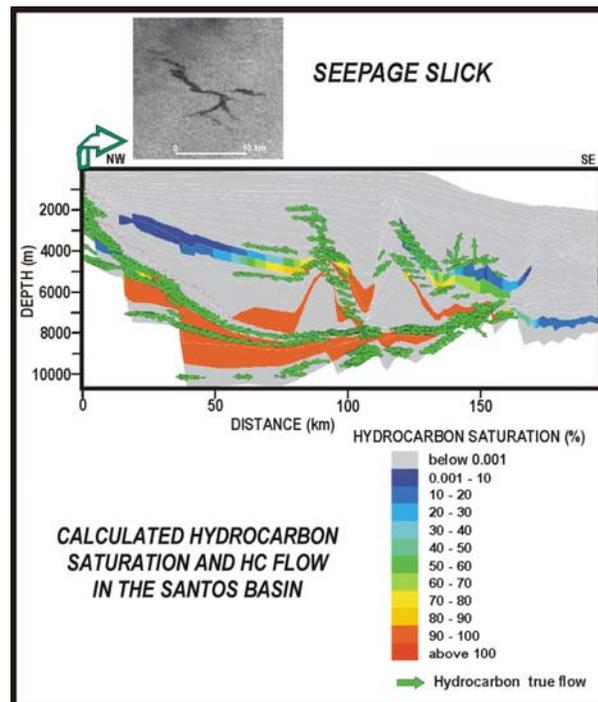


Figura A1.61 - Modelagem termo-mecânica e geoquímica da saturação e do fluxo de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. A exsudação de óleo, identificada em uma imagem RADARSAT-1 (*W1*) adquirida em 26 de agosto de 1998, está localizada ao longo da linha de charneira do Aptiano (Miranda *et al.*, 2001).

**ANEXO 2 – CATÁLOGO DOS *QUICKLOOKS* UTILIZADOS  
NA ANÁLISE VISUAL**

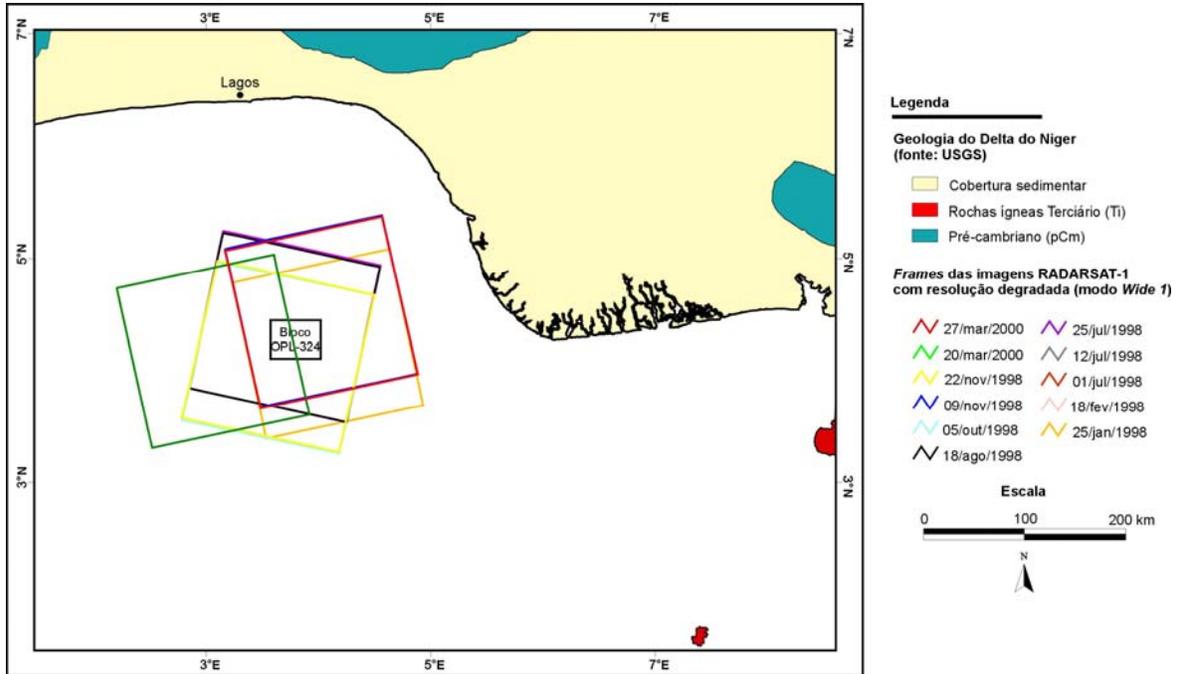


Figura A2.1 - Mapa de localização dos *frames* das imagens RADARSAT-1 com resolução degradada (*quicklooks*) adquiridas no modo de imageamento *Wide 1* sobre o bloco OPL-324.

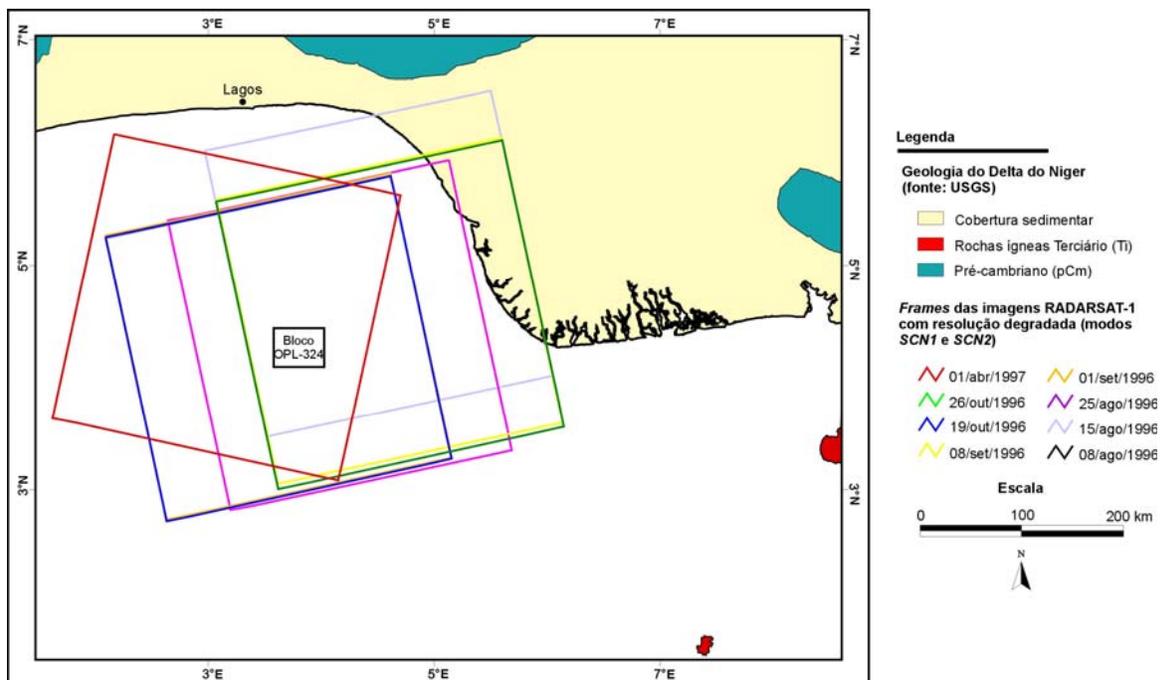


Figura A2.2 - Mapa de localização dos *frames* das imagens RADARSAT-1 com resolução degradada (*quicklooks*) adquiridas nos modos de imageamento *SCN1* e *SCN2* sobre o bloco OPL-324.

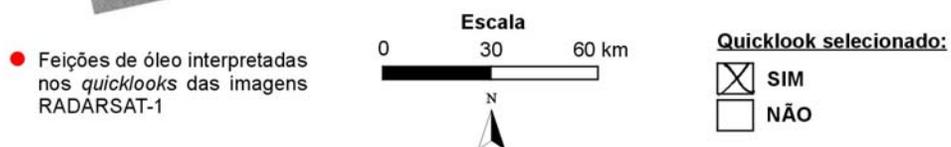
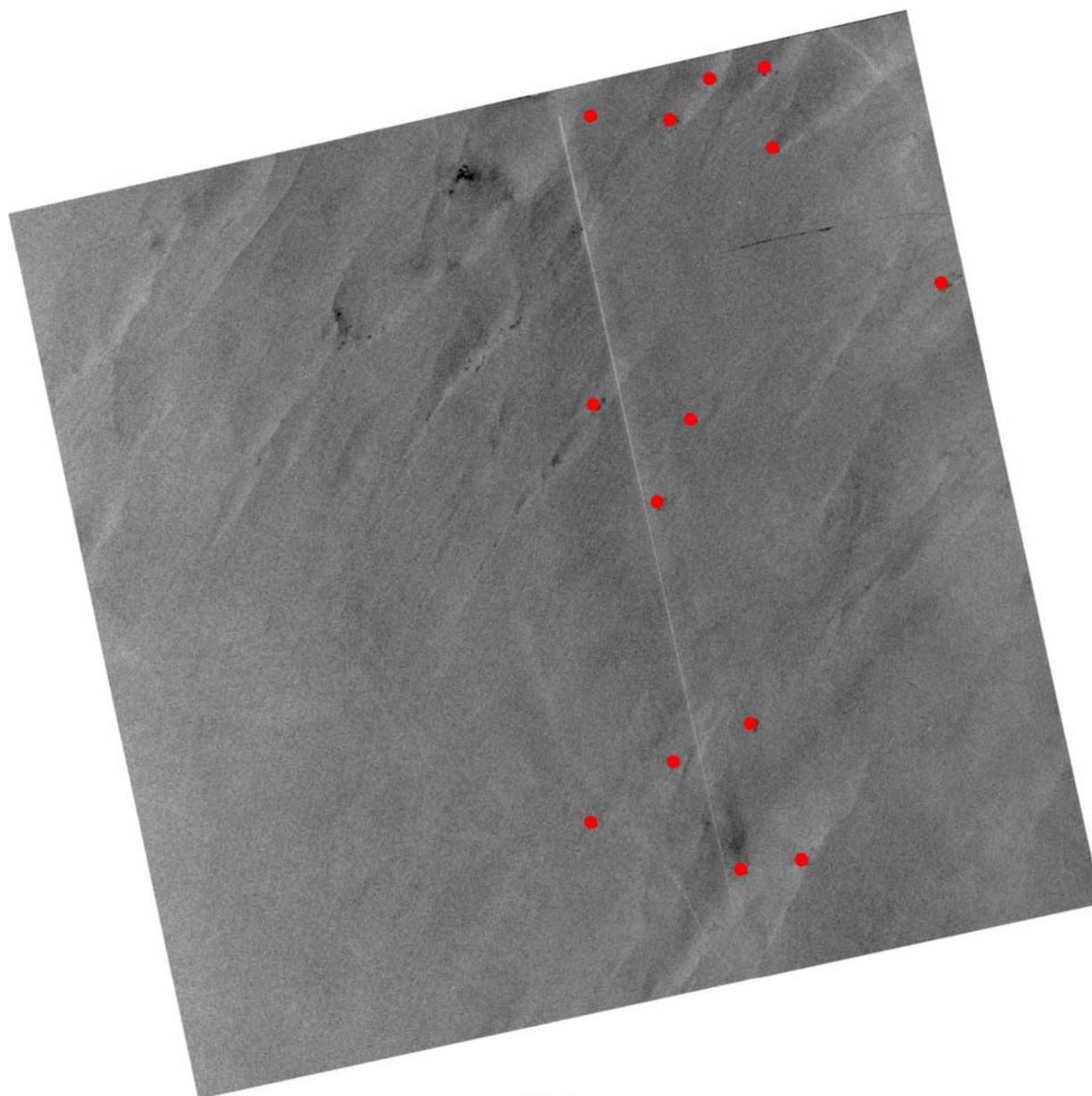


Figura A2.3 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (SCN1 - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Níger em 08 de agosto de 1996. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 14) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

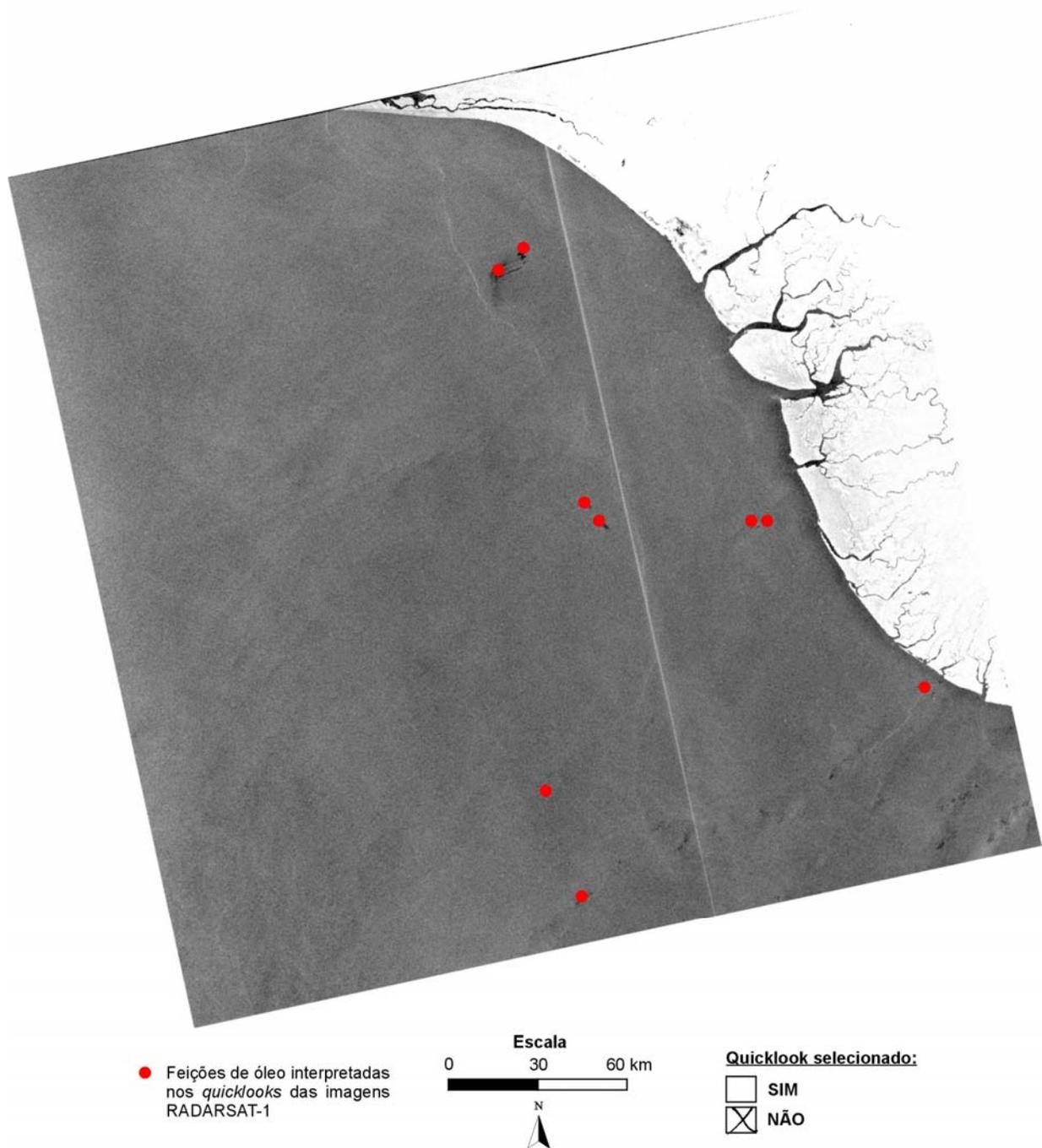


Figura A2.4 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*SCN1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 15 de agosto de 1996. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 09) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

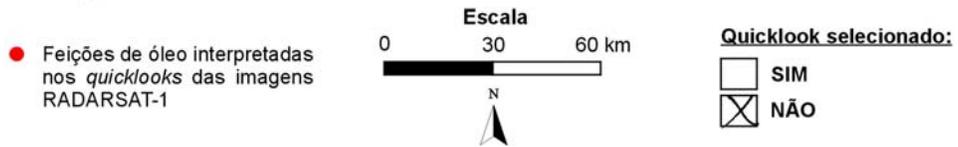
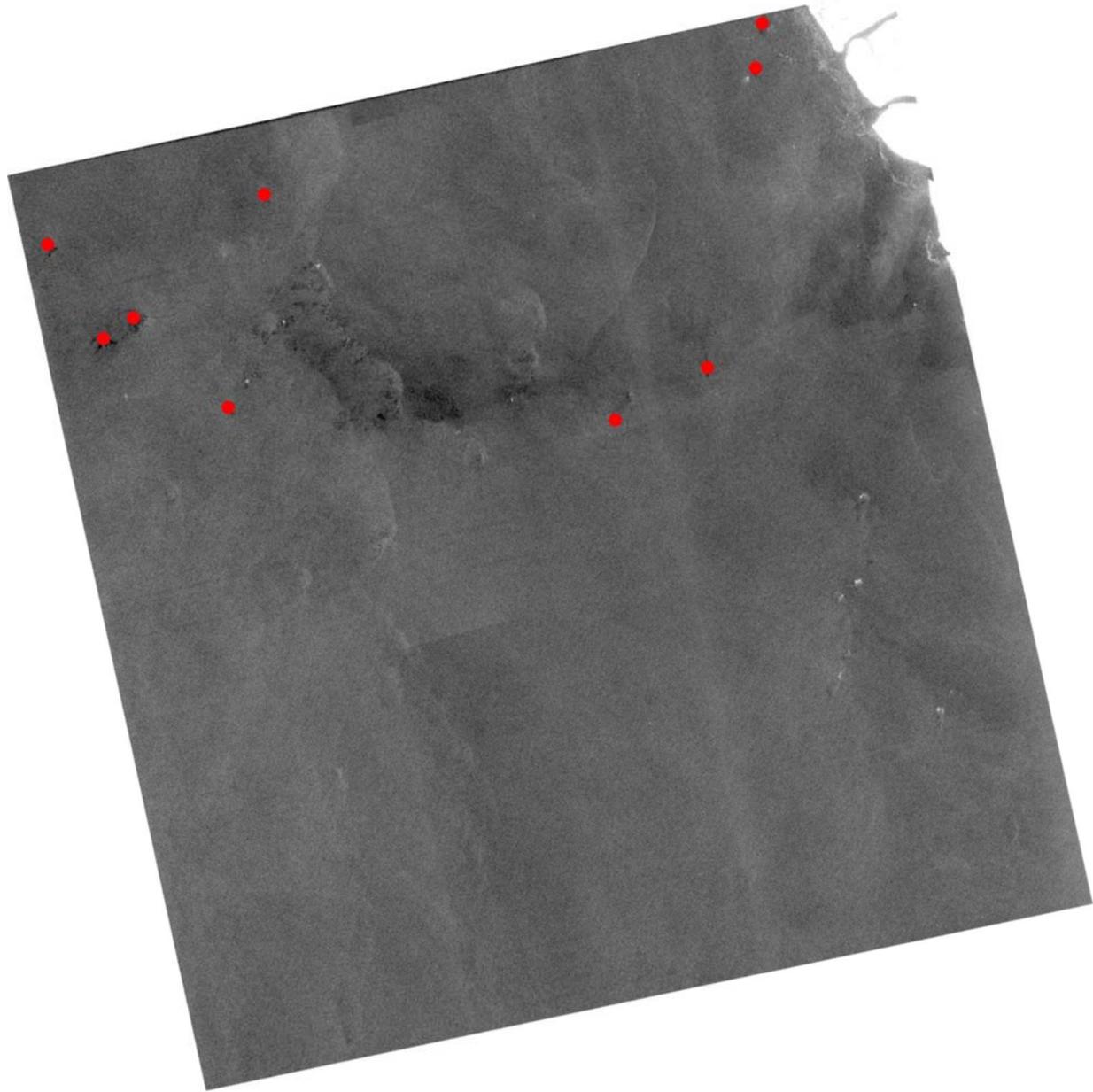


Figura A2.5 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (SCN2 - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 25 de agosto de 1996. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 09) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

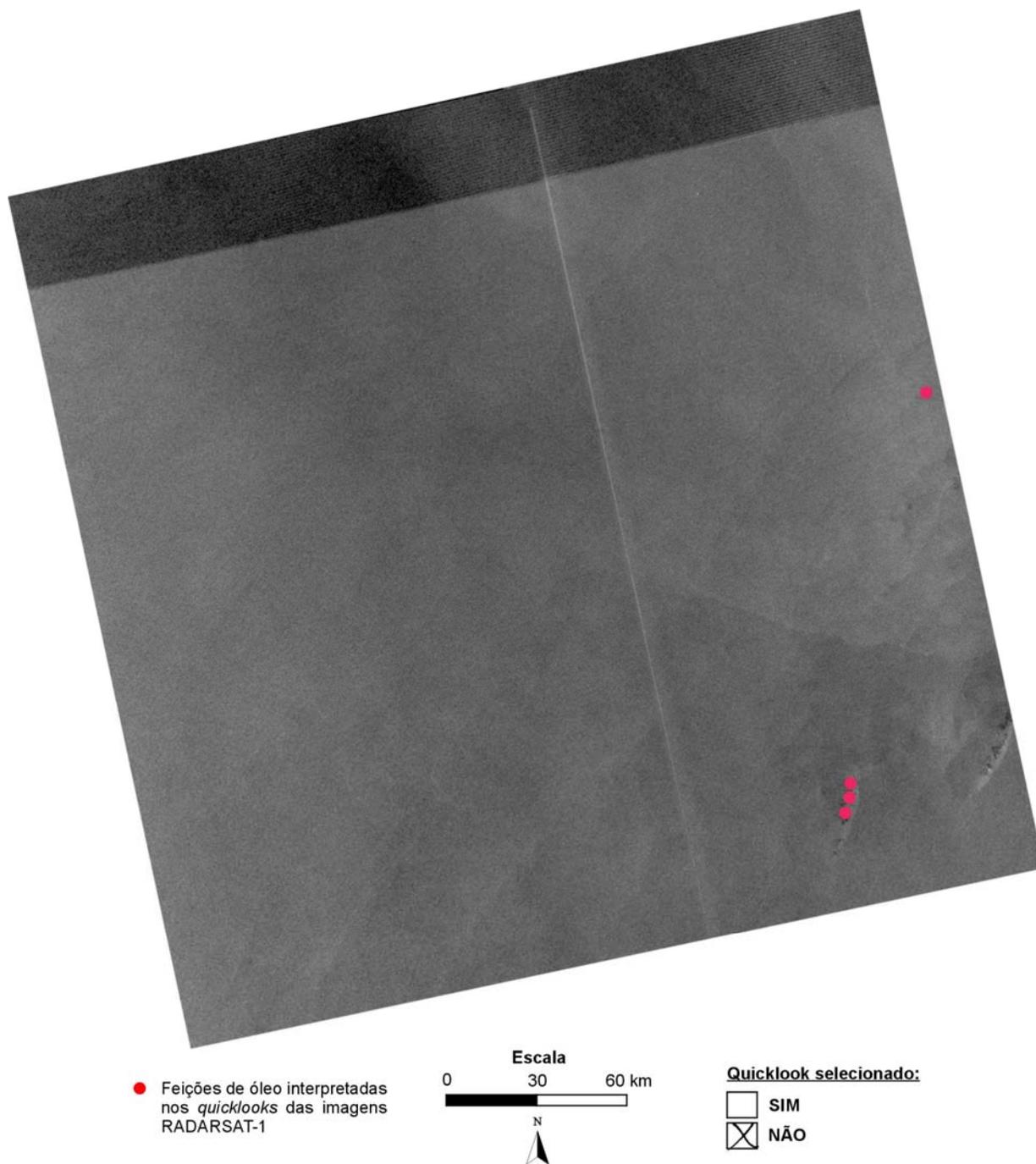


Figura A2.6 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*SCN1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 01 de setembro de 1996. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 04) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

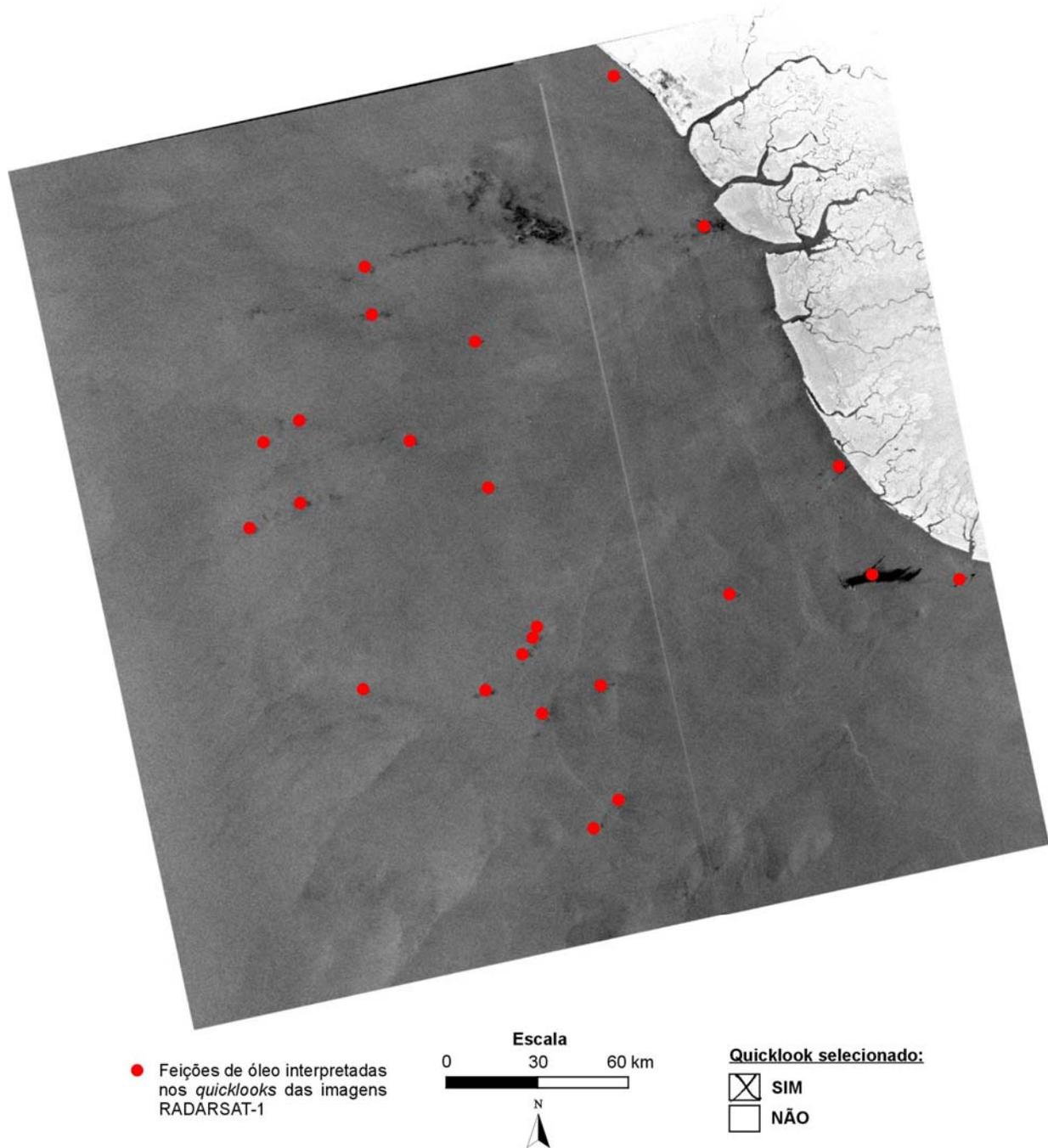


Figura A2.7 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*SCN1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 08 de setembro de 1996. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 24) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

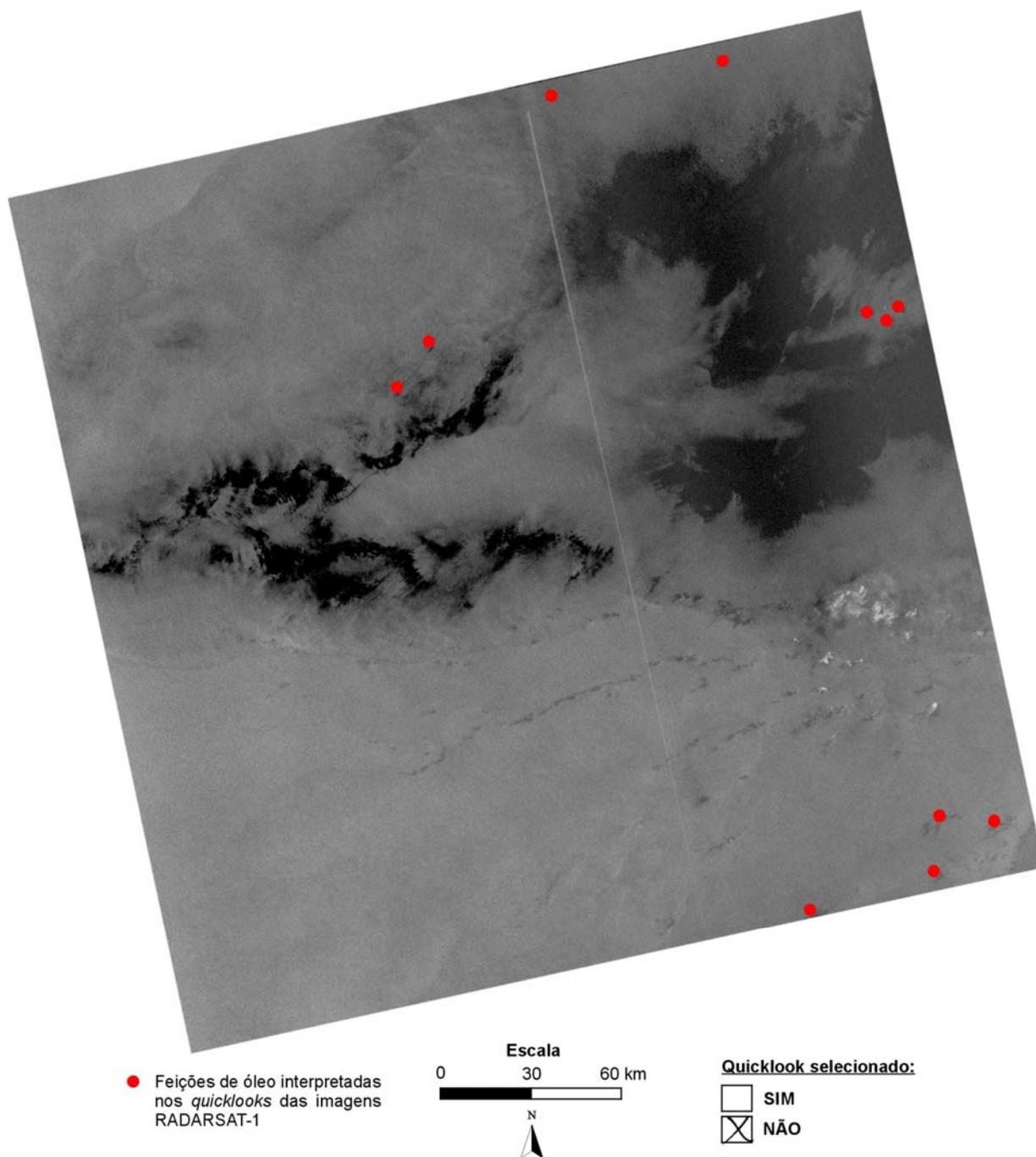


Figura A2.8 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (SCN1 - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Níger em 19 de outubro de 1996. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 11) estão indicadas pelos pontos vermelhos. Pode ser observada na imagem uma grande área escura possivelmente associada a uma região com baixa intensidade de vento.

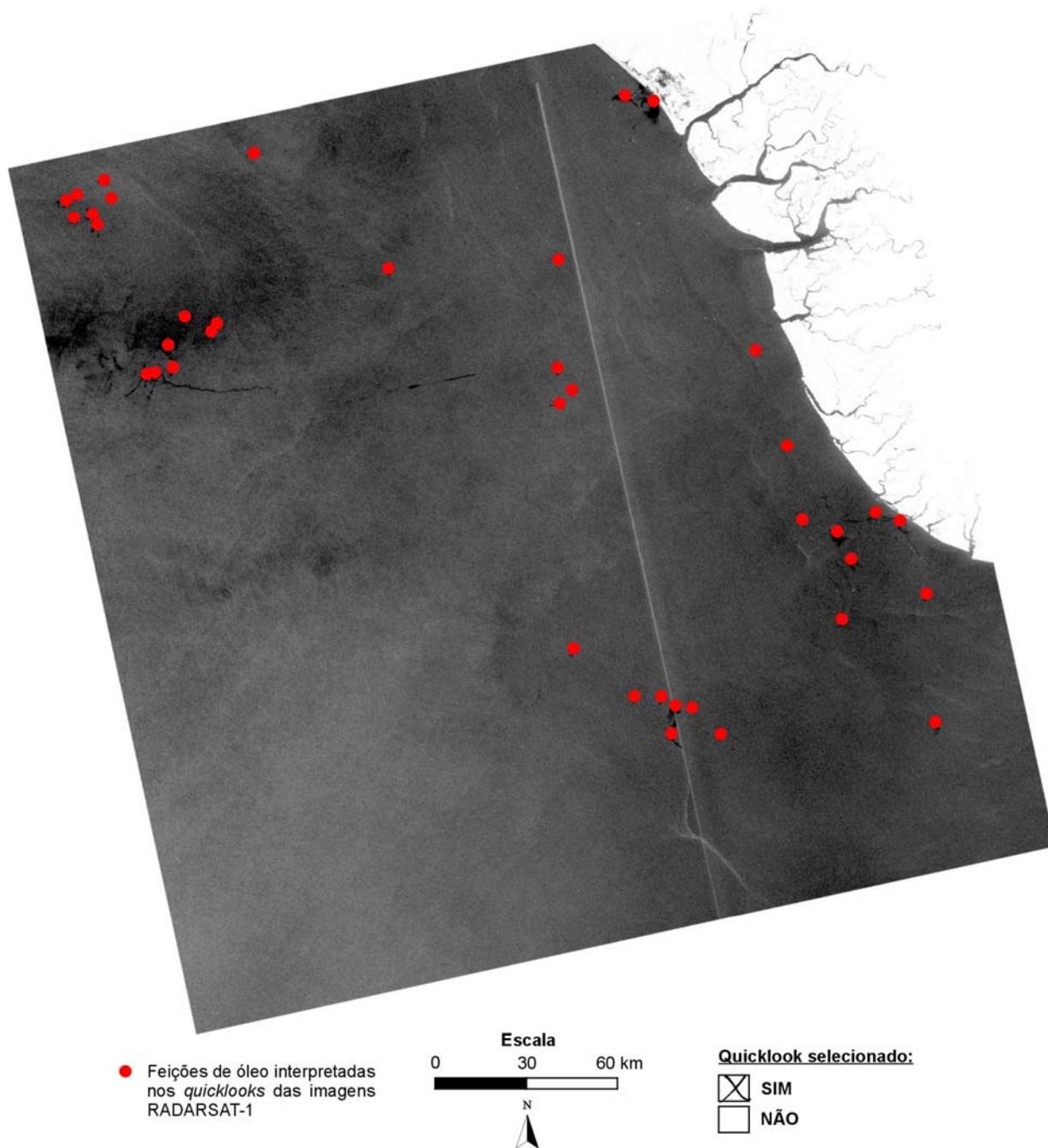


Figura A2.9 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*SCN1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 26 de outubro de 1996. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 39) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

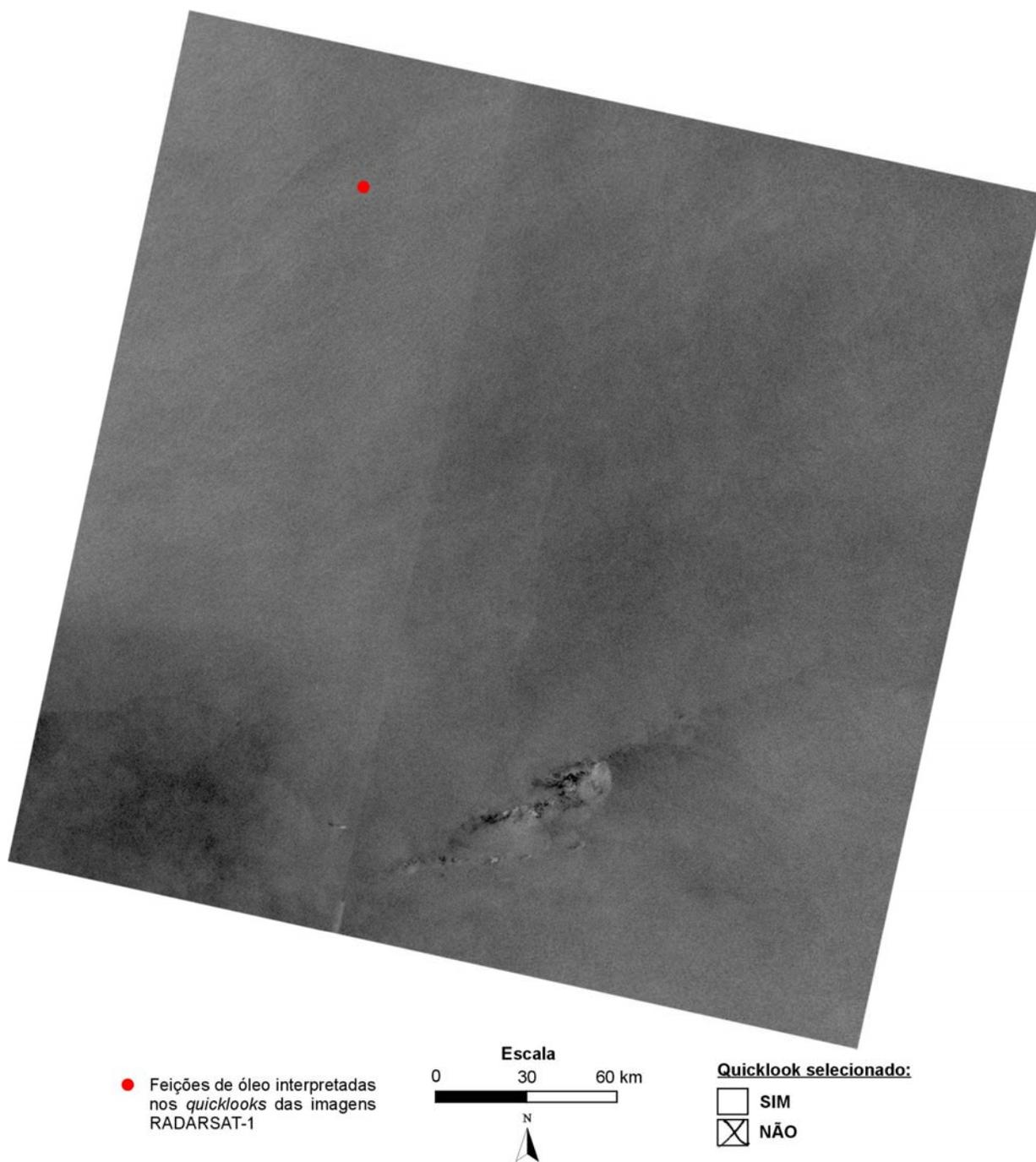


Figura A2.10 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (SCN1 - órbita descendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 01 de abril de 1997. Nesta imagem foi identificada apenas 01 (uma) potencial feição de óleo, e que está indicada pelo ponto vermelho.

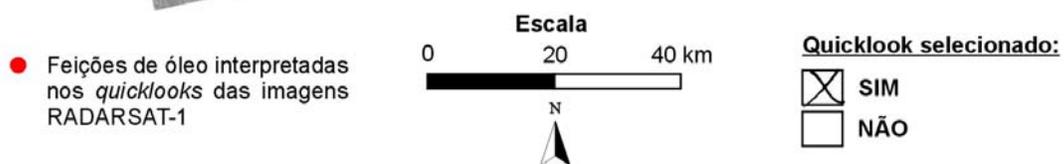
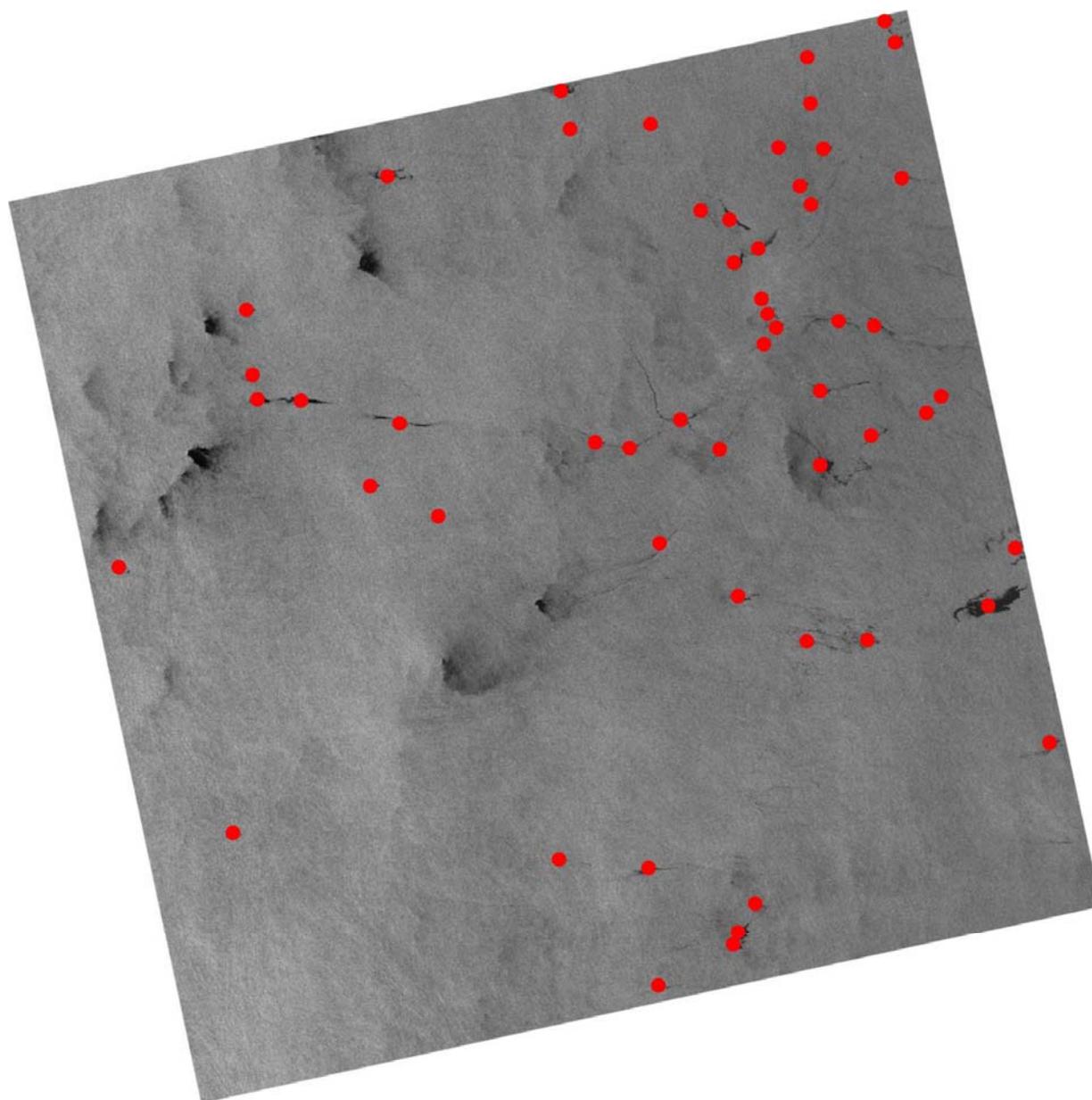
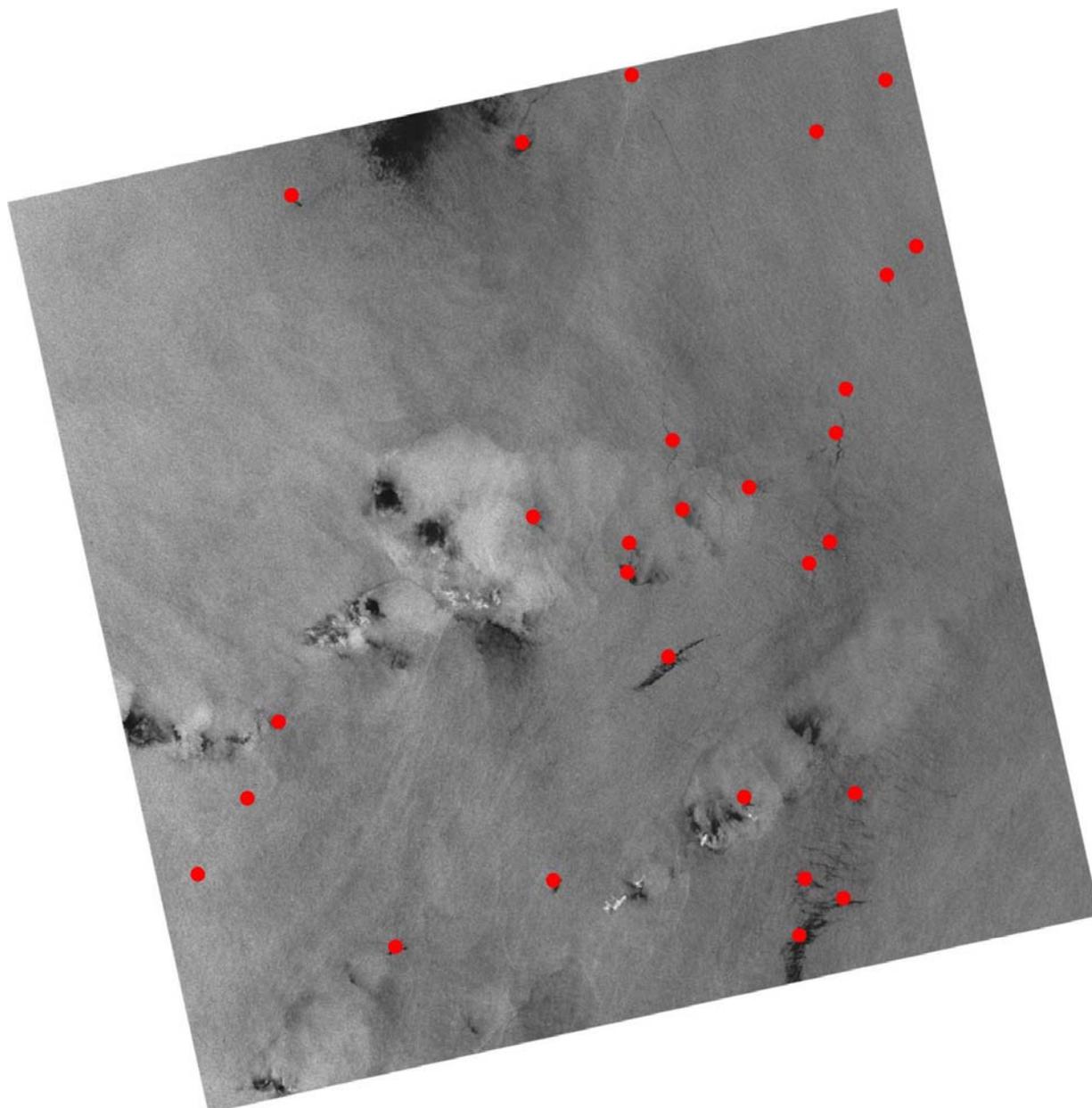
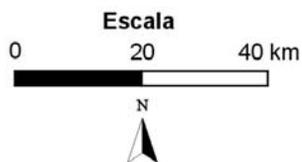


Figura A2.11 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 25 de janeiro de 1998. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 54) estão indicadas pelos pontos vermelhos.



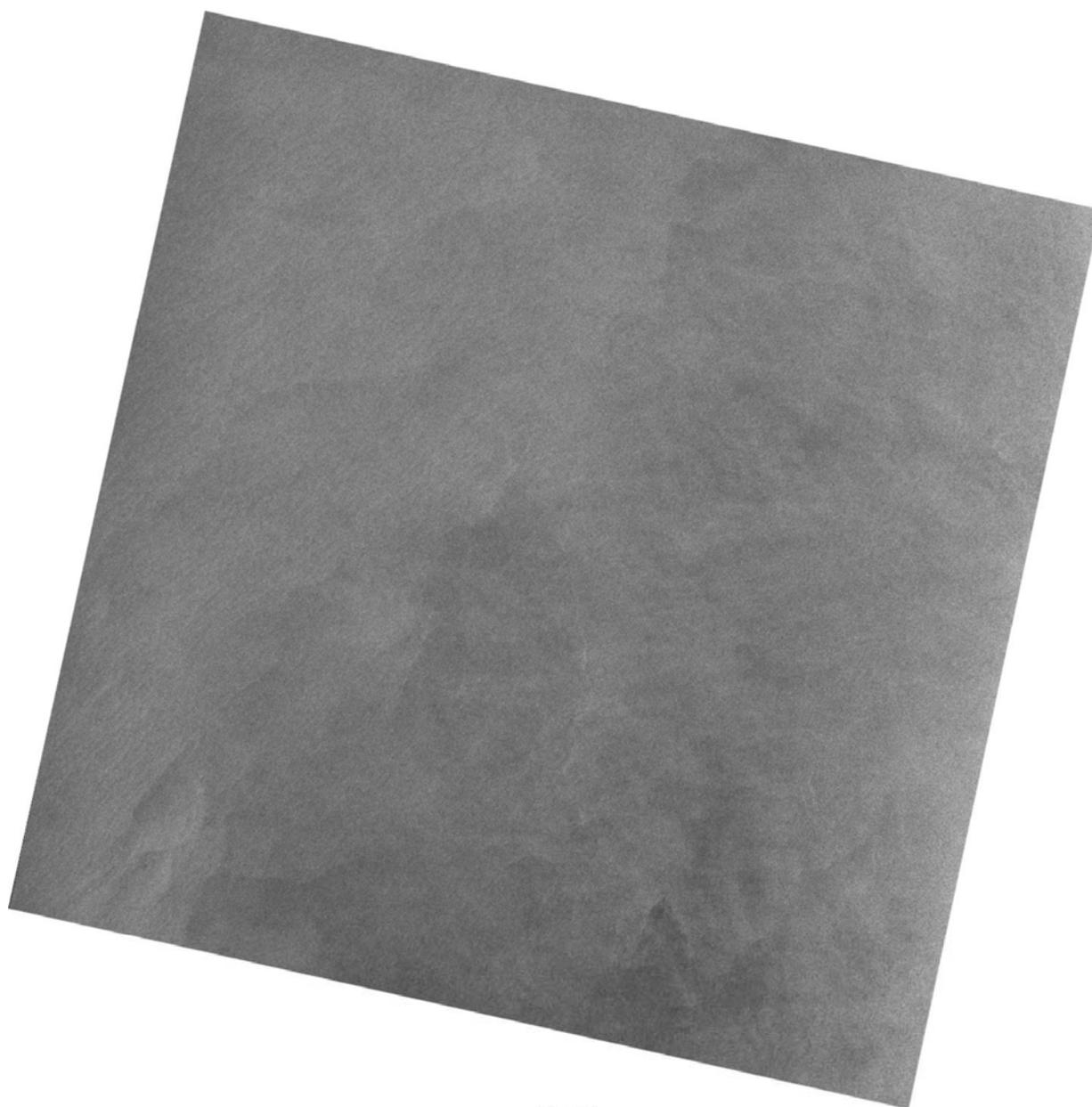
● Feições de óleo interpretadas nos *quicklooks* das imagens RADARSAT-1



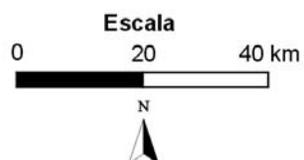
Quicklook selecionado:

SIM  
 NÃO

Figura A2.12 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 18 de fevereiro de 1998. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 28) estão indicadas pelos pontos vermelhos.



● Feições de óleo interpretadas nos *quicklooks* das imagens RADARSAT-1



Quicklook selecionado:

SIM  
 NÃO

Figura A2.13 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita descendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Níger em 01 de julho de 1998. Nenhuma potencial feição de óleo foi identificada nesta imagem durante a análise visual.

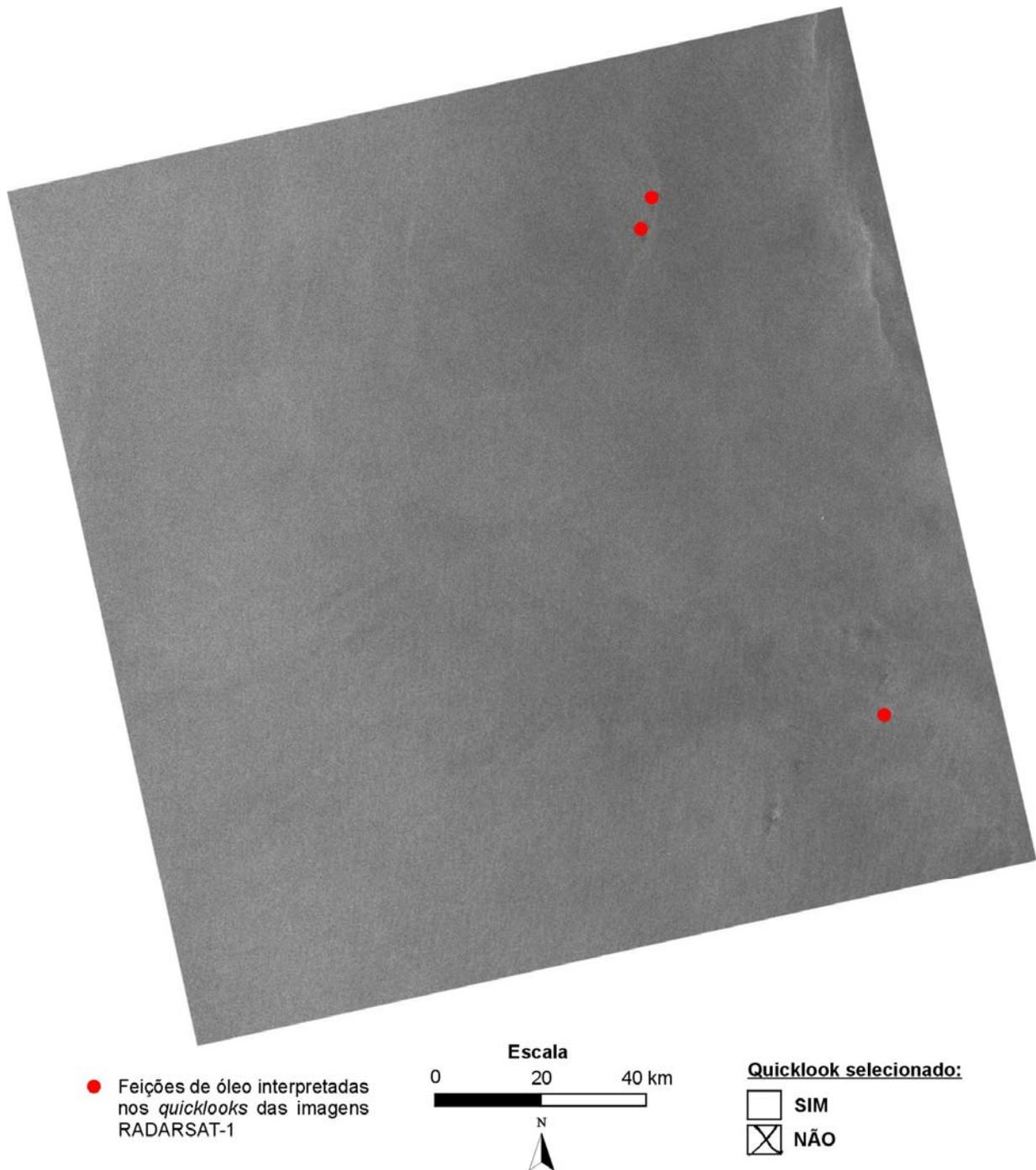


Figura A2.14 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 12 de julho de 1998. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 03) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

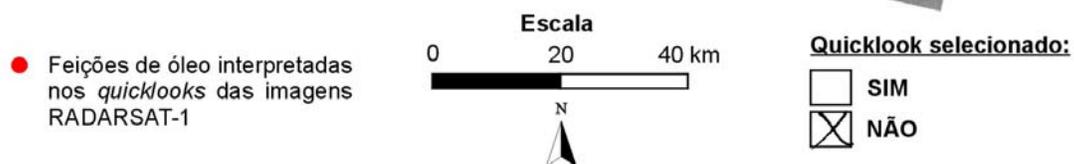
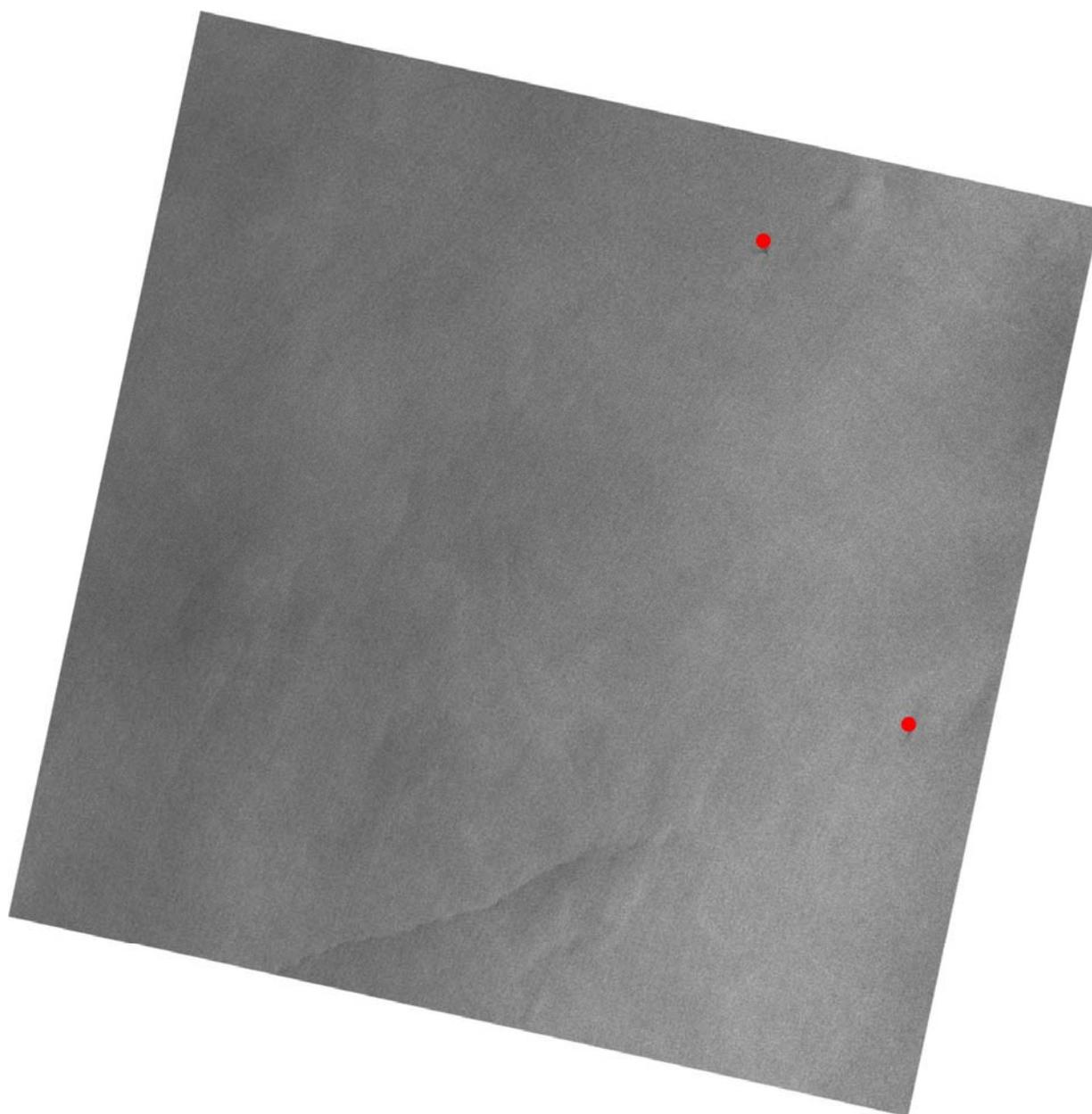


Figura A2.15 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita descendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 25 de julho de 1998. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 02) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

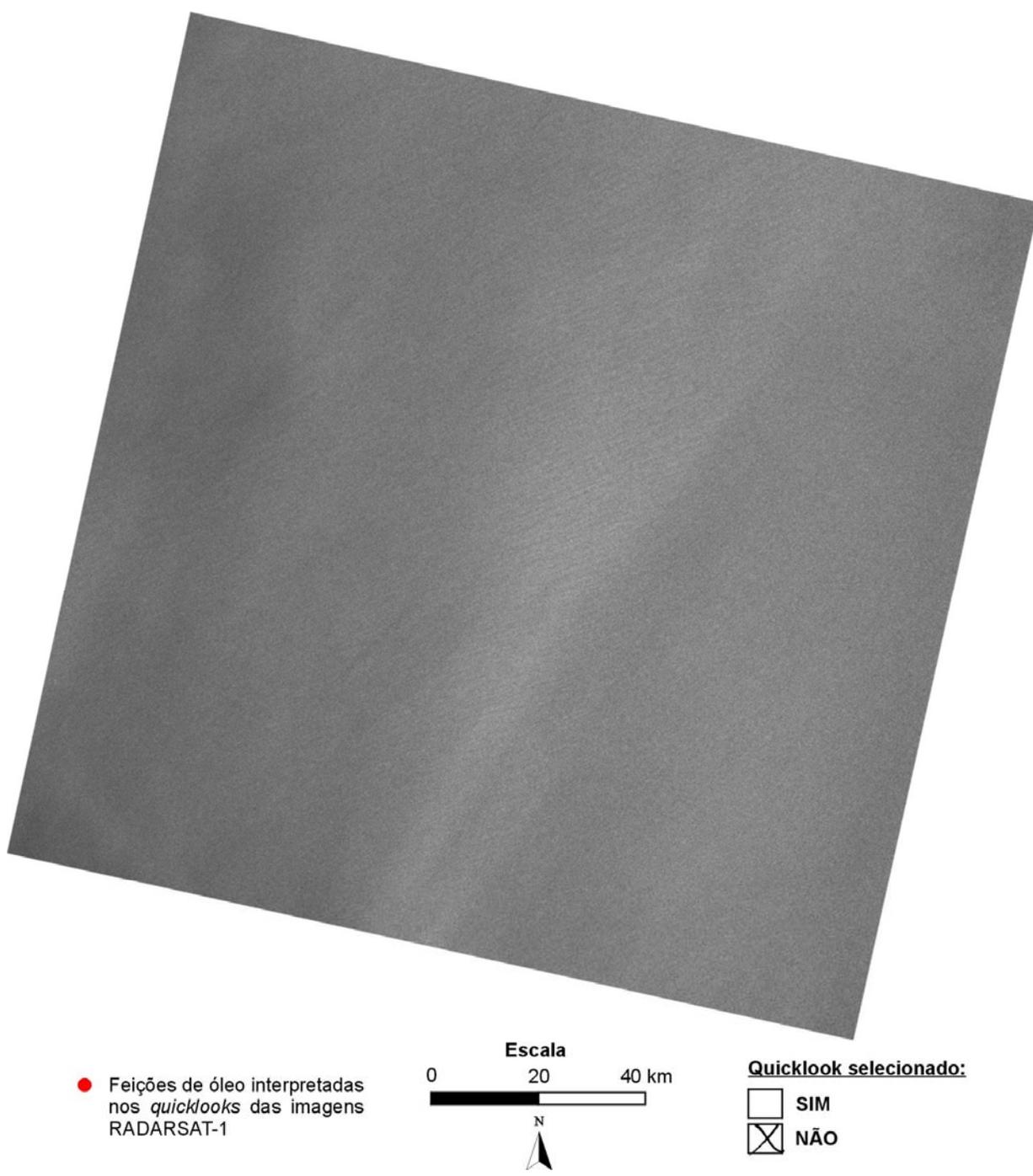


Figura A2.16 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita descendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 18 de agosto de 1998. Nenhuma potencial feição de óleo foi identificada nesta imagem durante a análise visual.

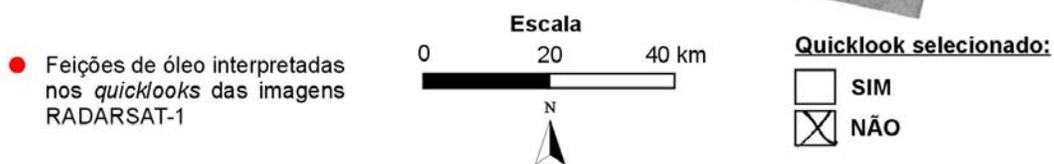
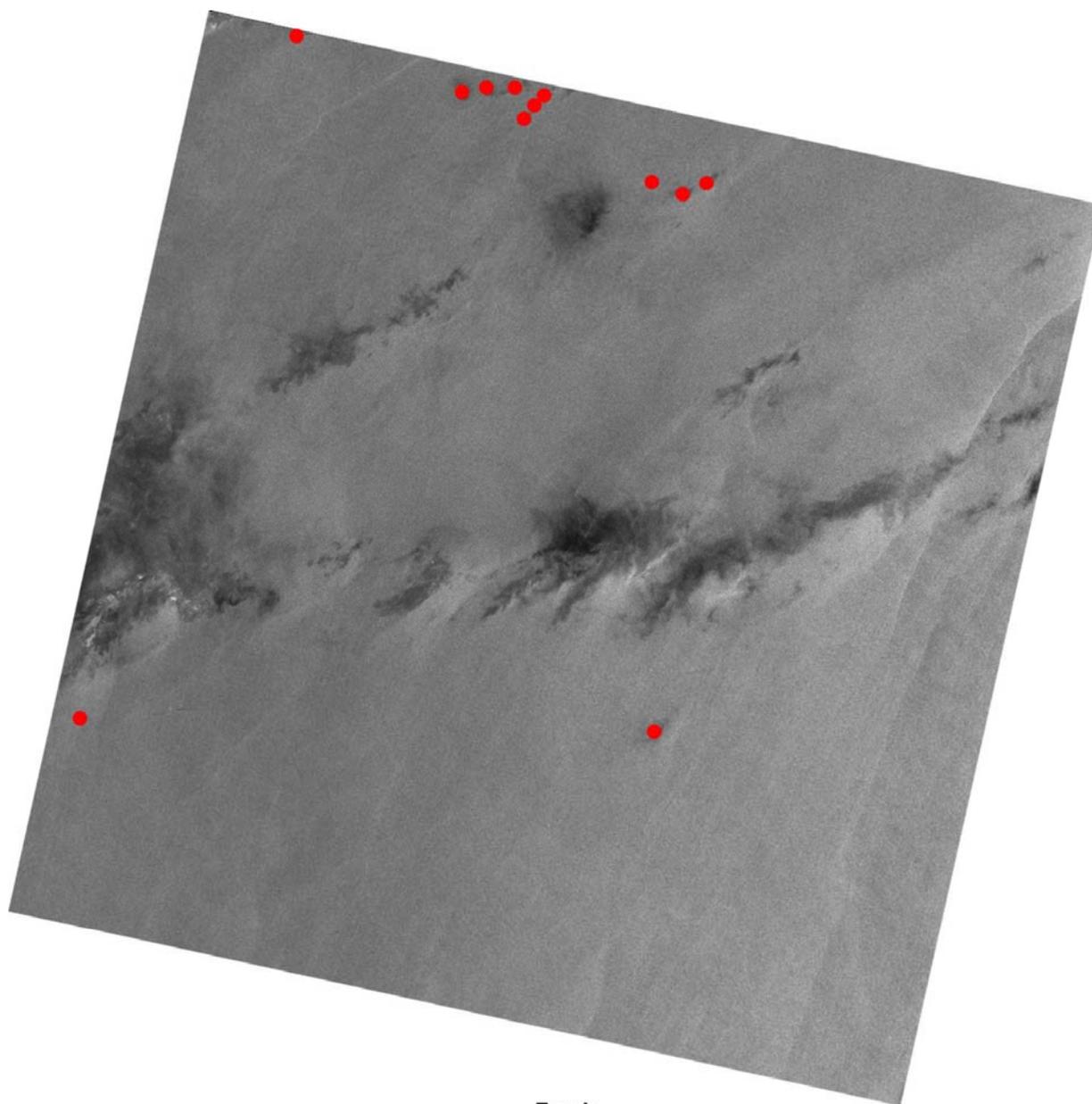


Figura A2.17 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita descendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 5 de outubro de 1998. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 12) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

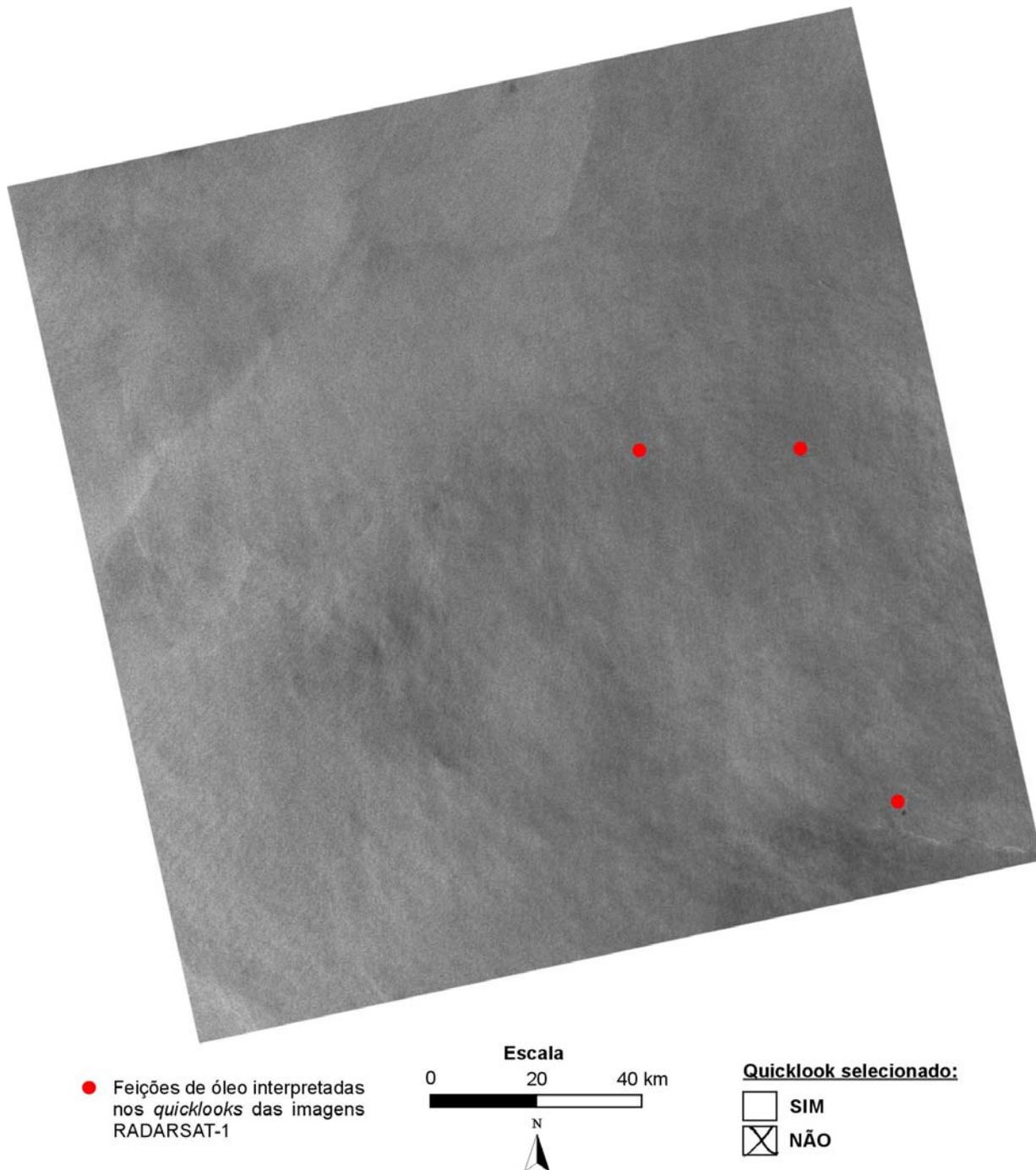


Figura A2.18 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Níger em 09 de novembro de 1998. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 03) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

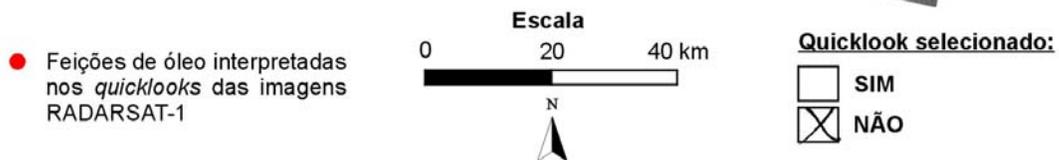
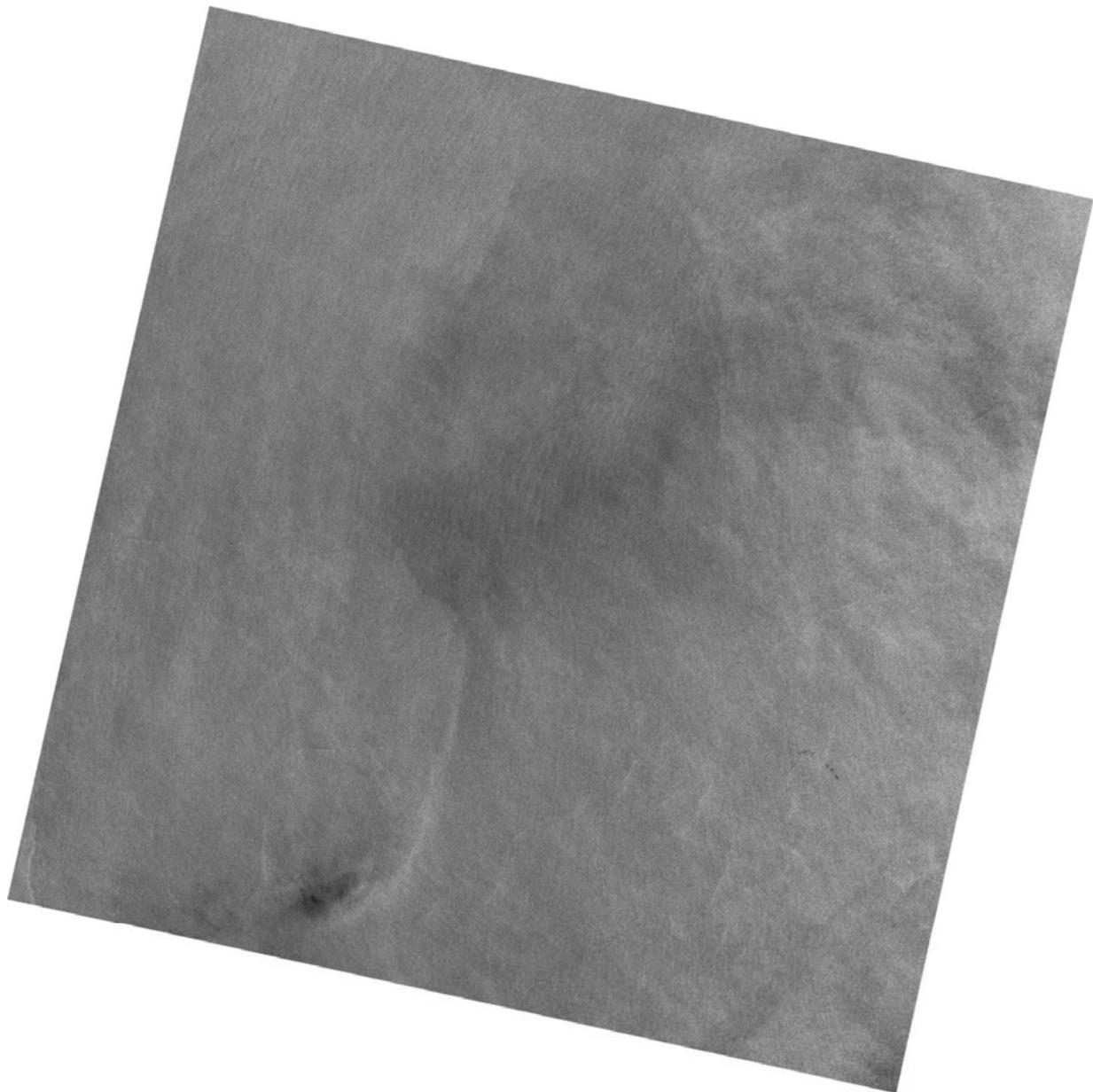
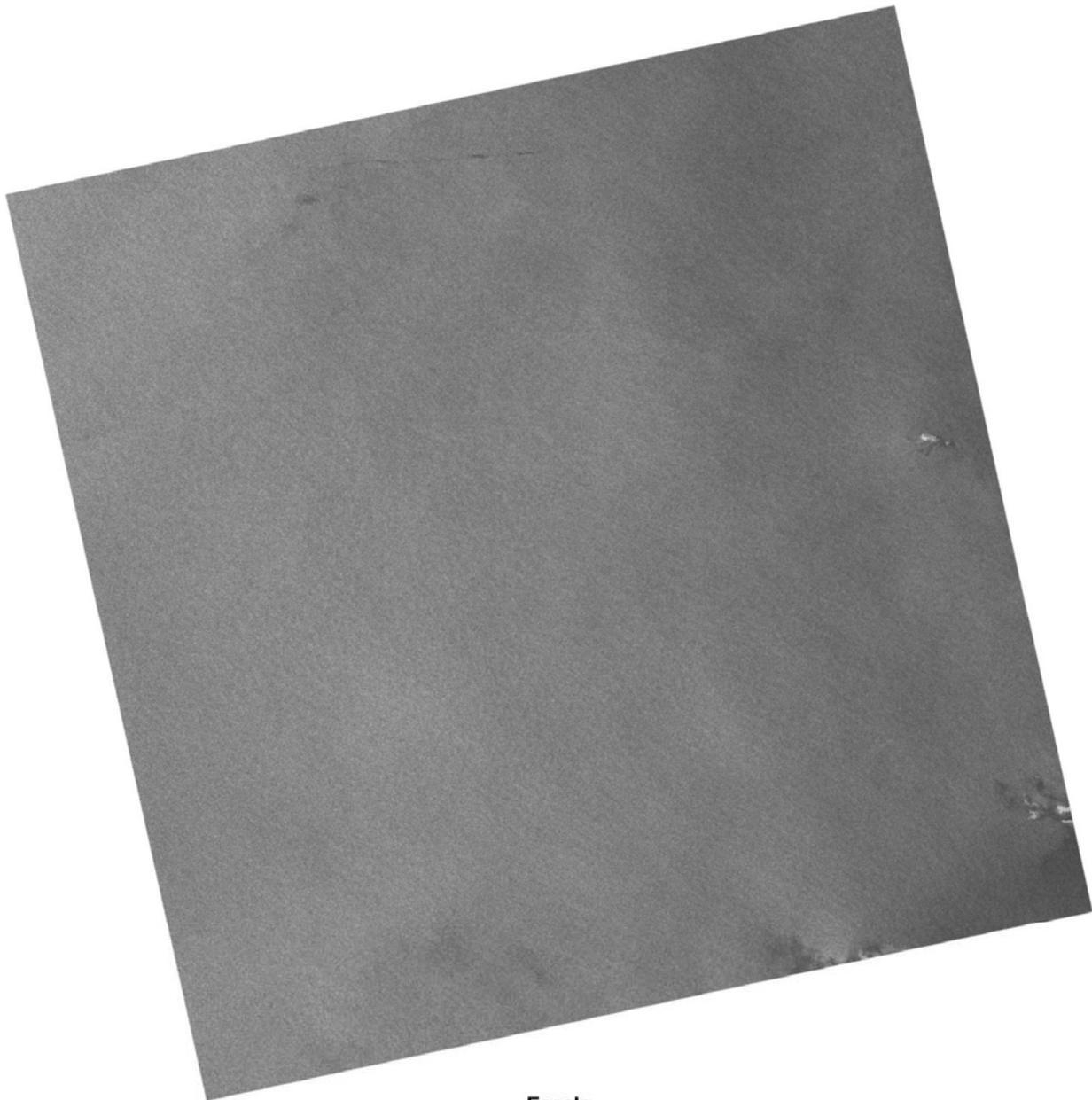
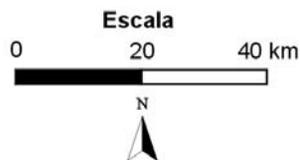


Figura A2.19 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita descendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 22 de novembro de 1998. Nenhuma potencial feição de óleo foi identificada nesta imagem durante a análise visual.



● Feições de óleo interpretadas nos *quicklooks* das imagens RADARSAT-1



**Quicklook selecionado:**



Figura A2.20 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 20 de março de 2000. Nenhuma potencial feição de óleo foi identificada nesta imagem durante a análise visual.

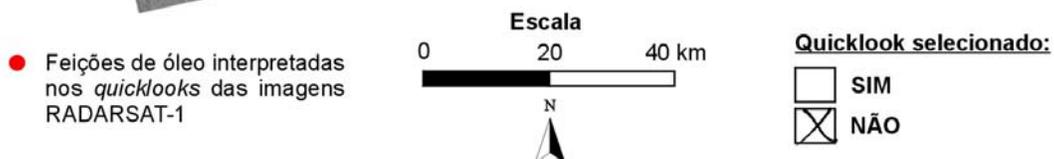
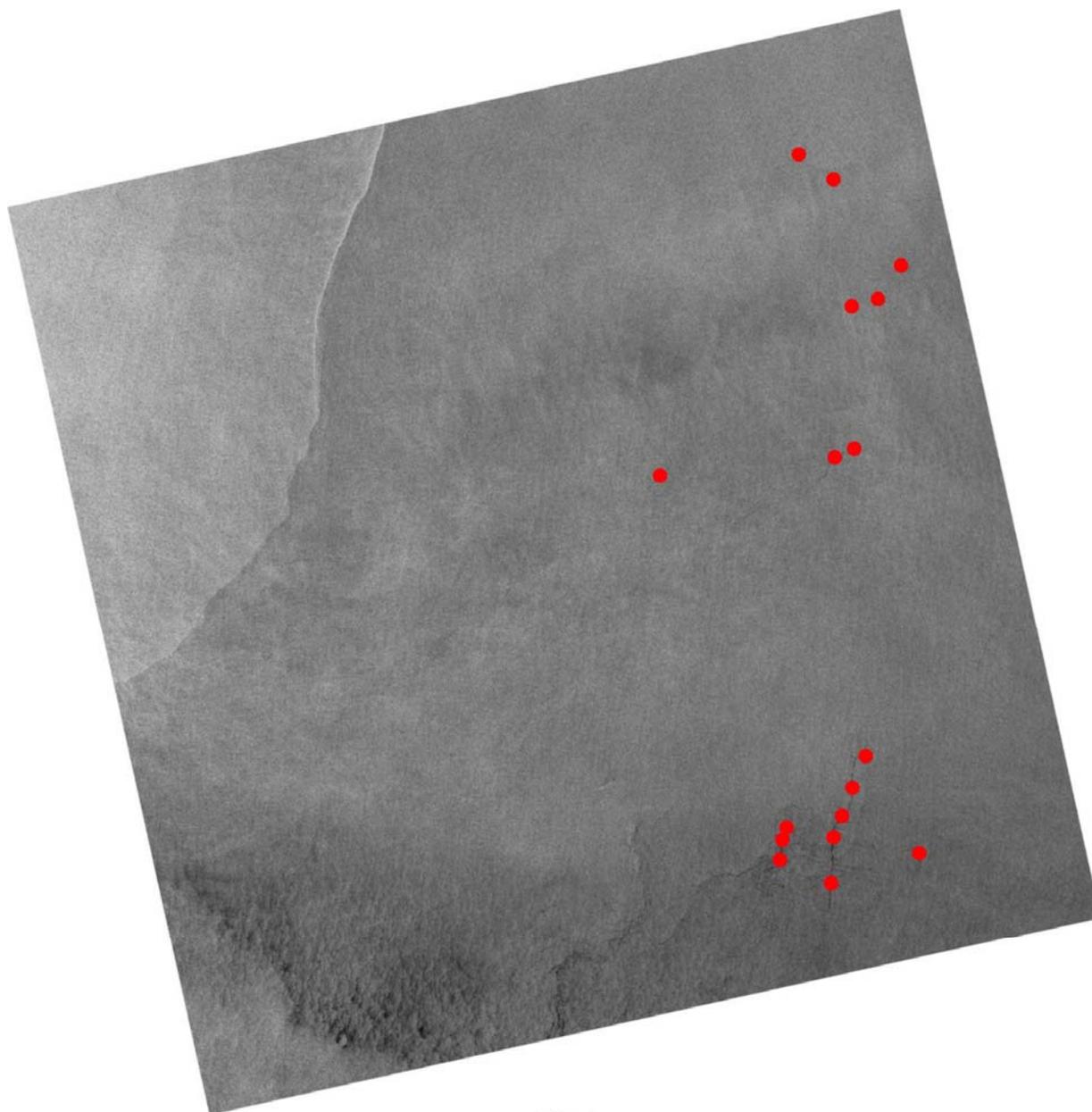


Figura A2.21 – Imagem com resolução degradada (*quicklook*) do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Níger em 27 de março de 2000. As potenciais feições de óleo identificadas na análise visual (ao todo 17) estão indicadas pelos pontos vermelhos.

**ANEXO 3 – CATÁLOGO DAS INFORMAÇÕES OBTIDAS  
COM O SENSORIAMENTO REMOTO**

**A3.1 – 08 DE AGOSTO DE 1996**

TIPO DE DADO	ANÁLISES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS
<b>TSM (NOAA-12) - Fig. A3.3</b>	O mapa de TSM foi confeccionado a partir dos dados adquiridos pelo sensor AVHRR, em 08 de agosto de 1996, às 16:36:00 (UTC). A imagem foi obtida uma hora e vinte dois minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. A área de estudo estava parcialmente coberta por nuvens no momento de aquisição da imagem pelo sensor AVHRR. O valor predominante da temperatura da superfície do mar na área correspondente ao <i>frame</i> RADARSAT-1 livre de nebulosidade é de aproximadamente 24 <sup>o</sup> C. Não há fortes gradientes de temperatura afetando a rugosidade da superfície do mar.
<b>TTN (NOAA-12) - Fig. A3.4</b>	O mapa de TTN foi confeccionado a partir da imagem adquirida pelo sensor AVHRR, em 08 de agosto de 1996, às 16:36:00 (UTC). A imagem foi obtida uma hora e vinte dois minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. Neste mapa, não há evidências da presença de células de chuva afetando a rugosidade da superfície do mar.
<b>M.I.C.V. (SSM/I) - Fig. A3.5</b>	As informações a respeito da intensidade do campo de vento foram coletadas em 08 de agosto de 1996, às 17:24:00 (UTC). O produto foi adquirido trinta e quatro minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1. Tais informações estão disponíveis apenas para uma região a leste do <i>frame</i> RADARSAT-1. A velocidade do vento nesta área situa-se entre 5,0 e 6,5 m/s.
<b>V.M.C.S. (TOPEX/Poseidon e Jason-1) - Fig. A3.6</b>	Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 4 a 8 de agosto de 1996. A partir da longitude de 2°E a Corrente da Guiné tende a fluir predominantemente no sentido NE, perpendicular a linha de costa e/ou isóbatas do Delta do Niger. A velocidade das correntes superficiais na Região do Golfo da Guiné situa-se entre 0,05 e 0,45 m/s.

**OBS:** TSM = temperatura da superfície do mar; TTN = temperatura do topo de nuvem; M.I.C.V. = mapa da intensidade do campo de vento; V.M.C.S.=velocidade média das correntes superficiais.

Tabela A3.1 - Análise dos dados meteorológicos e oceanográficos referentes à imagem RADARSAT-1 adquirida em 08 de agosto de 1996 (SCN1 - órbita ascendente).

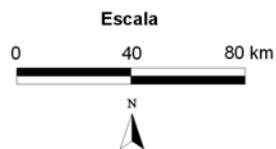
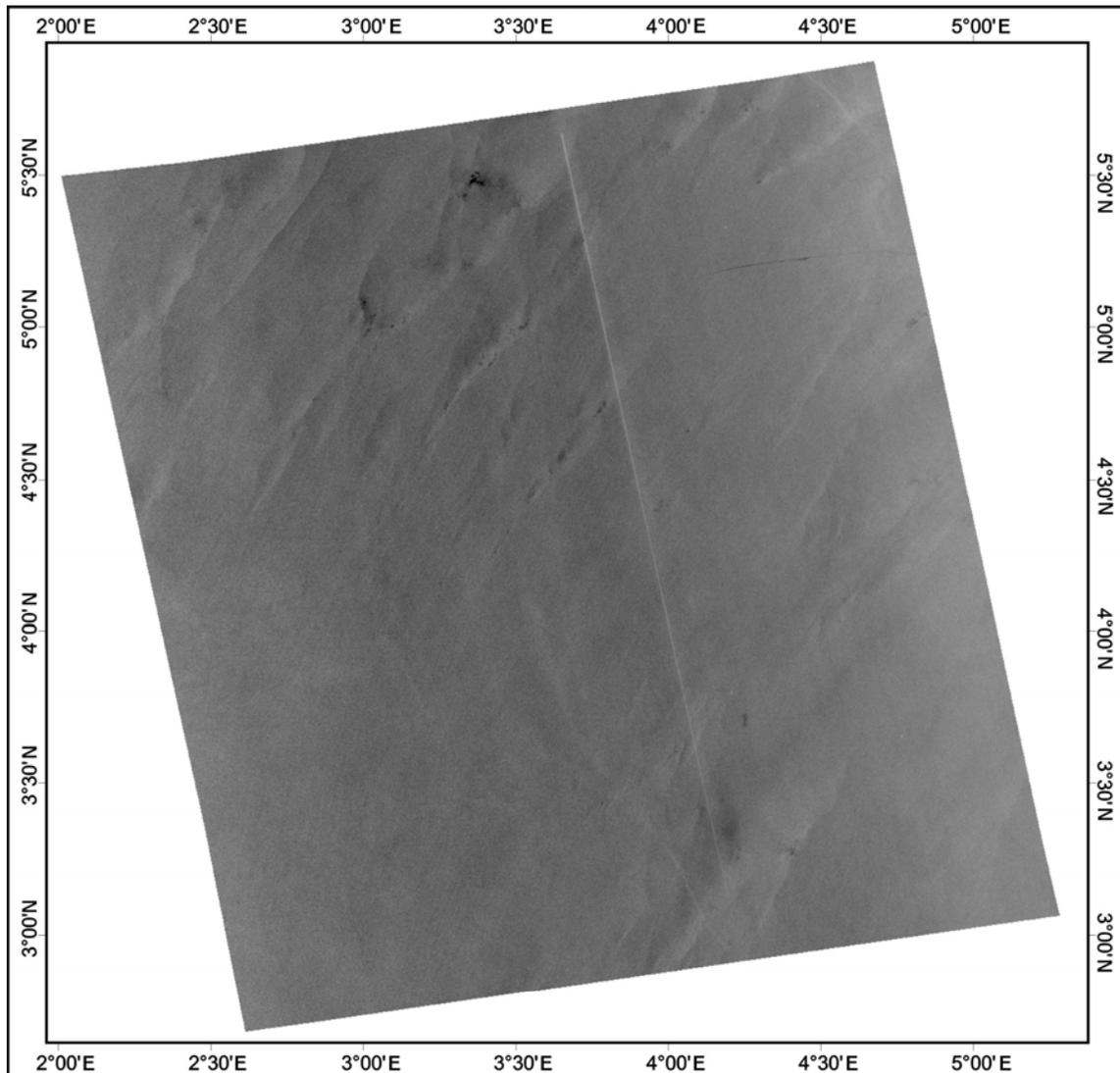


Figura A3.1 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (SCN1 - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 08 de agosto de 1996. Técnicas de realce de contraste foram aplicadas à imagem SAR, de maneira a tornar discerníveis feições sutis relacionadas a exsudações de óleo.

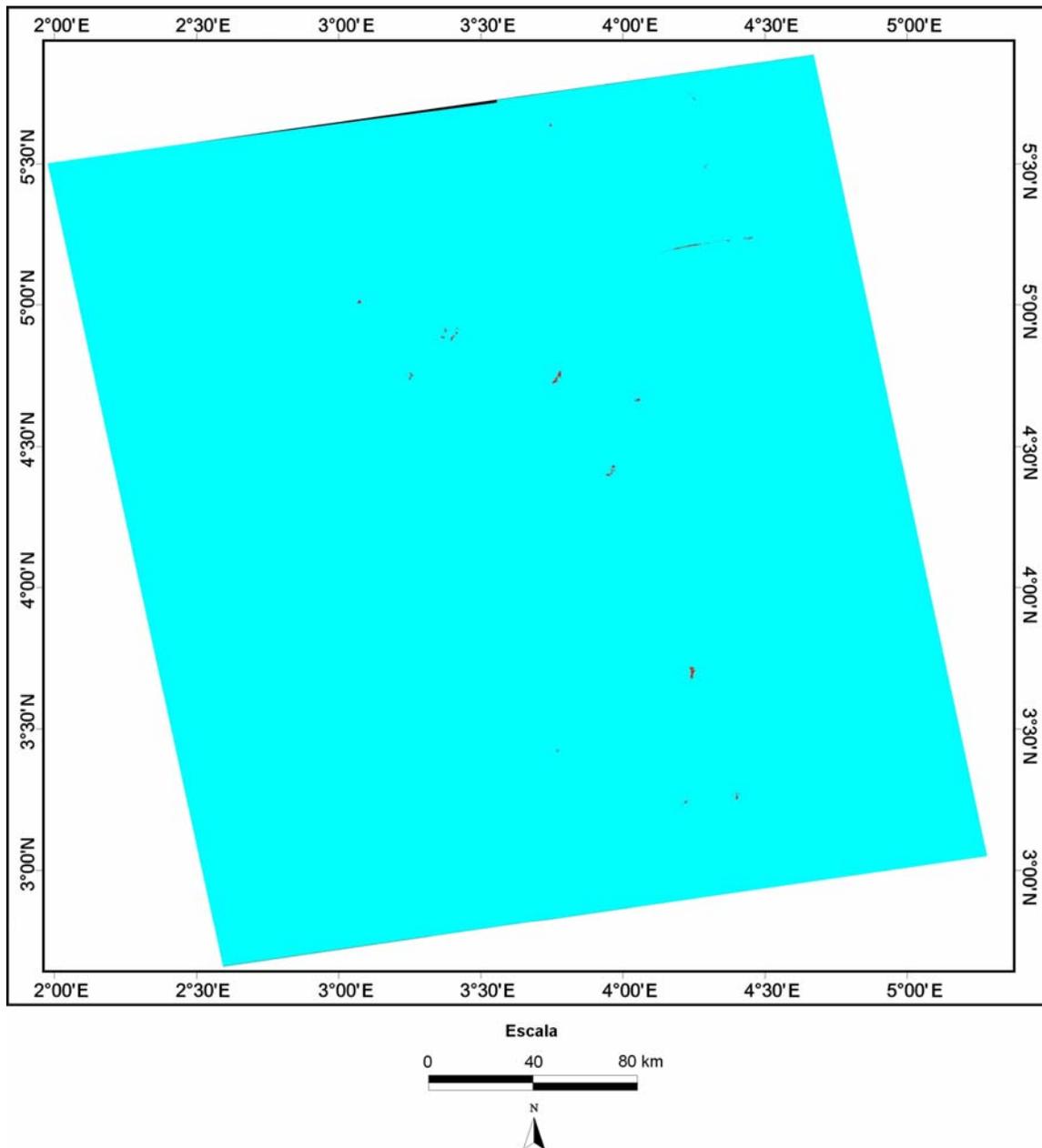


Figura A3.2 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (SCN1 - órbita ascendente) de 08 de agosto de 1996, adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger, classificada pelo método USTC. A classe azul representa a superfície rugosa do mar, enquanto que a vermelha representa as superfícies lisas. As exsudações e os derramamentos de óleo identificados neste trabalho são incluídos na classe vermelha.

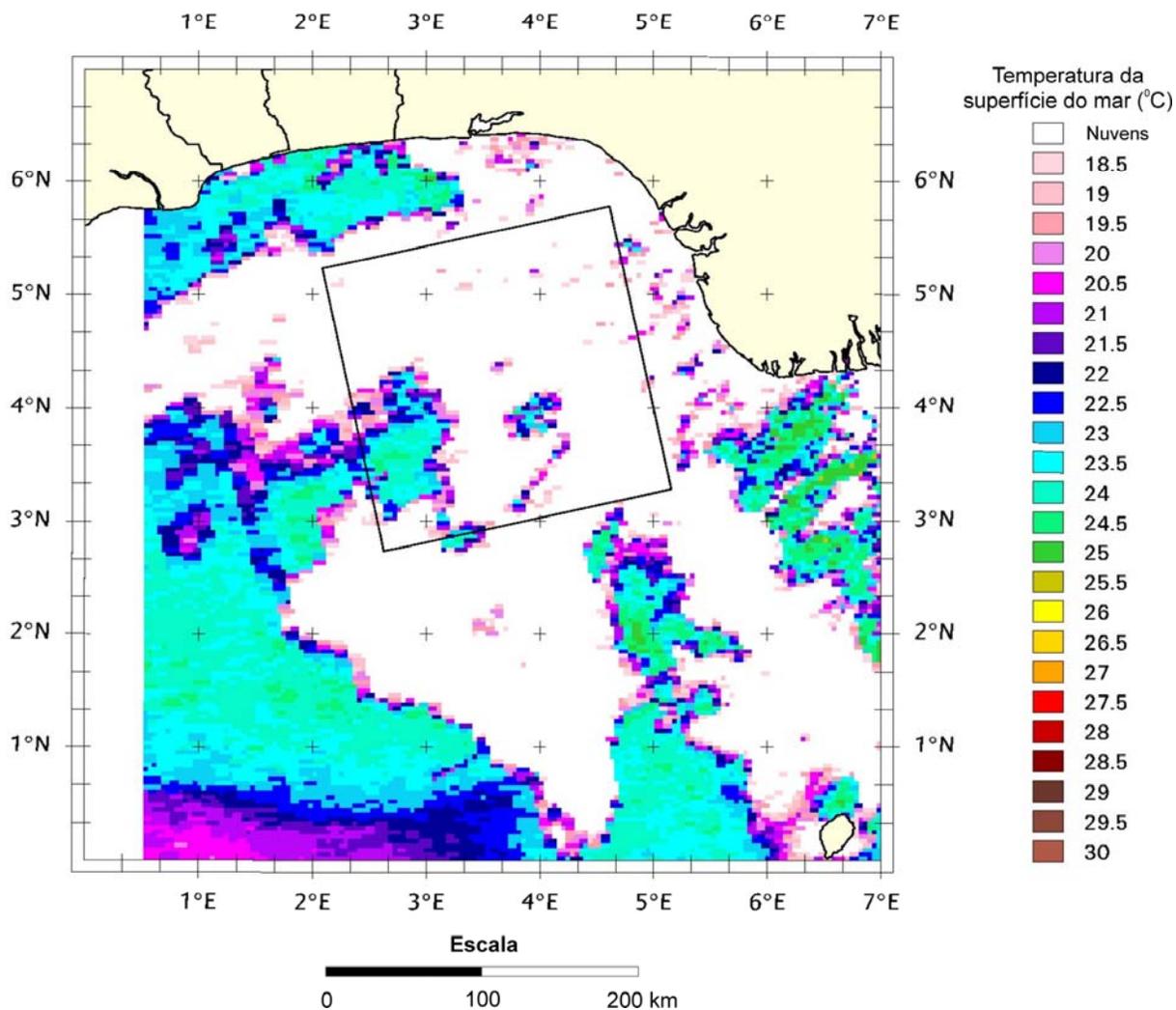


Figura A3.3 - Mapa de temperatura da superfície do mar, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 08 de agosto de 1996, às 16:36:00 (UTC). A imagem foi adquirida uma hora e vinte dois minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

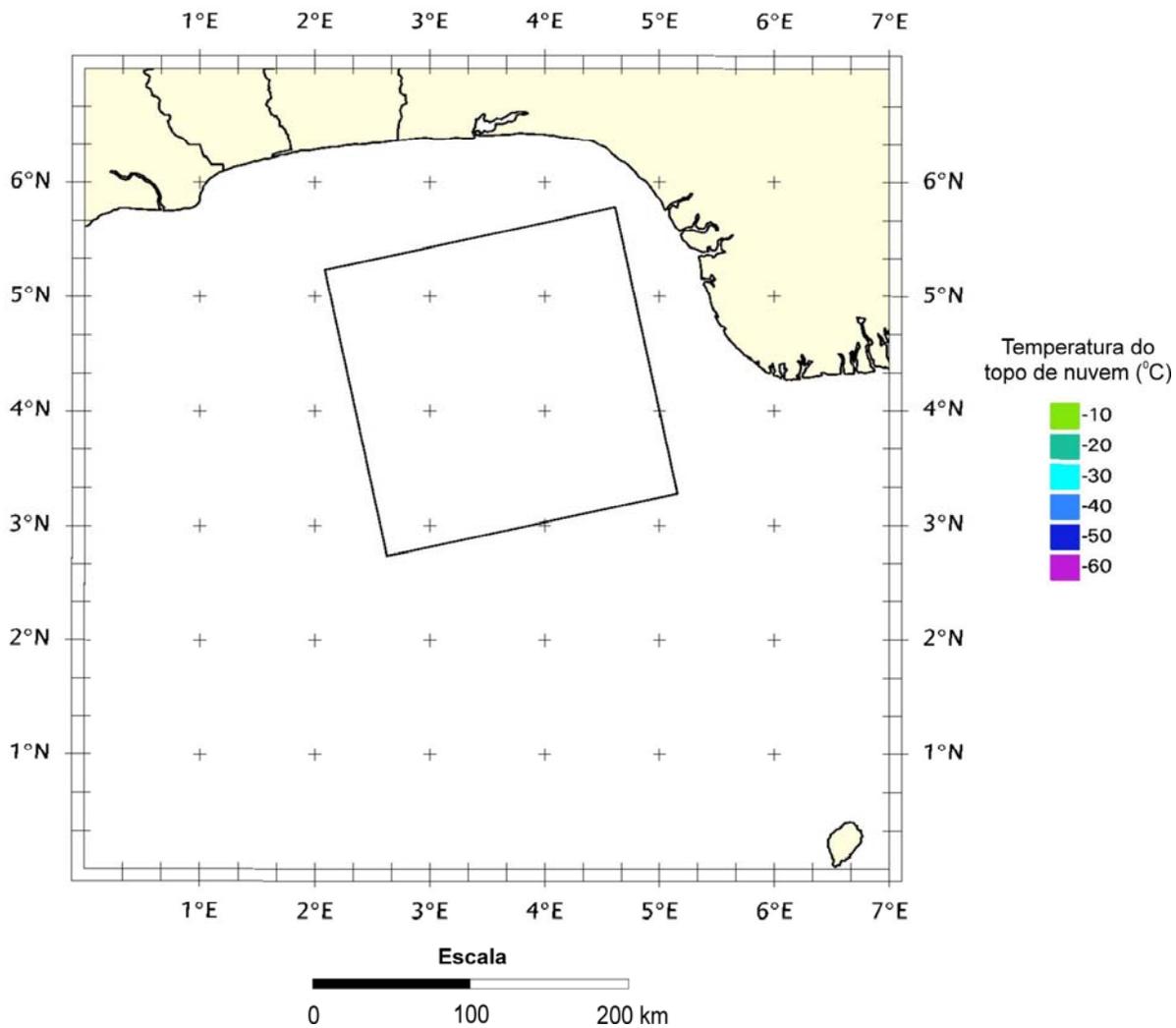


Figura A3.4 - Mapa de temperatura do topo de nuvem, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 08 de agosto de 1996, às 16:36:00 (UTC). A imagem foi adquirida uma hora e vinte dois minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

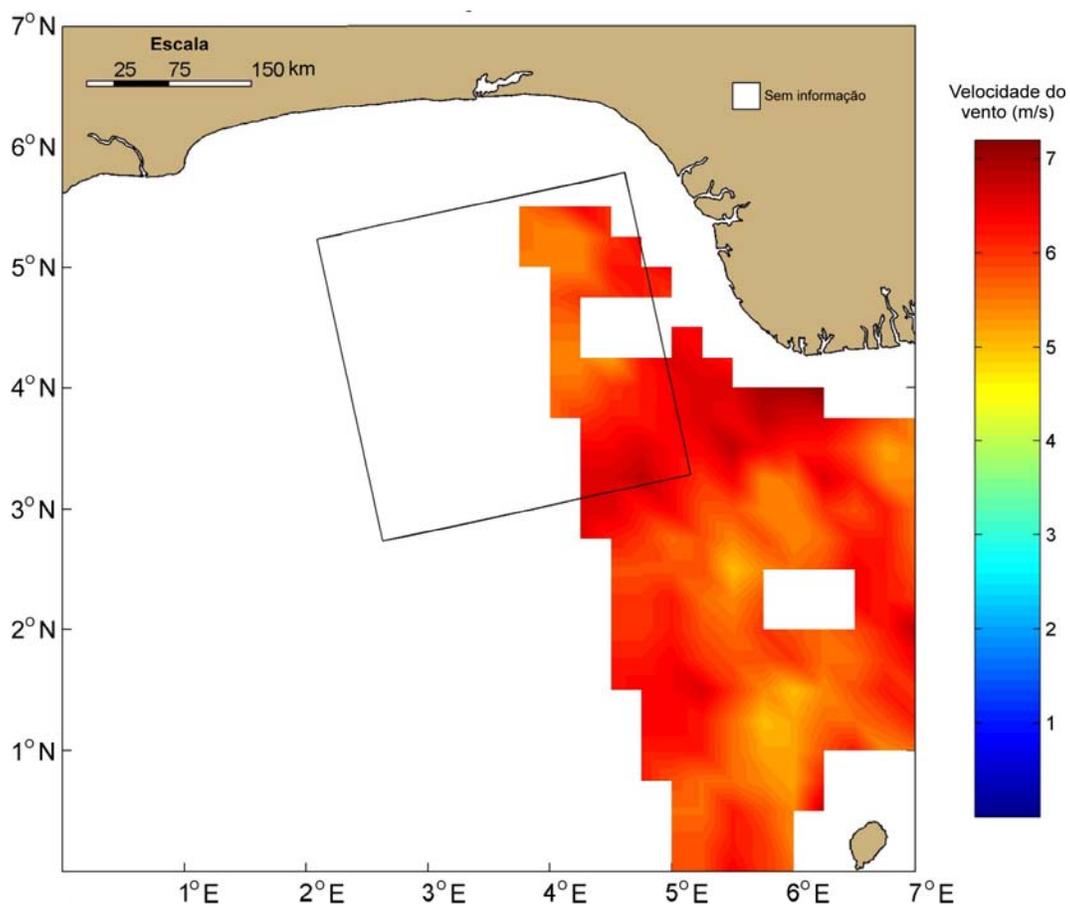


Figura A3.5 - Mapa de intensidade do campo de vento, obtido pelo sensor SSM/I em 08 de agosto de 1996, às 17:24:00 (UTC). O produto foi adquirido trinta e quatro minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

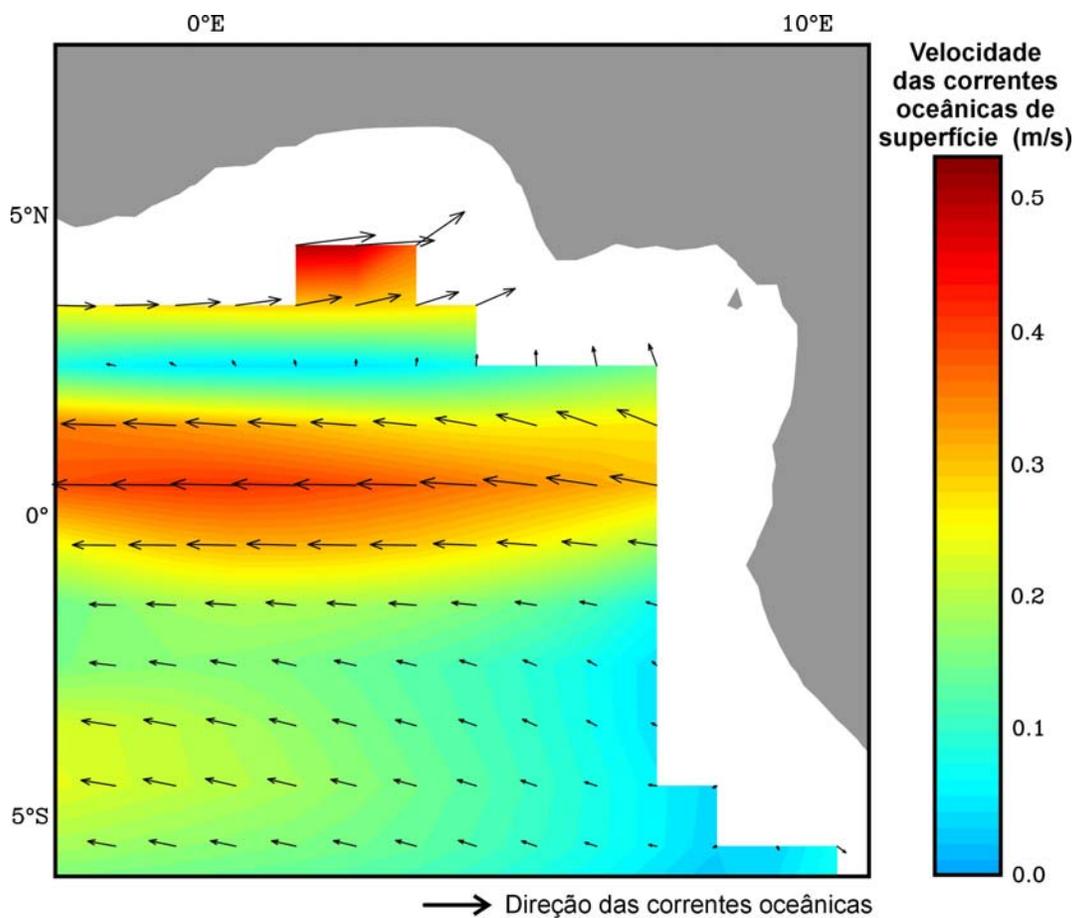
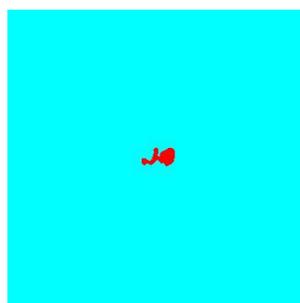
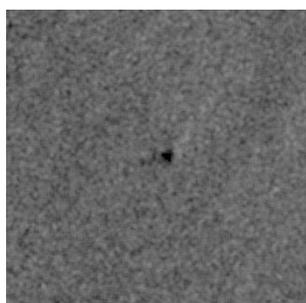


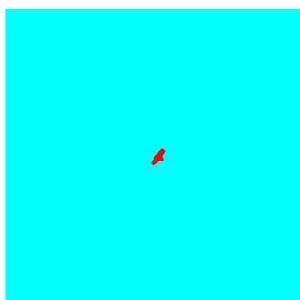
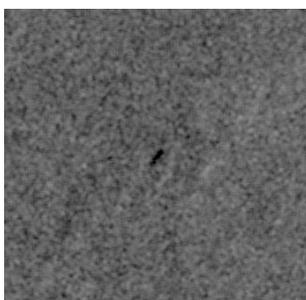
Figura A3.6 - Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 4 a 8 de agosto de 1996. As setas pretas indicam a direção das correntes que atuam na região.

POLÍGONO #01 08 - AGO -1996 SCN1



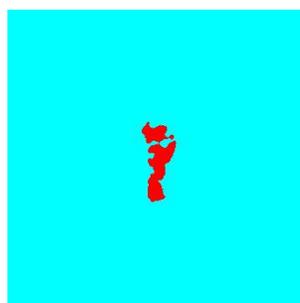
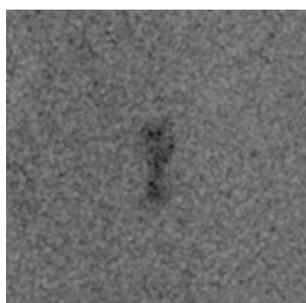
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 02' 56" E; 4° 40' 07" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2014,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,12
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 5,5 a 6
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano, nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nuvens, é de aproximadamente 24°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 25,52 km da exsudação #36 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #02 08 - AGO -1996 SCN1



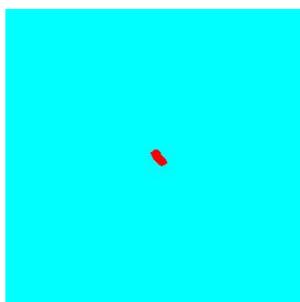
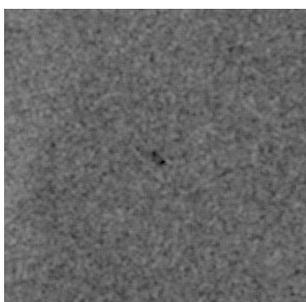
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 46' 15" E; 3° 26' 02" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -3798,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,36
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 6
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano, nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nuvens, é de aproximadamente 24°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área no domínio da planície abissal.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 44,22 km da exsudação #18 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #03 08 - AGO -1996 SCN1



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 14' 26" E; 3° 42' 36" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2951,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 4,31
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 6
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano, nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nuvens, é de aproximadamente 24°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,88 km da exsudação #29 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #04 08 - AGO -1996 SCN1



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 44' 50" E; 5° 38' 05" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1748,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,50
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 5,5 a 6
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano, nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nuvens, é de aproximadamente 24°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 18,98 km da exsudação #99 (26 de outubro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## **A3.2 – 18 DE FEVEREIRO DE 1998**

TIPO DE DADO	ANÁLISES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS
<b>TSM (NOAA-12) - Fig. A3.9</b>	O mapa de TSM foi confeccionado a partir dos dados adquiridos pelo sensor AVHRR, em 18 de fevereiro de 1998, às 13:10:00 (UTC). A imagem foi obtida quatro horas e quarenta e três minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. A área de estudo estava parcialmente coberta por nuvens no momento de aquisição da imagem pelo sensor AVHRR. O valor da temperatura da superfície do mar na área correspondente ao <i>frame</i> RADARSAT-1 livre de nebulosidade situa-se entre 25 <sup>o</sup> C e 26 <sup>o</sup> C. Não há fortes gradientes de temperatura afetando a rugosidade da superfície do mar.
<b>TTN (NOAA-12) - Fig. A3.10</b>	O mapa de TTN foi confeccionado a partir da imagem adquirida pelo sensor AVHRR, em 18 de fevereiro de 1998, às 13:10:00 (UTC). A imagem foi obtida quatro horas e quarenta e três minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. Neste mapa, não há evidências da presença de células de chuva afetando a rugosidade da superfície do mar. Porém, pode-se observar na imagem SAR uma série de feições de baixo e alto retorno, cuja configuração sugere, respectivamente, a ocorrência de chuvas e ventos fortes. Tais feições não foram observadas no mapa de TTN provavelmente devido ao longo tempo decorrido entre aquisição da imagem RADARSAT-1 e os dados do sensor AVHRR.
<b>M.I.C.V. (SSM/I) - Fig. A3.11</b>	As informações a respeito da intensidade do campo de vento não estavam disponíveis na área correspondente à imagem RADARSAT-1 adquirida em 18 de fevereiro de 1998. No entanto, há uma clara tendência da ocorrência de baixos ventos na porção noroeste do <i>frame</i> , o que poderia afetar a rugosidade da superfície do mar.
<b>V.M.C.S. (TOPEX/Poseidon e Jason-1) - Fig. A3.12</b>	Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 13 a 17 de fevereiro de 1998. A partir da longitude 2°E a Corrente da Guiné tende a fluir predominantemente no sentido NE, perpendicular a linha de costa e/ou isóbatas do Delta do Niger. A velocidade das correntes superficiais na Região do Golfo da Guiné situa-se entre 0,05 e 0,35 m/s.

**OBS:** TSM = temperatura da superfície do mar; TTN = temperatura do topo de nuvem; M.I.C.V. = mapa da intensidade do campo de vento; V.M.C.S.=velocidade média das correntes superficiais.

Tabela A3.2 - Análise dos dados meteorológicos e oceanográficos referentes à imagem RADARSAT-1 adquirida em 18 de fevereiro de 1998 (W1 - órbita ascendente).

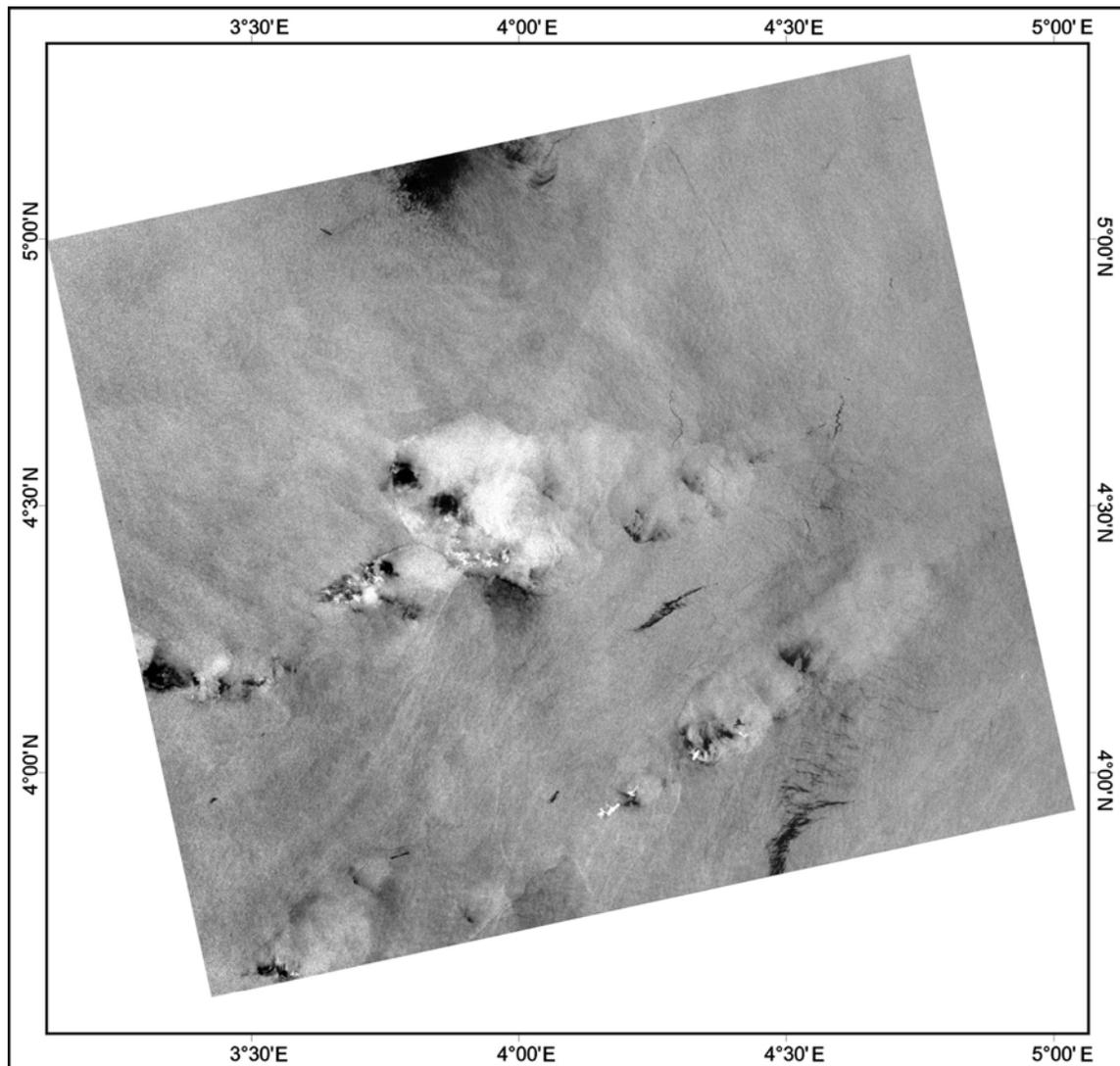


Figura A3.7 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 18 de fevereiro de 1998. Foi utilizado o filtro *Frost* para reduzir o ruído *speckle*. Não foi necessário o emprego de técnicas de realce de contraste, uma vez que as feições relacionadas às exsudações de óleo já se encontram bem discriminadas na imagem SAR filtrada.

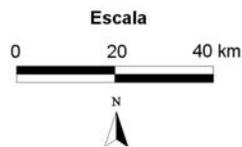
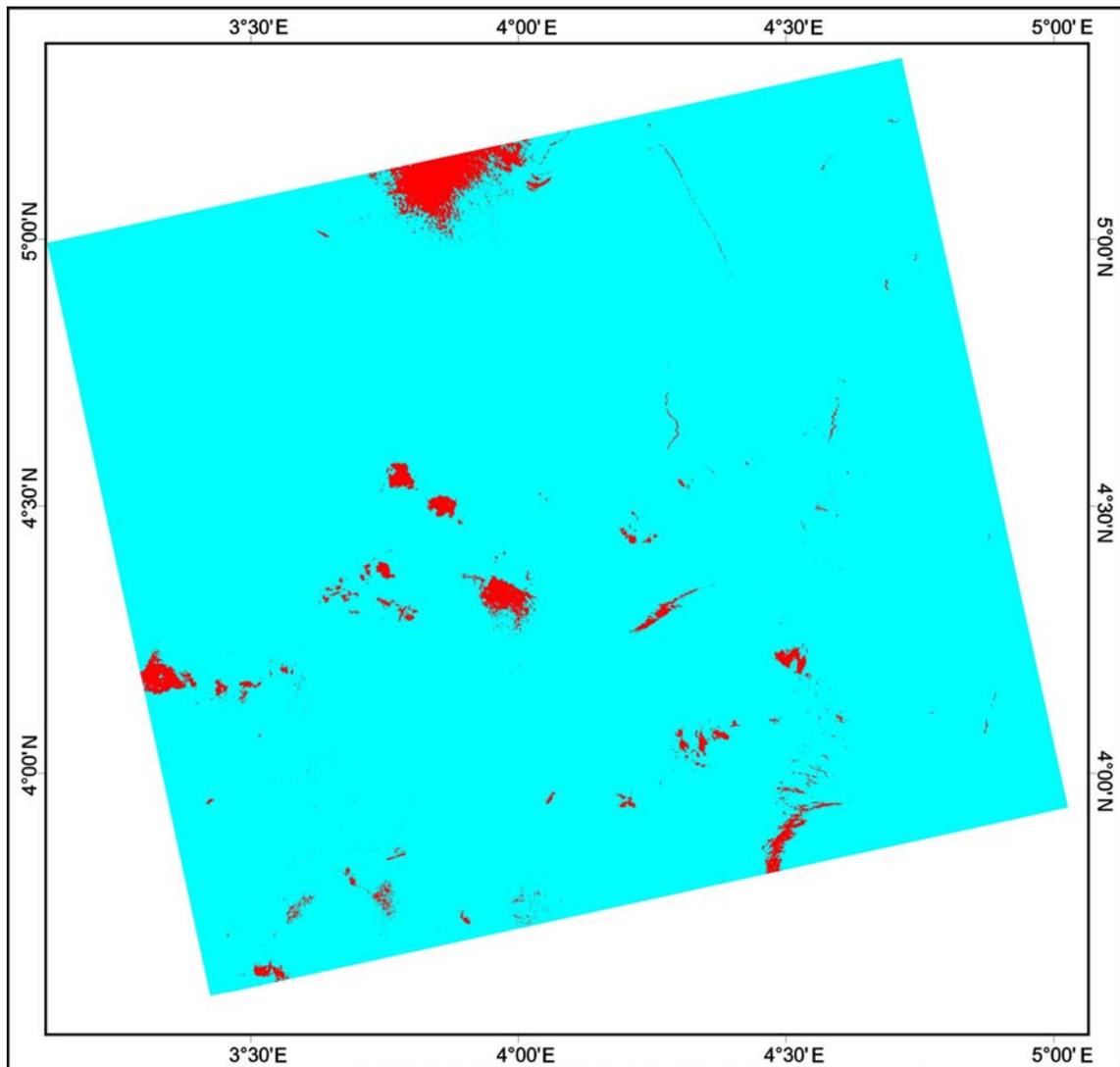


Figura A3.8 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente) de 18 de fevereiro de 1998, adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger, classificada pelo método USTC. A classe azul representa a superfície rugosa do mar, enquanto que a vermelha representa as superfícies lisas. As exsudações e os derramamentos de óleo identificados neste trabalho são incluídos na classe vermelha. Uma feição de baixo vento na borda norte da cena também foi classificada como uma superfície lisa. Na parte central da imagem, podem ocorrer células de chuva.

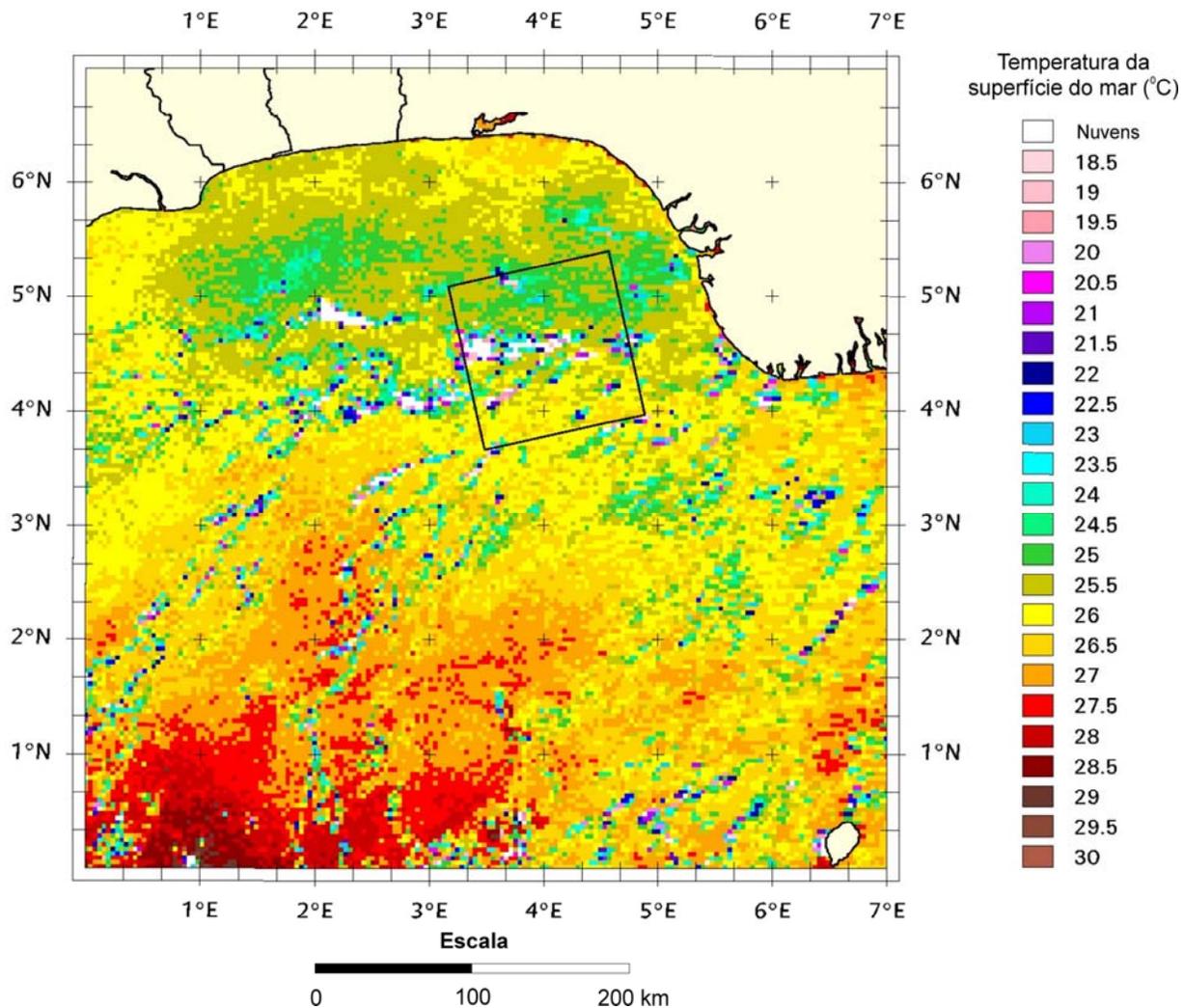


Figura A3.9 - Mapa de temperatura da superfície do mar, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 18 de fevereiro de 1998, às 13:10:00 (UTC). A imagem foi adquirida quatro horas e quarenta e três minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

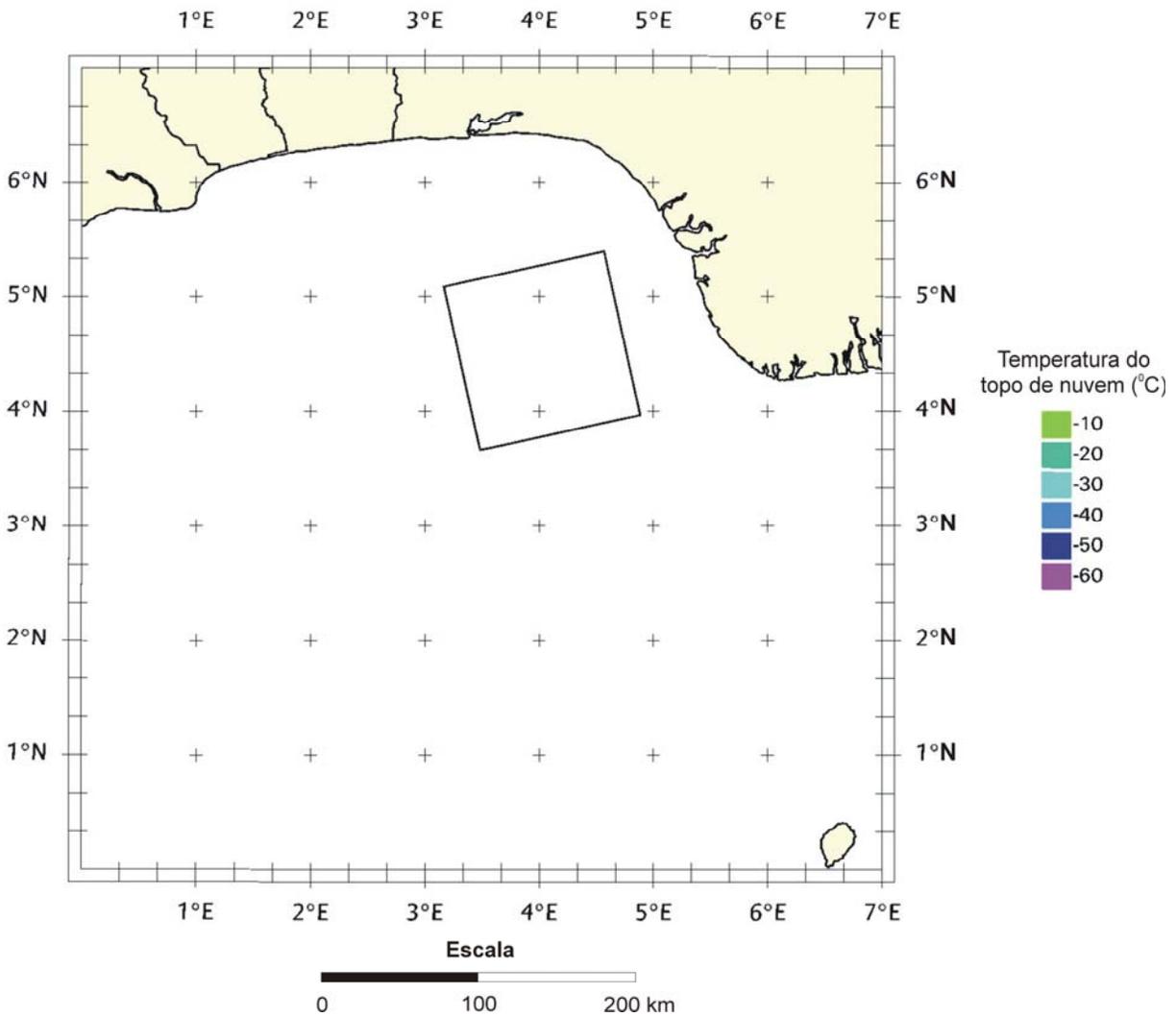


Figura A3.10 - Mapa de temperatura do topo de nuvem, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 18 de fevereiro de 1998, às 13:10:00 (UTC). A imagem foi adquirida quatro horas e quarenta e três minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

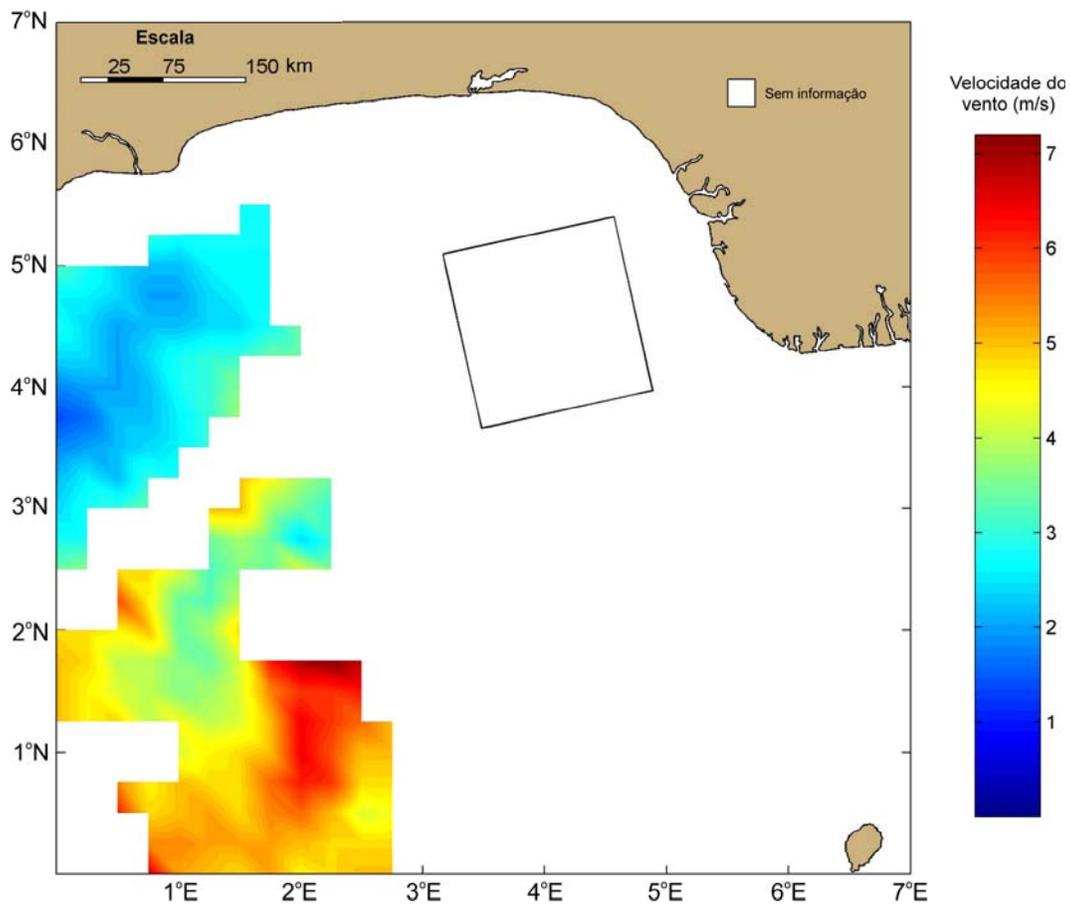


Figura A3.11 - Mapa de intensidade do campo de vento, obtido pelo sensor SSM/I em 18 de fevereiro de 1998, às 21:36:00 (UTC). O produto foi adquirido três horas e quarenta e três minutos depois da obtenção dos dados RADARSAT-1.

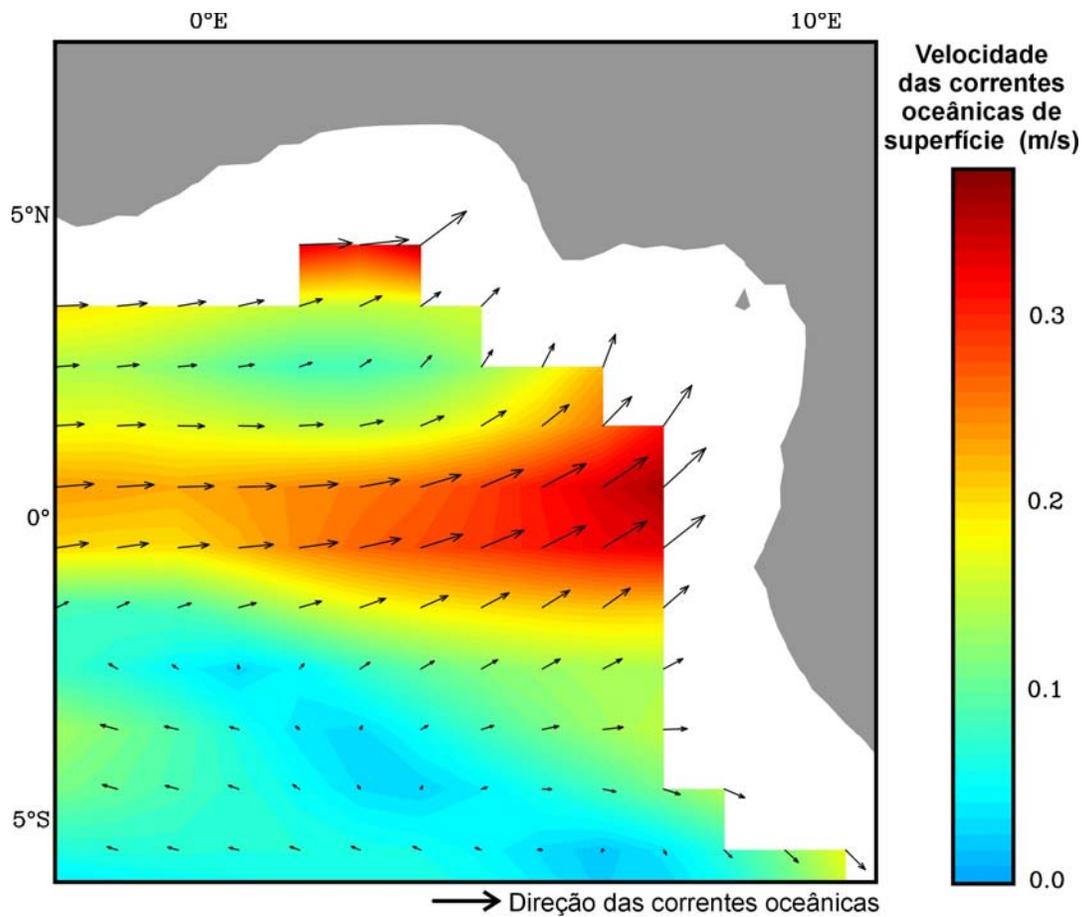
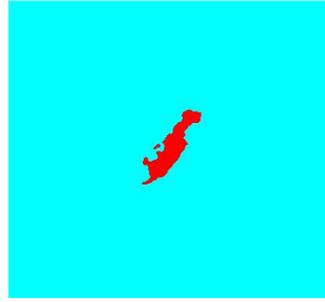
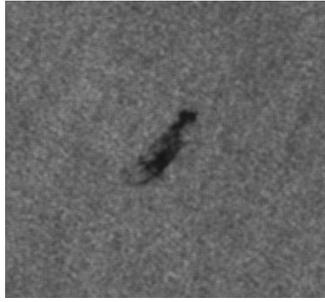


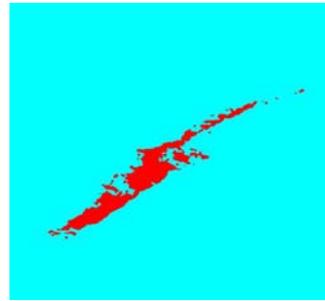
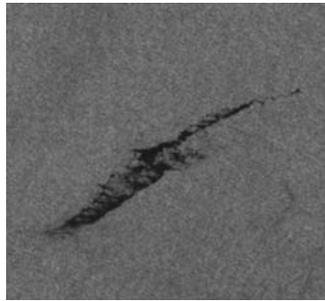
Figura A3.12 - Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 13 a 17 de fevereiro de 1998. As setas pretas indicam a direção das correntes que atuam na região.

POLÍGONO #07 18 - FEV -1998 W1



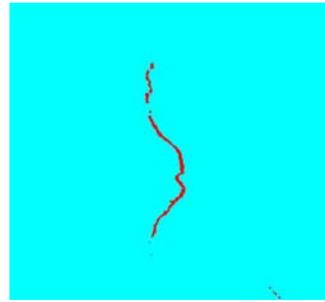
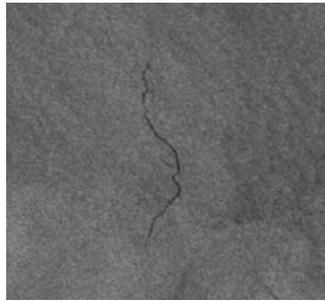
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 03' 49" E; 3° 56' 52" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2648,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,54
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 20,33 km da exsudação #33 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #08 18 - FEV -1998 W1



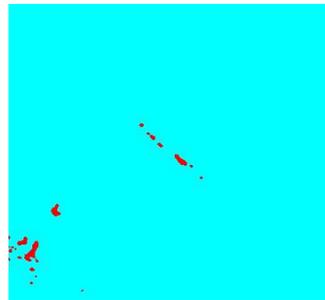
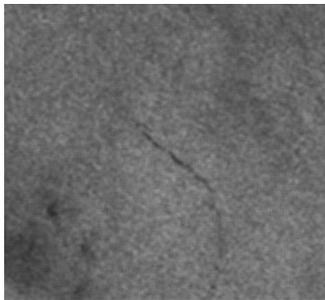
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 15' 42" E; 4° 17' 37" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1871,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 14,31
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 11,95 km da exsudação #52 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #09 18 - FEV -1998 W1



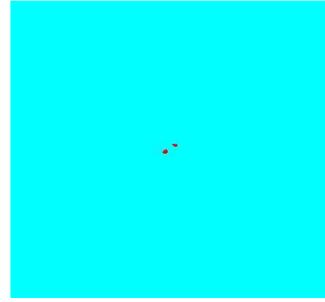
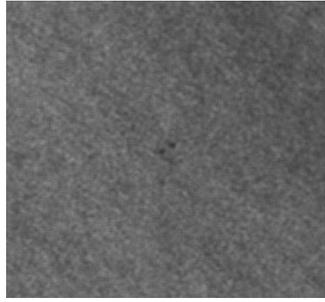
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 17' 54" E; 4° 38' 28" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1372,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,14
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 0,53 km da exsudação #51 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #10 18 - FEV -1998 W1



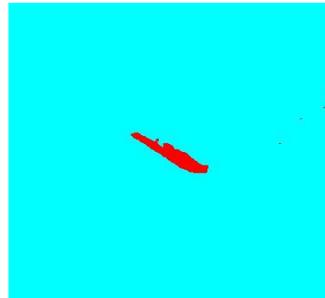
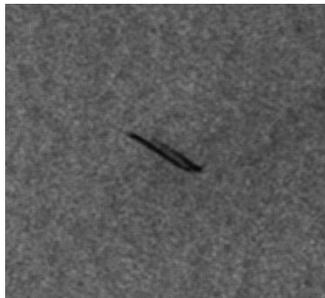
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 22' 03" E; 4° 33' 42" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1193,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,12
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 6,95 km da exsudação #51 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Associação espacial com amplas regiões de mar calmo resultantes da baixa velocidade dos ventos (<3,0m/s).

## POLÍGONO #11 18 - FEV -1998 W1



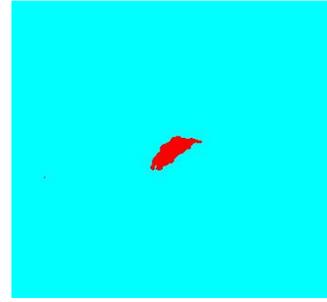
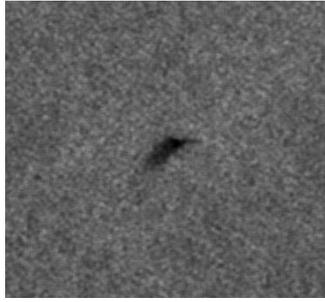
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 16' 59" E; 4° 45' 33" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1442,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,03
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,31 km da exsudação #70 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #12 18 - FEV -1998 W1



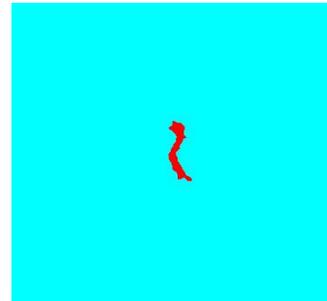
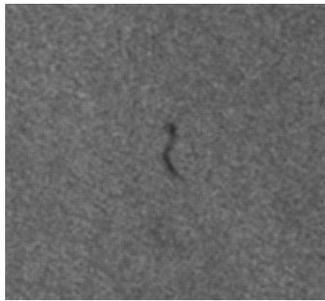
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 38' 19" E; 5° 00' 38" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2372,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,03
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 26,18 km da exsudação #36 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #13 18 - FEV -1998 W1



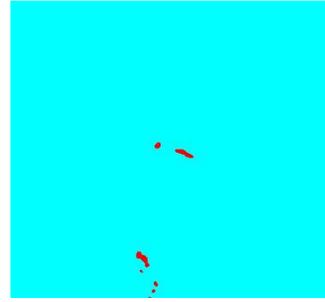
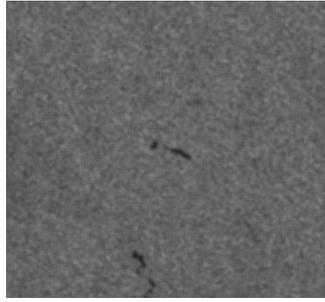
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 25' 45" E; 3° 56' 28" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -3607,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,83
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área no domínio da planície abissal.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 21,63 km da exsudação #34 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #14 18 - FEV -1998 W1



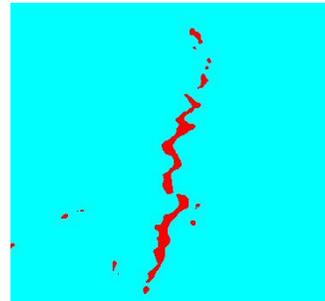
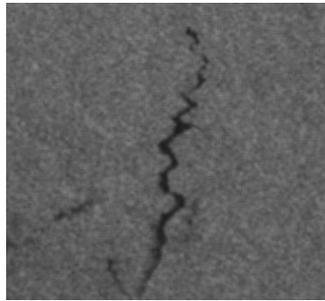
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 41' 26" E; 4° 54' 48" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -538,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,55
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,42 km da exsudação #62 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #15 18 - FEV -1998 W1



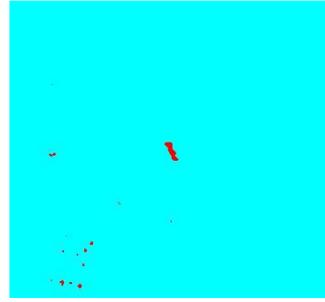
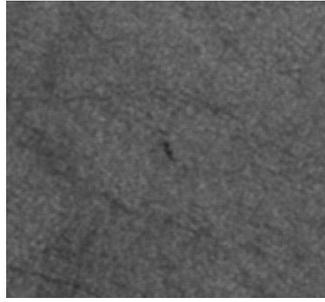
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 36' 44" E; 4° 43' 56" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -743,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,11
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 7,53 km da exsudação #43 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #16 18 - FEV -1998 W1



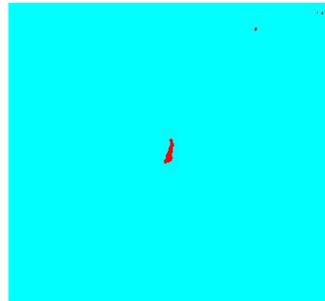
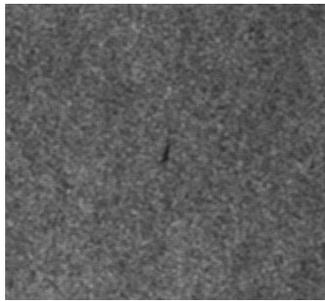
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 35' 37" E; 4° 39' 38" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -862,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,05
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 0,33 km da exsudação #59 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #17 18 - FEV -1998 W1



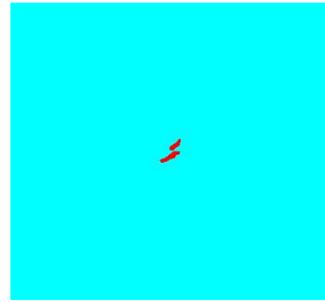
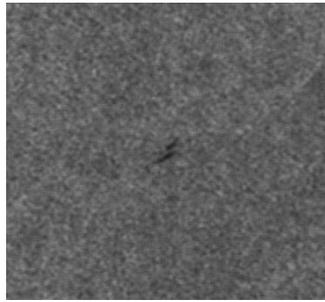
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 37' 09" E; 4° 33' 36" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -974,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,10
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 7,51 km da exsudação #59 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Associação espacial com amplas regiões de mar calmo resultantes da baixa velocidade dos ventos (<3,0m/s).

POLÍGONO #18 18 - FEV -1998 W1



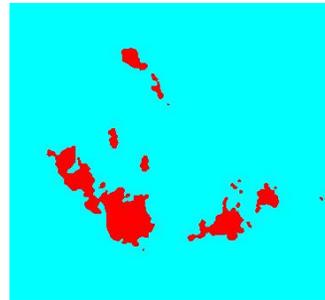
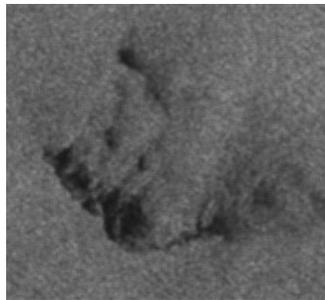
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 27' 42" E; 3° 41' 24" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -3677,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,11
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área no domínio da planície abissal.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 15,80 km da exsudação #34 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #19 18 - FEV -1998 W1

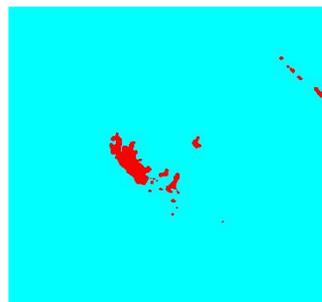
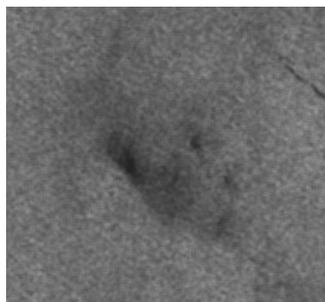


- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 31' 13" E; 4° 03' 49" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -3357,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,16
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área no domínio da planície abissal.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 29,73 km da exsudação #34 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #20 18 - FEV -1998 W1



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 12' 32" E; 4° 26' 29" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1769,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 5,94
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 0,00 km da exsudação #52 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Associação espacial com amplas regiões de mar calmo resultantes da baixa velocidade dos ventos (<3,0m/s).



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 18' 31" E; 4° 32' 28" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1287,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,29
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 25° e 26°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 0,00 km da exsudação #51 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Associação espacial com amplas regiões de mar calmo resultantes da baixa velocidade dos ventos (<3,0m/s).

### **A3.3 – 25 DE JANEIRO DE 1998**

TIPO DE DADO	ANÁLISES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS
<b>TSM (NOAA-12) - Fig. A3.15</b>	O mapa de TSM foi confeccionado a partir dos dados adquiridos pelo sensor AVHRR, em 25 de janeiro de 1998, às 16:16:00 (UTC). A imagem foi obtida uma hora e trinta sete minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. A área de estudo estava quase inteiramente livre da ação de nuvens no momento de aquisição da imagem pelo sensor AVHRR. O valor da temperatura da superfície do mar na área correspondente ao <i>frame</i> RADARSAT-1 livre de nebulosidade situa-se entre 26 <sup>o</sup> C e 27 <sup>o</sup> C. Não há fortes gradientes de temperatura afetando a rugosidade da superfície do mar.
<b>TTN (NOAA-12) - Fig. A3.16</b>	O mapa de TTN foi confeccionado a partir da imagem adquirida pelo sensor AVHRR, em 25 de janeiro de 1998, às 16:16:00 (UTC). A imagem foi obtida uma hora e trinta sete minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. Neste mapa, não há evidências da presença de células de chuva afetando a rugosidade da superfície do mar. Porém, na imagem SAR, pode-se observar uma série de feições de baixo retorno, cuja configuração sugere uma superfície amortecida pela presença de chuvas fortes. No entanto, tais feições não foram observadas no mapa de TTN provavelmente devido ao tempo decorrido entre aquisição da imagem RADARSAT-1 e os dados do sensor AVHRR.
<b>M.I.C.V. (SSM/I) - Fig. A3.17</b>	As informações a respeito da intensidade do campo de vento não estavam disponíveis na área correspondente à imagem RADARSAT-1 adquirida em 25 de janeiro de 1998.
<b>V.M.C.S. (TOPEX/Poseidon e Jason-1) - Fig. A3.18</b>	Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 24 a 28 de janeiro de 1998. A partir da longitude 2°E a Corrente da Guiné tende a fluir no sentido NE, perpendicular a linha de costa e/ou isóbatas do Delta do Niger. A velocidade das correntes superficiais na Região do Golfo da Guiné situa-se entre 0,05 e 0,30 m/s.

**OBS:** TSM = temperatura da superfície do mar; TTN = temperatura do topo de nuvem; M.I.C.V. = mapa da intensidade do campo de vento; V.M.C.S.=velocidade média das correntes superficiais.

Tabela A3.3 - Análise dos dados meteorológicos e oceanográficos referentes à imagem RADARSAT-1 adquirida em 25 de janeiro de 1998 (W1 - órbita ascendente).

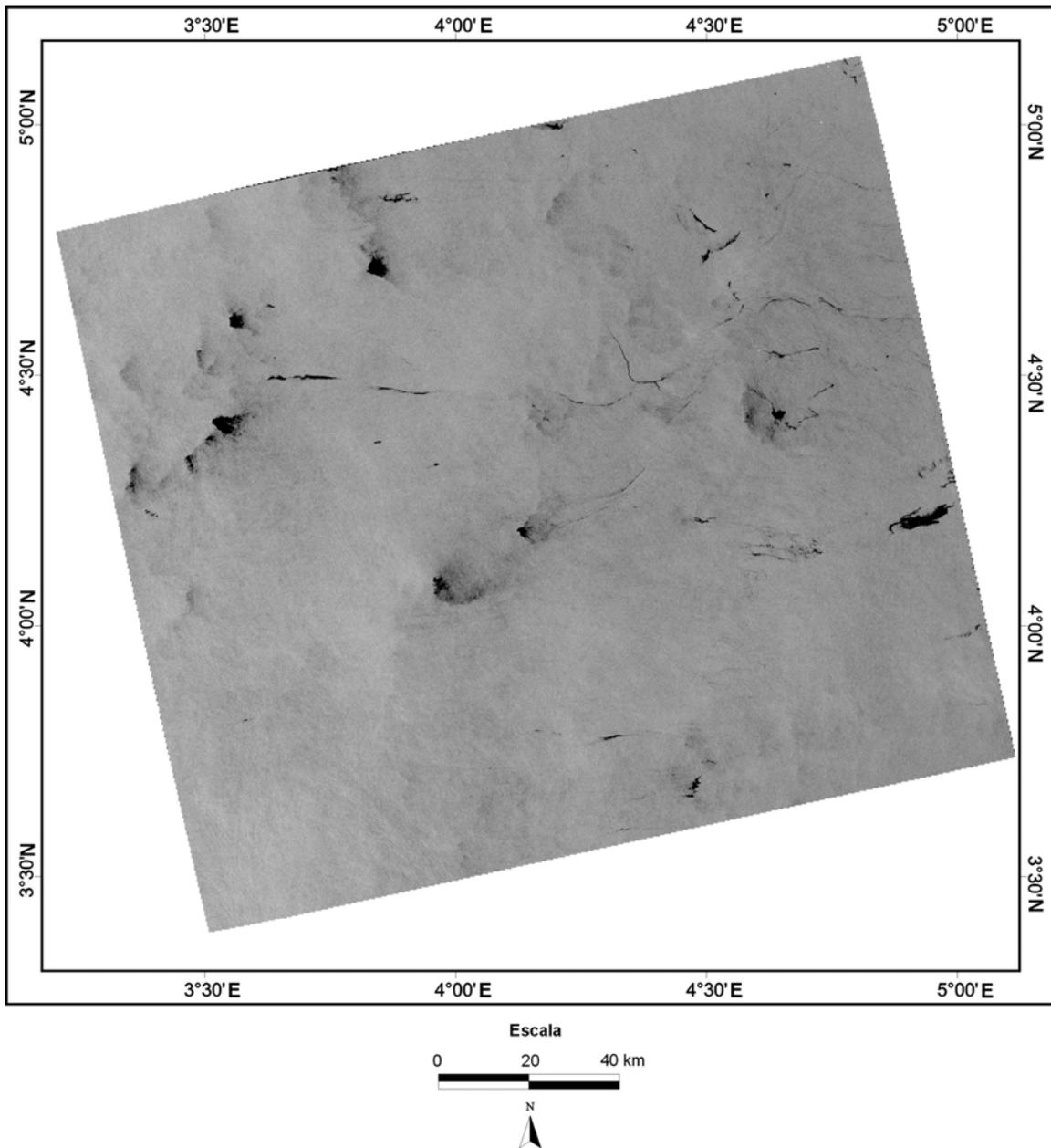


Figura A3.13 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (*W1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 25 de janeiro de 1998. Foi utilizado o filtro *Frost* para reduzir o ruído *speckle*. Não foi necessário o emprego de técnicas de realce de contraste, uma vez que as feições relacionadas às exsudações de óleo já se encontram bem discriminadas na imagem SAR filtrada.

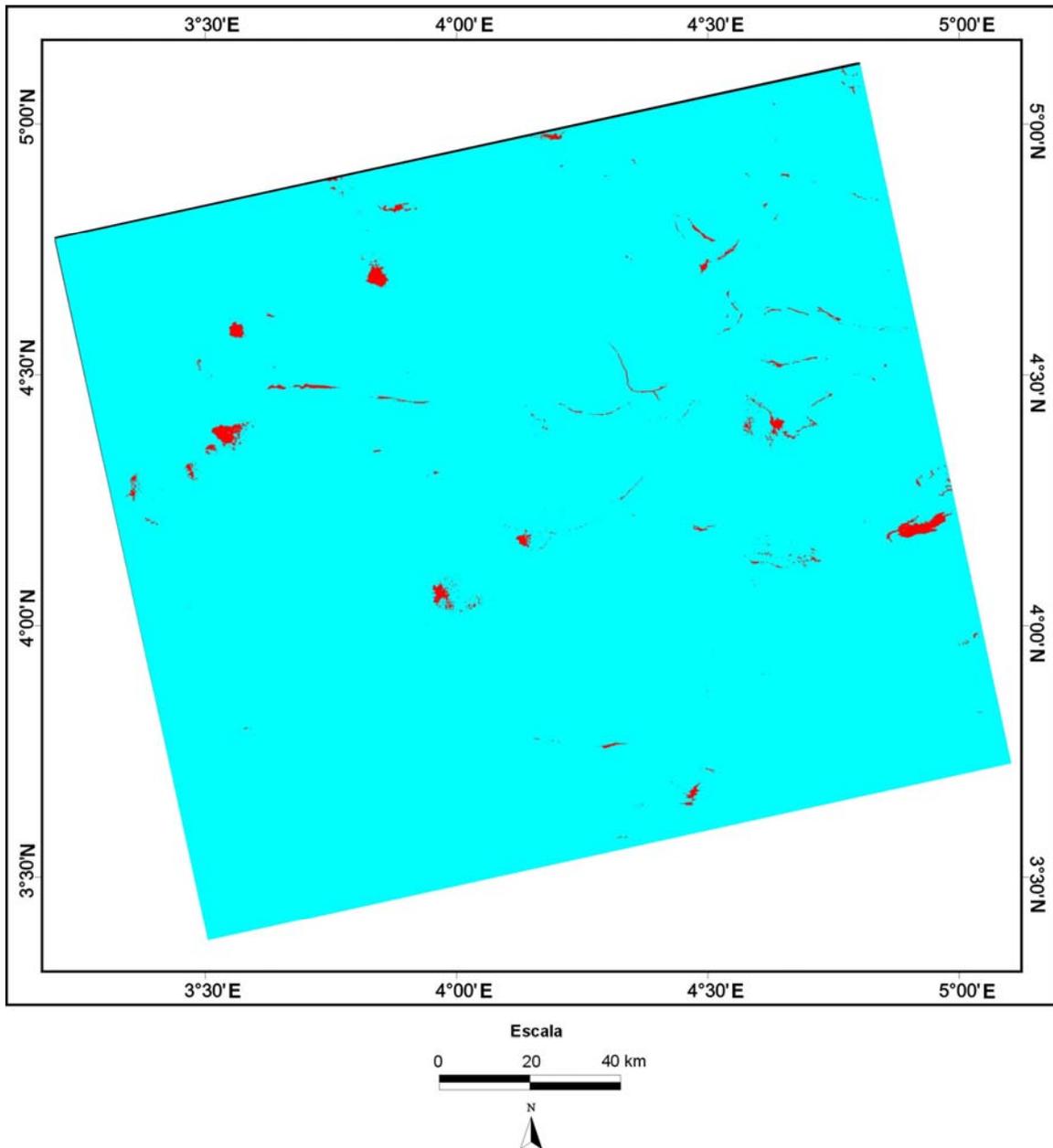


Figura A3.14 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (W1 - órbita ascendente) de 25 de janeiro de 1998, adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger, classificada pelo método USTC. A classe azul representa a superfície rugosa do mar, enquanto que a vermelha representa as superfícies lisas. As exsudações e os derramamentos de óleo identificados neste trabalho são incluídos na classe vermelha.

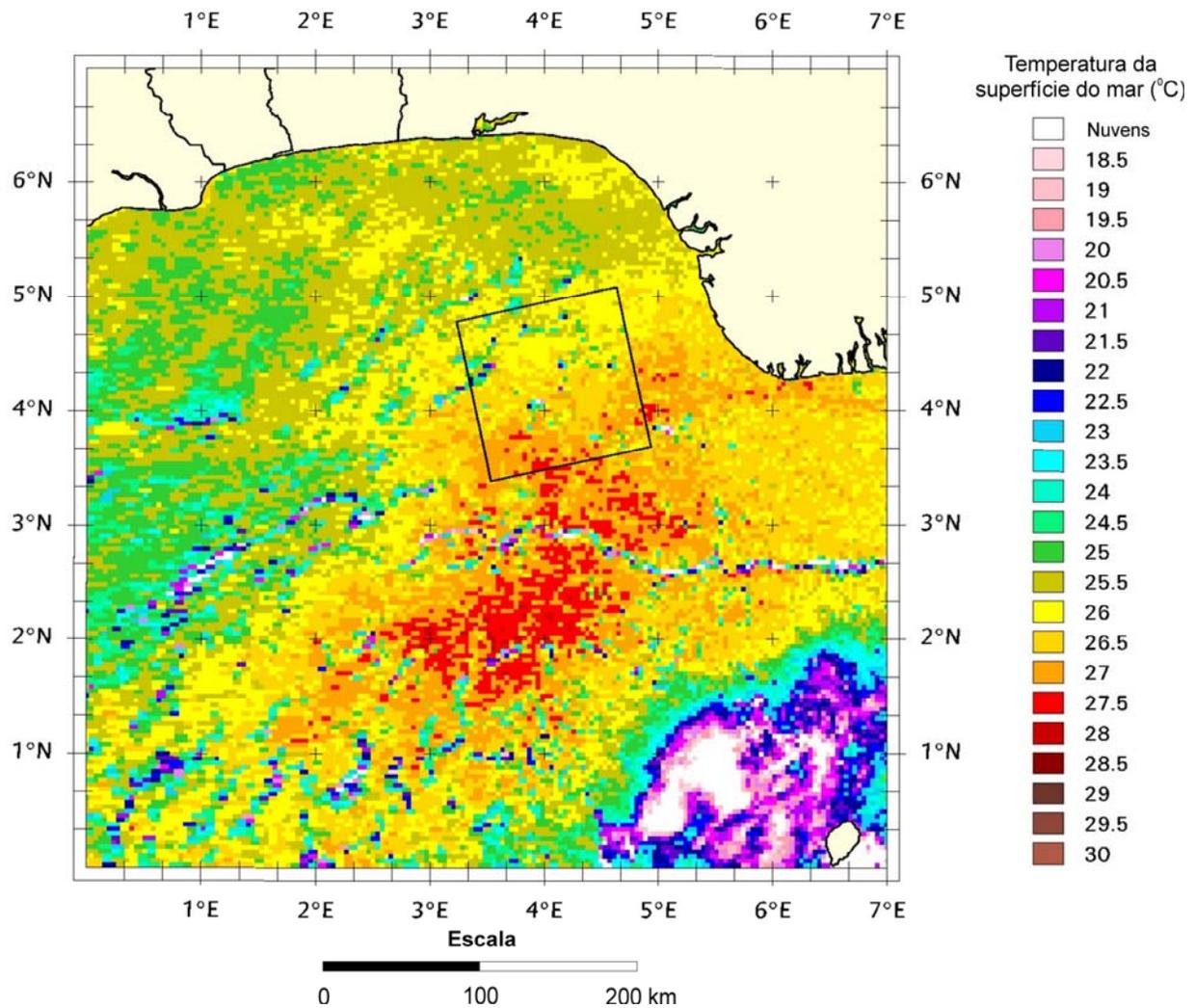


Figura A3.15 - Mapa de temperatura da superfície do mar, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 25 de janeiro de 1998, às 16:16:00 (UTC). A imagem foi adquirida uma hora e trinta e sete minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

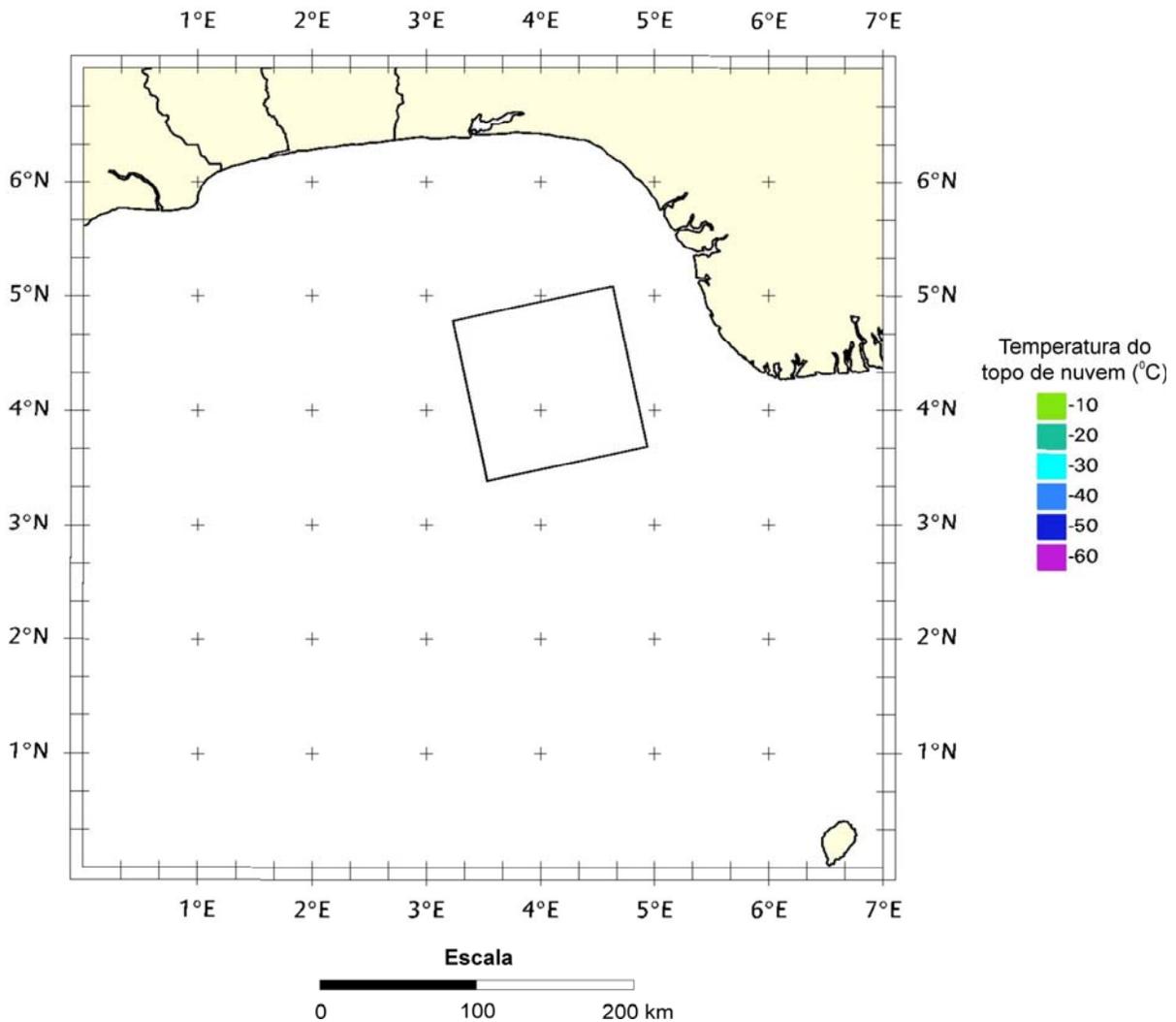


Figura A3.16 - Mapa de temperatura do topo de nuvem, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 25 de janeiro de 1998, às 16:16:00 (UTC). A imagem foi adquirida uma hora e trinta e sete minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

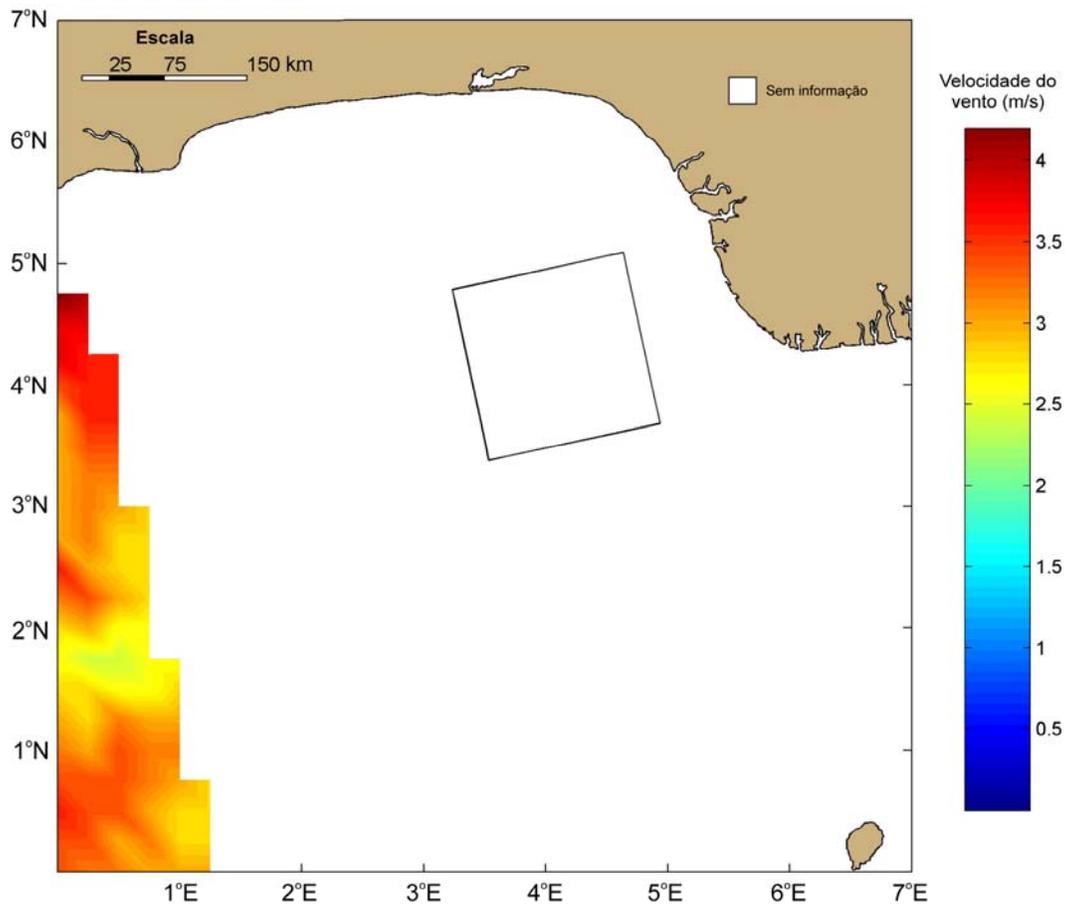


Figura A3.17 - Mapa de intensidade do campo de vento, obtido pelo sensor SSM/I em 25 de janeiro de 1998, às 12:36:00 (UTC). O produto foi adquirido cinco horas e dezessete minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

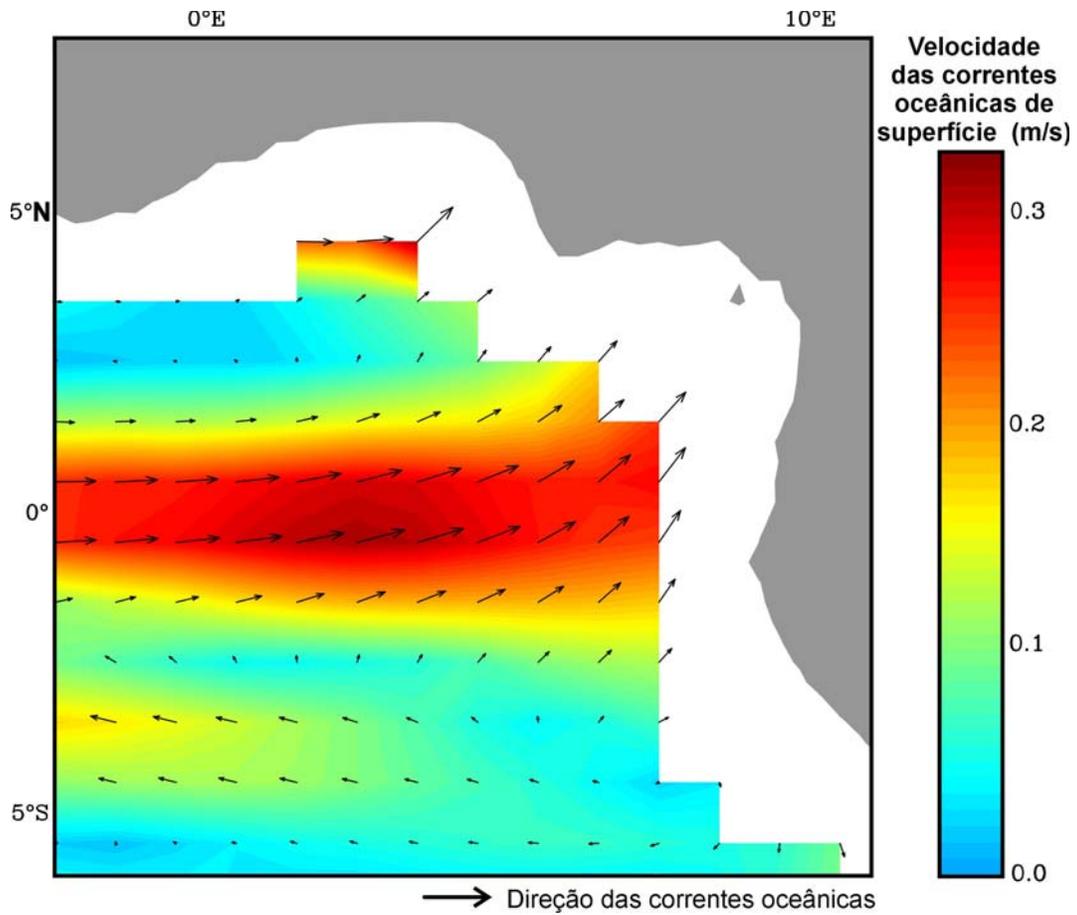
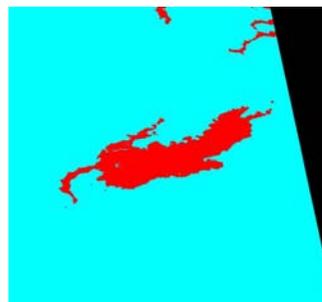
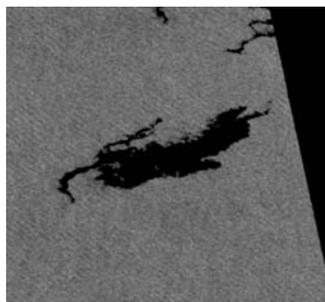


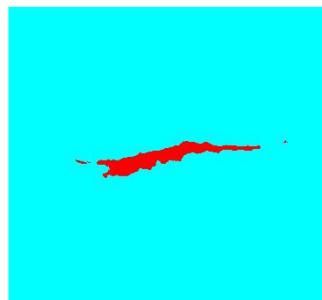
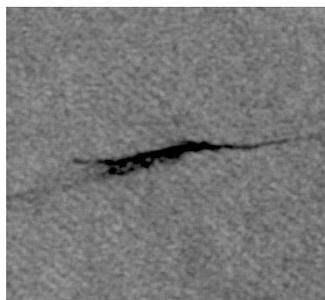
Figura A3.18 - Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 24 a 28 de janeiro de 1998. As setas pretas indicam a direção das correntes que atuam na região.

POLÍGONO #28 25 - JAN -1998 W1



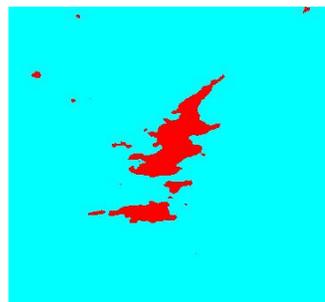
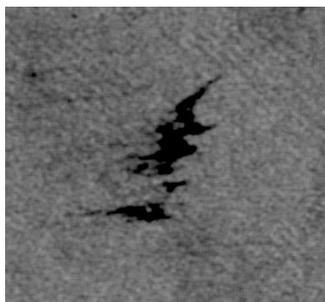
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 54' 34" E; 4° 12' 06" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1033,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 30,37
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 12,66 km da exsudação #109 (26 de outubro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** (1) Possível associação espacial com descarte de embarcações; (2) Exsudação localizada na borda da imagem SAR.

POLÍGONO #29 25 - JAN -1998 W1



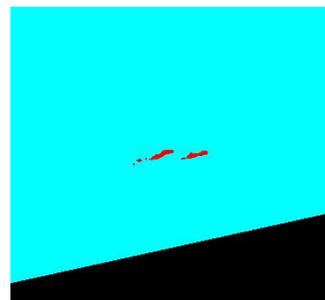
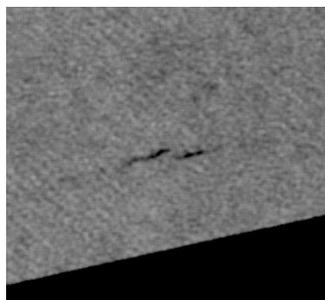
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 18' 00" E; 3° 45' 43" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2656,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,01
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,88 km da exsudação #03 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #30 25 - JAN -1998 W1



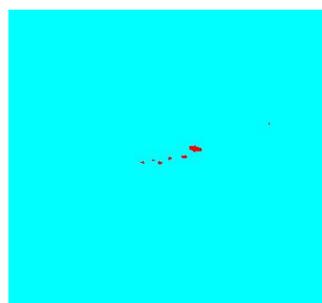
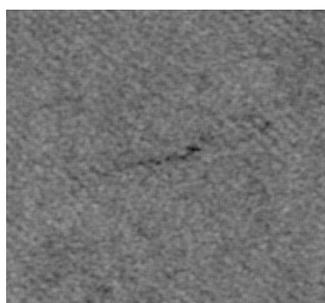
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 27' 30" E; 3° 40' 20" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2718,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 4,77
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 21,95 km da exsudação #03 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #31 25 - JAN -1998 W1



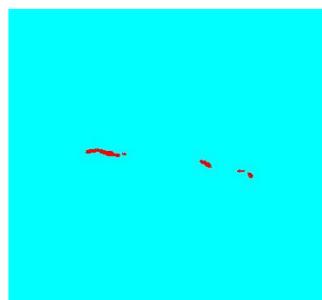
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 18' 46" E; 3° 34' 42" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -3249,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,24
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área no domínio da planície abissal.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 14,61 km da exsudação #03 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #32 25 - JAN -1998 W1



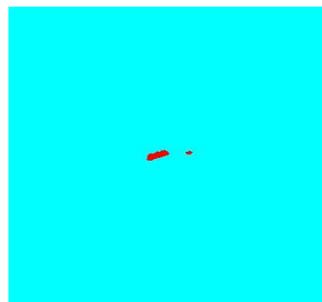
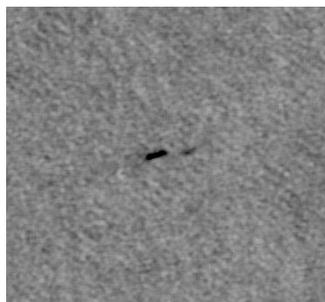
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 21' 24" E; 3° 38' 35" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2939,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,11
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 12,25 km da exsudação #03 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #33 25 - JAN -1998 W1



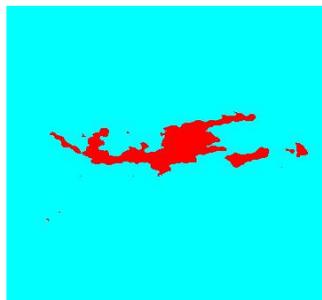
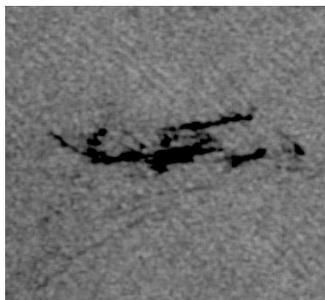
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 08' 43" E; 3° 46' 31" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2932,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,22
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 6,32 km da exsudação #03 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #34 25 - JAN -1998 W1



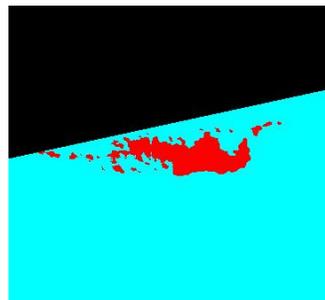
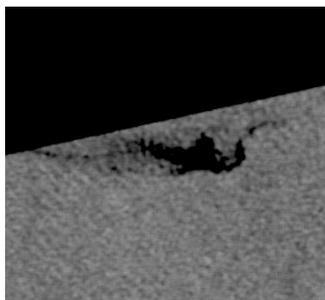
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 33' 52" E; 3° 47' 47" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -3571,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,18
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área no domínio da planície abissal.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 15,80 km da exsudação #18 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #36 25 - JAN -1998 W1



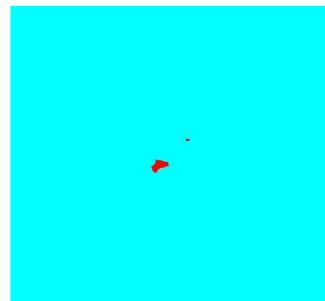
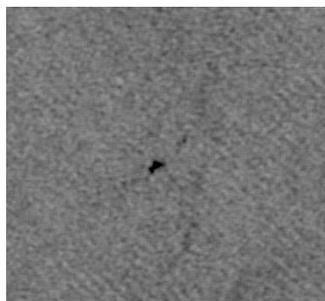
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 51' 49" E; 4° 50' 44" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2168,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 4,48
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 8,68 km da exsudação #123 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #37 25 - JAN -1998 W1



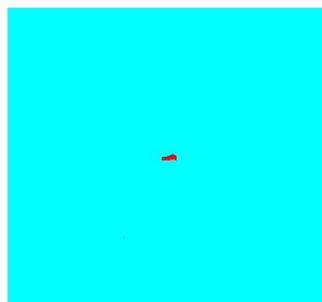
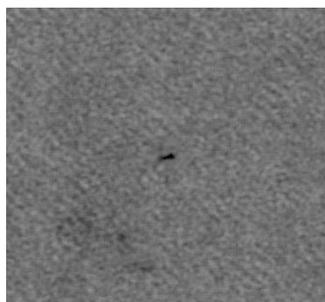
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 10' 06" E; 4° 59' 26" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1356,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 3,97
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 26,89 km da exsudação #11 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** (1) Possível associação espacial com descarte de embarcações; (2) Exsudação localizada na borda da imagem SAR.

POLÍGONO #38 25 - JAN -1998 W1



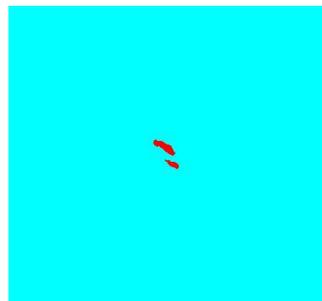
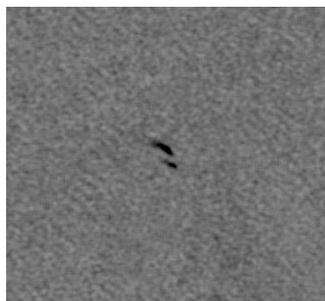
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 11' 43" E; 4° 55' 45" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1342,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,14
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 21,14 km da exsudação #11 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #39 25 - JAN -1998 W1



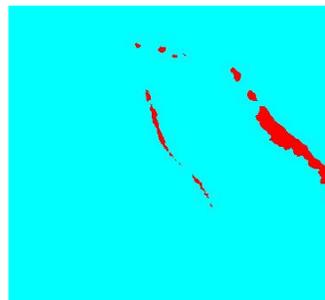
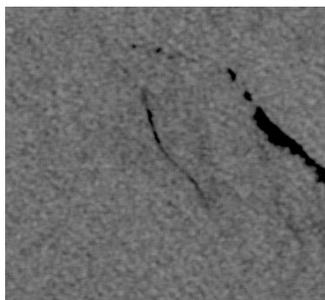
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 16' 59" E; 4° 54' 34" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1293,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,08
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 16,48 km da exsudação #11 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #40 25 - JAN -1998 W1



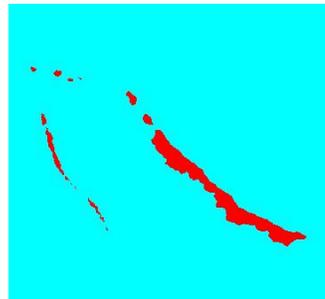
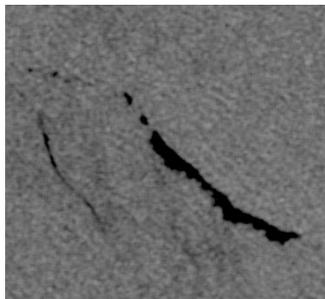
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 20' 19" E; 4° 56' 26" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1255,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,23
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 20,15 km da exsudação #11 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #41 25 - JAN -1998 W1



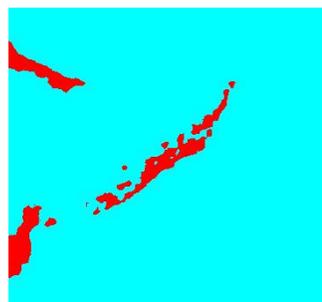
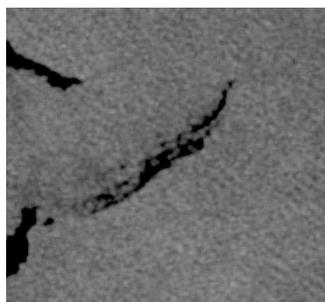
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 25' 32" E; 4° 48' 19" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1073,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,35
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 13,83 km da exsudação #125 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #42 25 - JAN -1998 W1



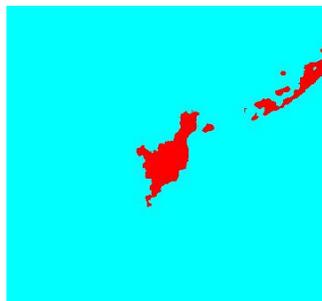
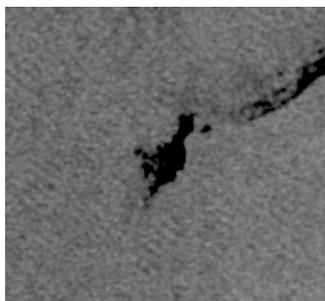
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 27' 38" E; 4° 48' 14" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1006,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,94
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 12,23 km da exsudação #125 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #43 25 - JAN -1998 W1



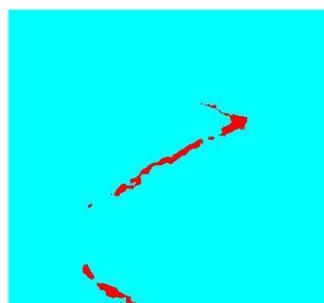
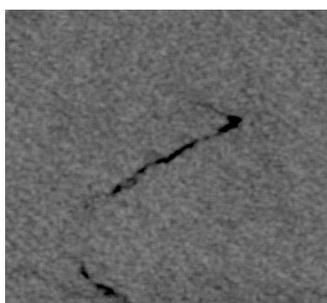
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 32' 01" E; 4° 45' 31" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -909,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,85
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 7,53 km da exsudação #15 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #44 25 - JAN -1998 W1



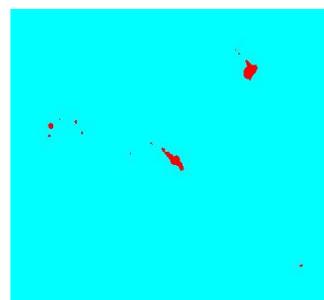
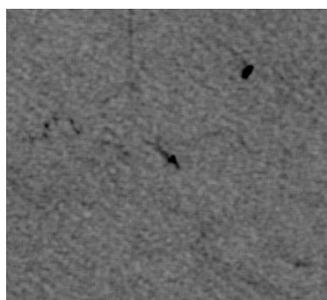
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 28' 55" E; 4° 43' 36" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1002,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,55
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 5,04 km da exsudação #125 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #46 25 - JAN -1998 W1



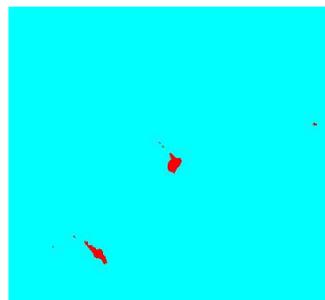
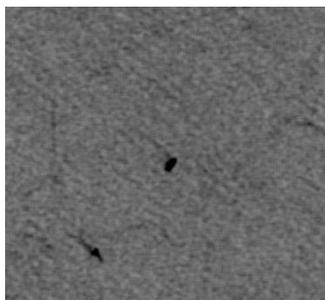
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 42' 19" E; 4° 27' 17" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -982,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,06
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 14,65 km da exsudação #17 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #47 25 - JAN -1998 W1



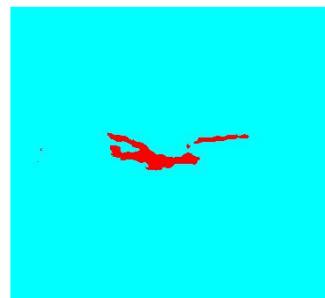
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 48' 58" E; 4° 30' 03" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -672, 00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,19
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 21,76 km da exsudação #17 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Associação espacial com amplas regiões de mar calmo resultantes da baixa velocidade dos ventos (<3.0 m/s).

POLÍGONO #48 25 - JAN -1998 W1



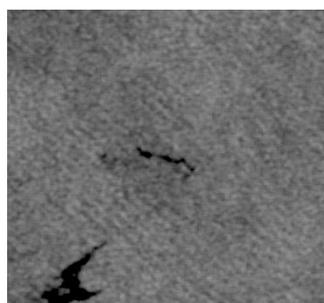
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 50' 30" E; 4° 31' 40" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -581,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,18
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 24,59 km da exsudação #17 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #49 25 - JAN -1998 W1



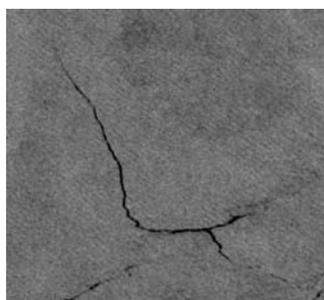
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 28' 09" E; 4° 11' 56" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1409,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,62
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 11,00 km da exsudação #118 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #50 25 - JAN -1998 W1



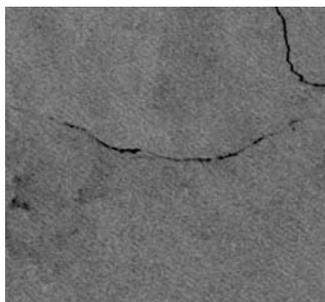
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 29' 41" E; 3° 42' 44" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2524,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,44
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 26,38 km da exsudação #03 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #51 25 - JAN -1998 W1



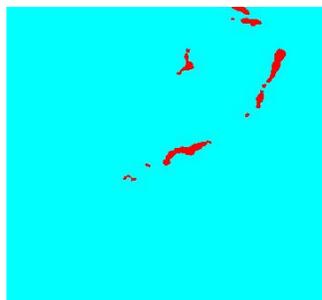
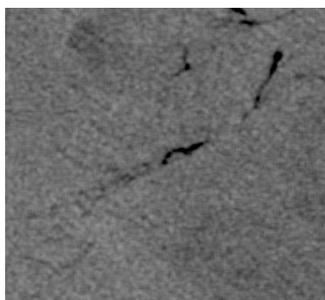
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 19' 32" E; 4° 30' 17" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1251,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 3,63
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 0,00 km da exsudação #21 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #52 25 - JAN -1998 W1



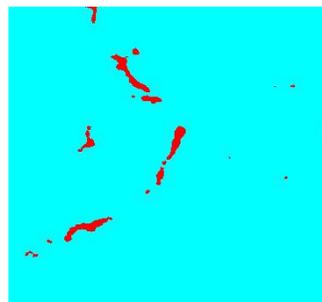
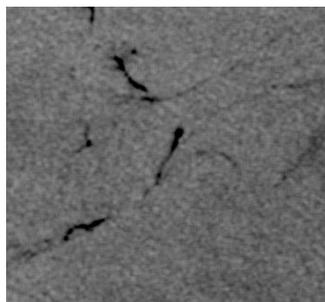
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 17' 31" E; 4° 25' 56" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1663,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,69
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 0,00 km da exsudação #20 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #53 25 - JAN -1998 W1



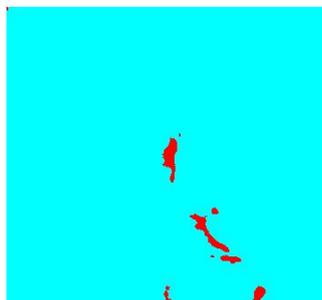
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 31' 12" E; 4° 35' 49" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1025,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,41
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 5,88 km da exsudação #16 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #54 25 - JAN -1998 W1



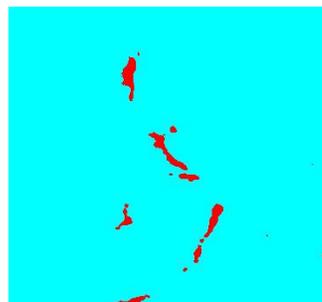
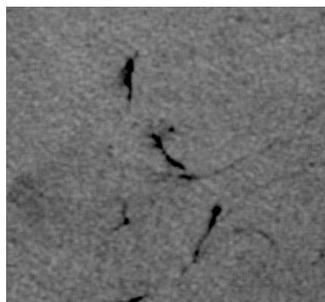
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 33' 12" E; 4° 37' 34" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -952,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,36
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 3,22 km da exsudação #16 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #55 25 - JAN -1998 W1



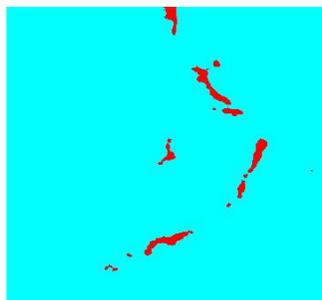
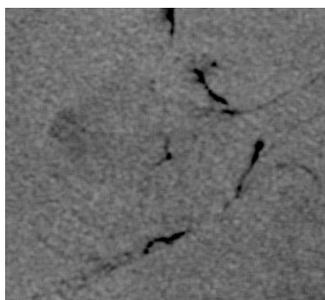
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 31' 39" E; 4° 40' 15" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -937,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,41
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,70 km da exsudação #125 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #56 25 - JAN -1998 W1



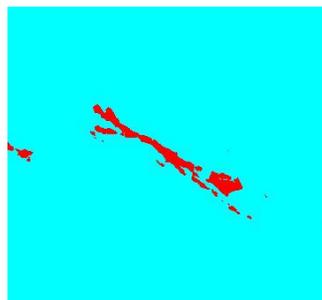
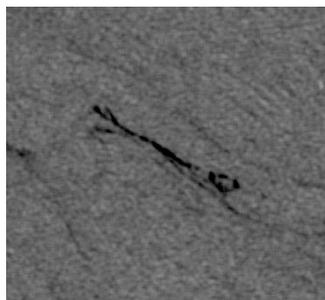
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 32' 18" E; 4° 38' 52" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -931,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,52
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,23 km da exsudação #16 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #57 25 - JAN -1998 W1



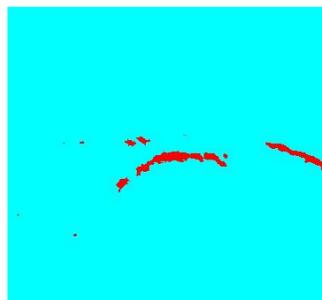
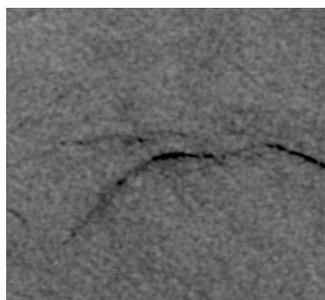
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 31' 36" E; 4° 37' 36" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -966,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,12
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 6,05 km da exsudação #125 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #58 25 - JAN -1998 W1



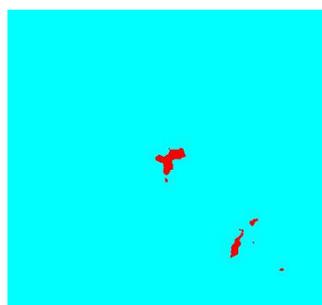
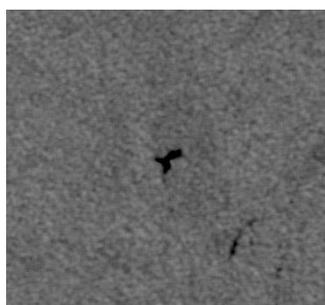
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 43' 20" E; 4° 38' 04" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -725,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,96
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 11,86 km da exsudação #16 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #59 25 - JAN -1998 W1



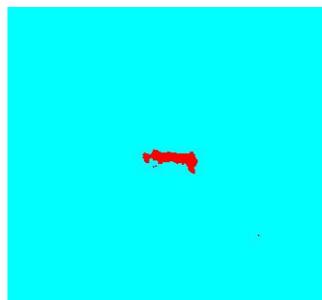
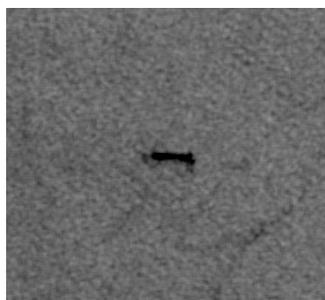
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 36' 37" E; 4° 38' 15" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -879,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,97
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 0,33 km da exsudação #16 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #61 25 - JAN -1998 W1



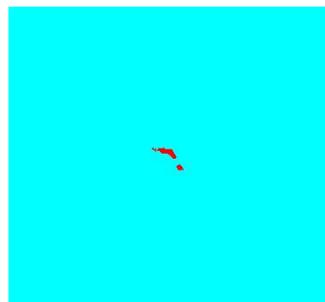
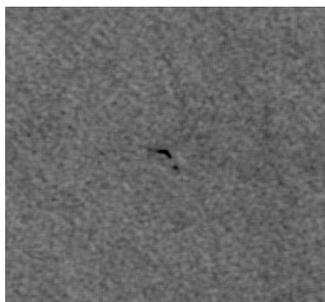
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 36' 07" E; 4° 50' 57" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -447,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,41
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 11,14 km da exsudação #14 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #62 25 - JAN -1998 W1



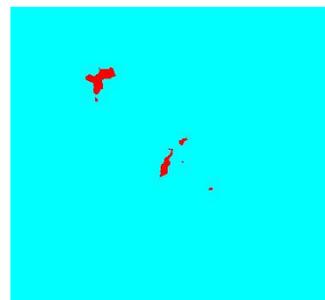
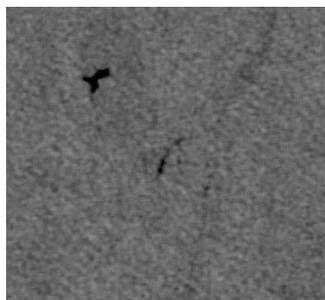
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 38' 45" E; 4° 54' 38" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -503,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,66
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,42 km da exsudação #14 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #63 25 - JAN -1998 W1



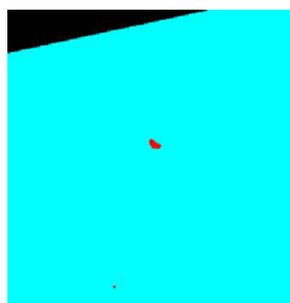
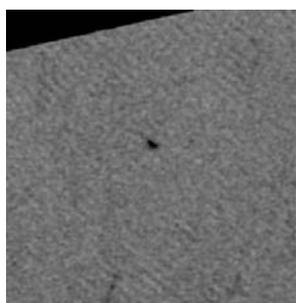
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 33' 58" E; 4° 54' 47" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -565,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,15
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 13,30 km da exsudação #14 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #64 25 - JAN -1998 W1



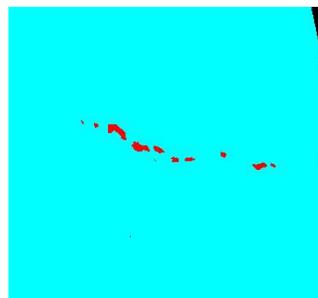
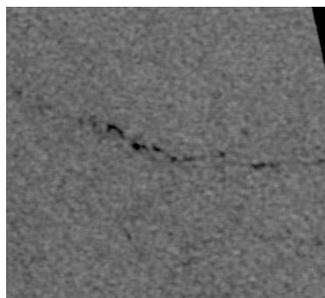
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 37' 20" E; 4° 49' 30" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -528,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,18
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 9,53 km da exsudação #15 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #67 25 - JAN -1998 W1



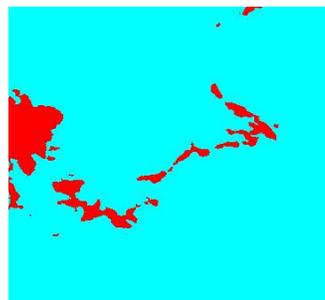
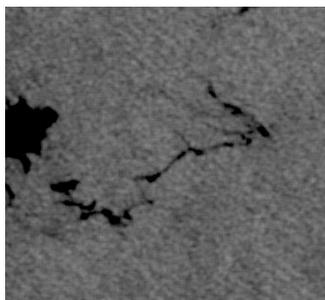
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 37' 09" E; 5° 03' 15" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -516,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,10
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 16,53 km da exsudação #14 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #68 25 - JAN -1998 W1



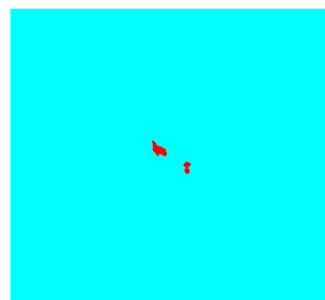
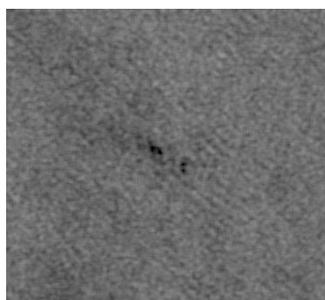
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 46' 55" E; 4° 52' 20" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -440,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,47
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 8,90 km da exsudação #14 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #69 25 - JAN -1998 W1



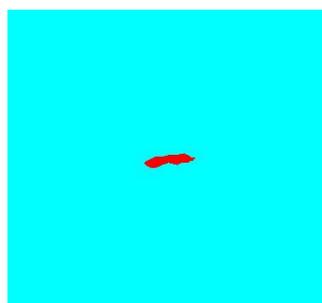
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 38' 58" E; 4° 23' 16" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1214,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,67
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 18.92 km da exsudação #118 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Associação espacial com amplas regiões de mar calmo resultantes da baixa velocidade dos ventos (<3.0 m/s).

POLÍGONO #70 25 - JAN -1998 W1



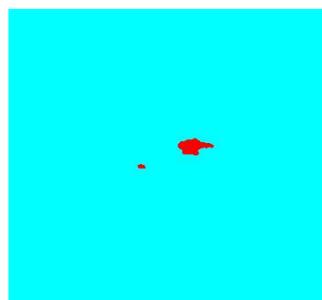
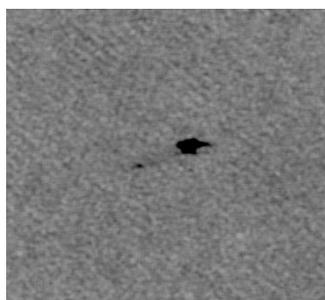
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 19' 31" E; 4° 44' 47" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1281,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,20
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,31 km da exsudação #11 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #71 25 - JAN -1998 W1



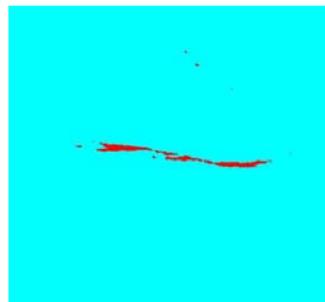
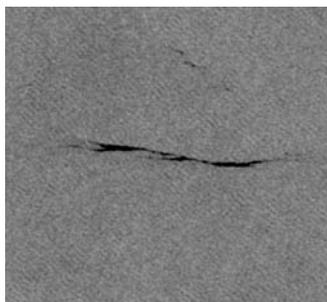
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 49' 38" E; 4° 21' 19" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2676,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,46
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 41,76 km da exsudação #01 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #72 25 - JAN -1998 W1



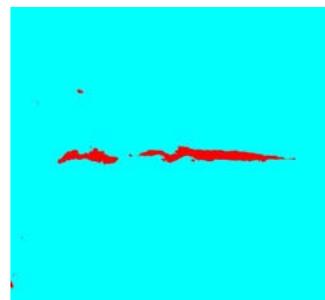
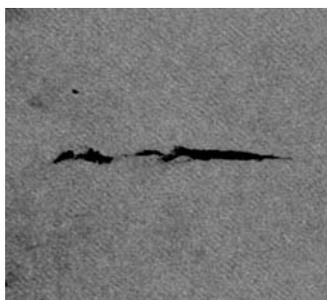
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 56' 41" E; 4° 18' 37" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2447,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,44
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 30,09 km da exsudação #08 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #73 25 - JAN -1998 W1



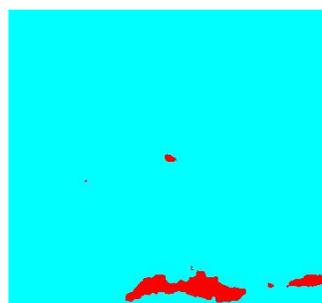
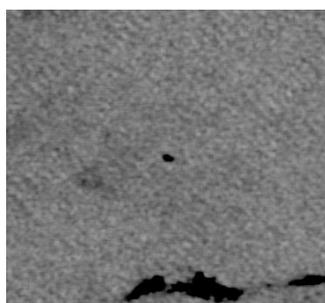
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 52' 21" E; 4° 27' 33" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2439,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,77
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 29,00 km da exsudação #20 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #74 25 - JAN -1998 W1



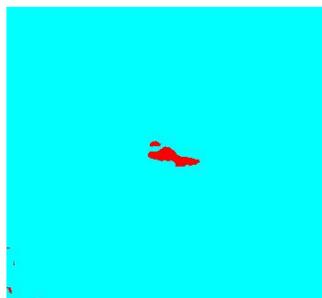
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 40' 52" E; 4° 29' 06" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2894,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 7,26
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 46,60 km da exsudação #19 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #75 25 - JAN -1998 W1



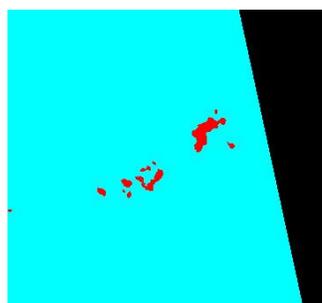
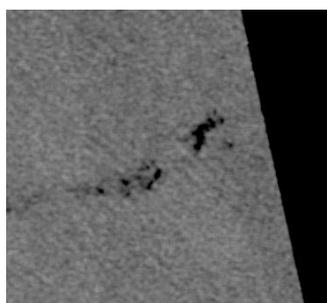
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 37' 18" E; 4° 31' 28" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2901,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,08
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 51,85 km da exsudação #19 (18 de fevereiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #76 25 - JAN -1998 W1



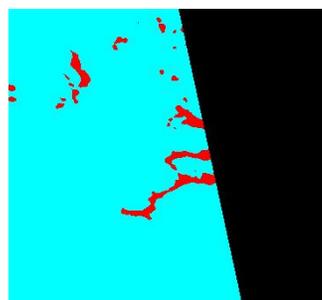
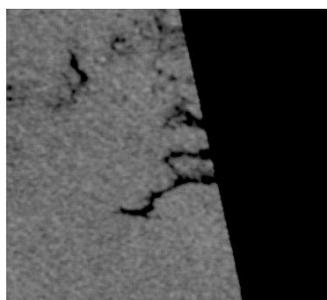
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 36' 51" E; 4° 37' 43" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2766,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,60
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 47,18 km da exsudação #01 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #77 25 - JAN -1998 W1

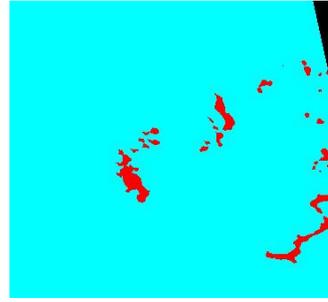
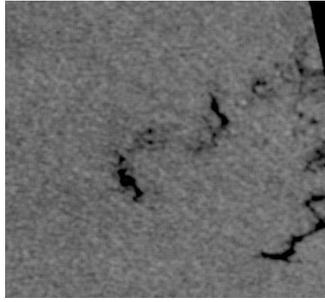


- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 01' 01" E; 3° 59' 02" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1008,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,01
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 3,00 km da exsudação #89 (26 de outubro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #78 25 - JAN -1998 W1



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 57' 44" E; 4° 16' 57" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -729,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,63
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 28,08 km da exsudação #109 (26 de outubro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** (1) Possível associação espacial com descarte de embarcações; (2) Exsudação localizada na borda da imagem SAR.



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 54' 26" E; 4° 17' 25" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -761,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,29
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a esse respeito não estão disponíveis.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** Valores de temperatura na superfície do mar dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 estão entre 26° e 27°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 25,74 km da exsudação #109 (26 de outubro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

### **A3.4 – 26 DE OUTUBRO DE 1996**

TIPO DE DADO	ANÁLISES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS
<b>TSM (NOAA-12) - Fig. A3.21</b>	A informação a respeito da temperatura da superfície do mar, na área do <i>frame</i> da imagem SAR, não estava disponível em 26 de outubro de 1996, às 16:07:00 (UTC), ou seja, uma hora e quarenta e sete minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1.
<b>TTN (NOAA-12) - Fig. A3.22</b>	O mapa de TTN foi confeccionado a partir da imagem adquirida pelo sensor AVHRR, em 26 de outubro de 1996, às 11:56:00 (UTC). A imagem foi obtida cinco horas e cinquenta e oito minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. É possível observar uma potencial célula de chuva com grandes dimensões, onde as temperaturas são inferiores a $-40^{\circ}$ C. Pelo fato dos dados utilizados para a confecção do mapa de TTN terem sido captados um longo tempo antes da aquisição da imagem RADARSAT-1, tal célula de chuva poderia não estar presente neste momento. Por esta razão, considera-se que a célula de chuva observada no mapa de TTN não está afetando a rugosidade da superfície do mar conforme representada nos dados RADARSAT-1.
<b>M.I.C.V. (SSM/I) - Fig. A3.23</b>	As informações a respeito da intensidade do campo de vento foram coletadas em 26 de outubro de 1996, às 16:30:00 (UTC). O produto foi adquirido uma hora e vinte e quatro minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1. Tais informações estão disponíveis apenas para a metade oeste do <i>frame</i> RADARSAT-1. A velocidade do vento nesta área situa-se entre 3,0 e 6,2 m/s. Na região noroeste da cena, as baixas velocidades de vento (3,0 m/s) afetam a rugosidade da superfície do mar, resultando em uma feição de baixo retorno na imagem SAR.
<b>V.M.C.S. (TOPEX/Poseidon e Jason-1) - Fig. A3.24</b>	Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 24 a 28 de outubro de 1996. A partir da longitude $2^{\circ}$ E a Corrente da Guiné tende a fluir no sentido NE, perpendicular a linha de costa e/ou isóbatas do Delta do Niger. A velocidade das correntes superficiais na Região do Golfo da Guiné situa-se entre 0,05 e 0,35 m/s.

**OBS:** TSM = temperatura da superfície do mar; TTN = temperatura do topo de nuvem; M.I.C.V. = mapa da intensidade do campo de vento; V.M.C.S.=velocidade média das correntes superficiais.

Tabela A3.4 - Análise dos dados meteorológicos e oceanográficos referentes à imagem RADARSAT-1 adquirida em 26 de outubro de 1996 (SCN1- órbita ascendente).

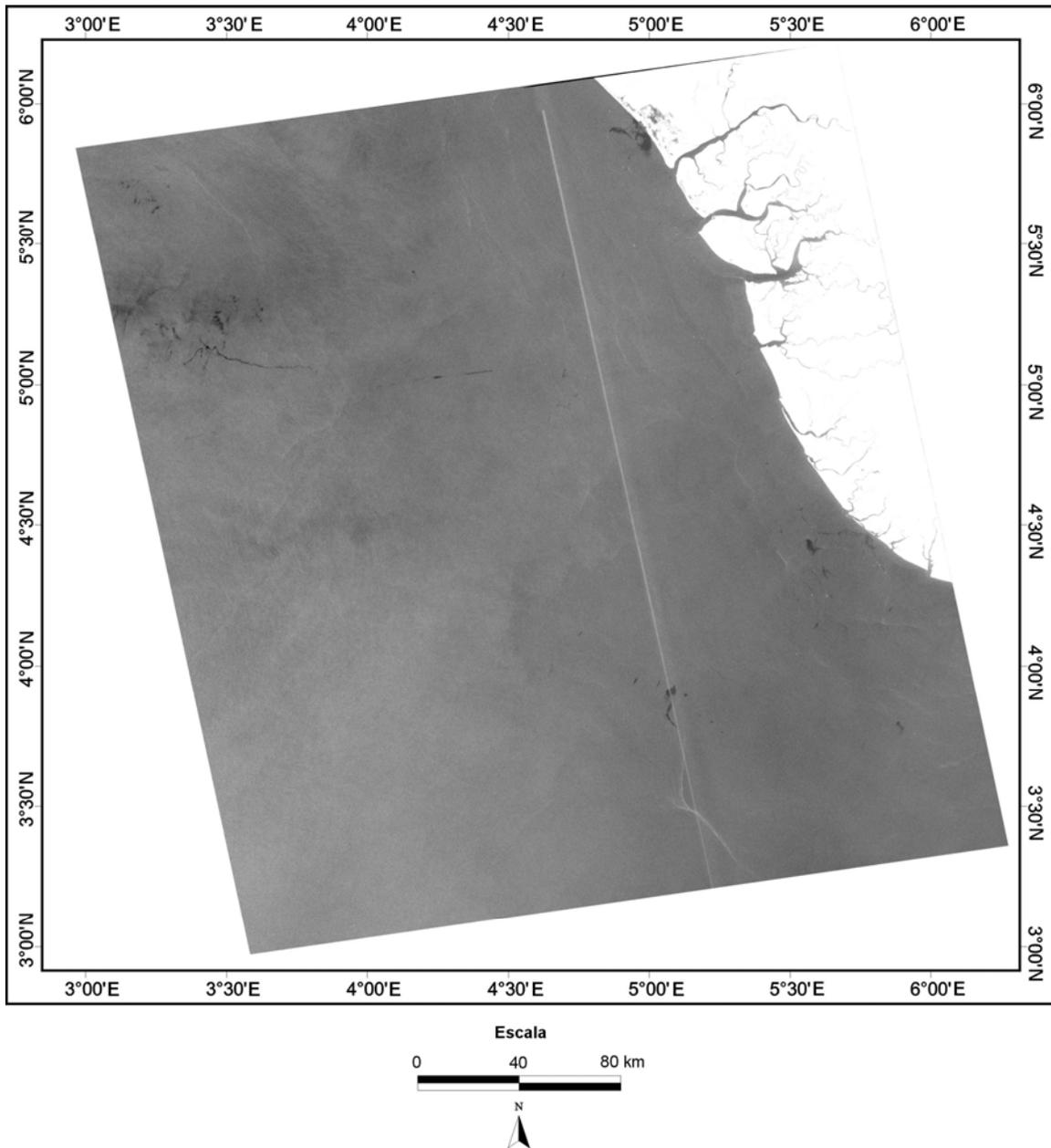


Figura A3.19 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (SCN1 - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 26 de outubro de 1996. Técnicas de realce de contraste foram aplicadas à imagem SAR, de maneira a tornar discerníveis feições sutis relacionadas às exsudações de óleo. Na região noroeste da imagem, baixas velocidades de vento podem ter afetado a rugosidade da superfície do mar.

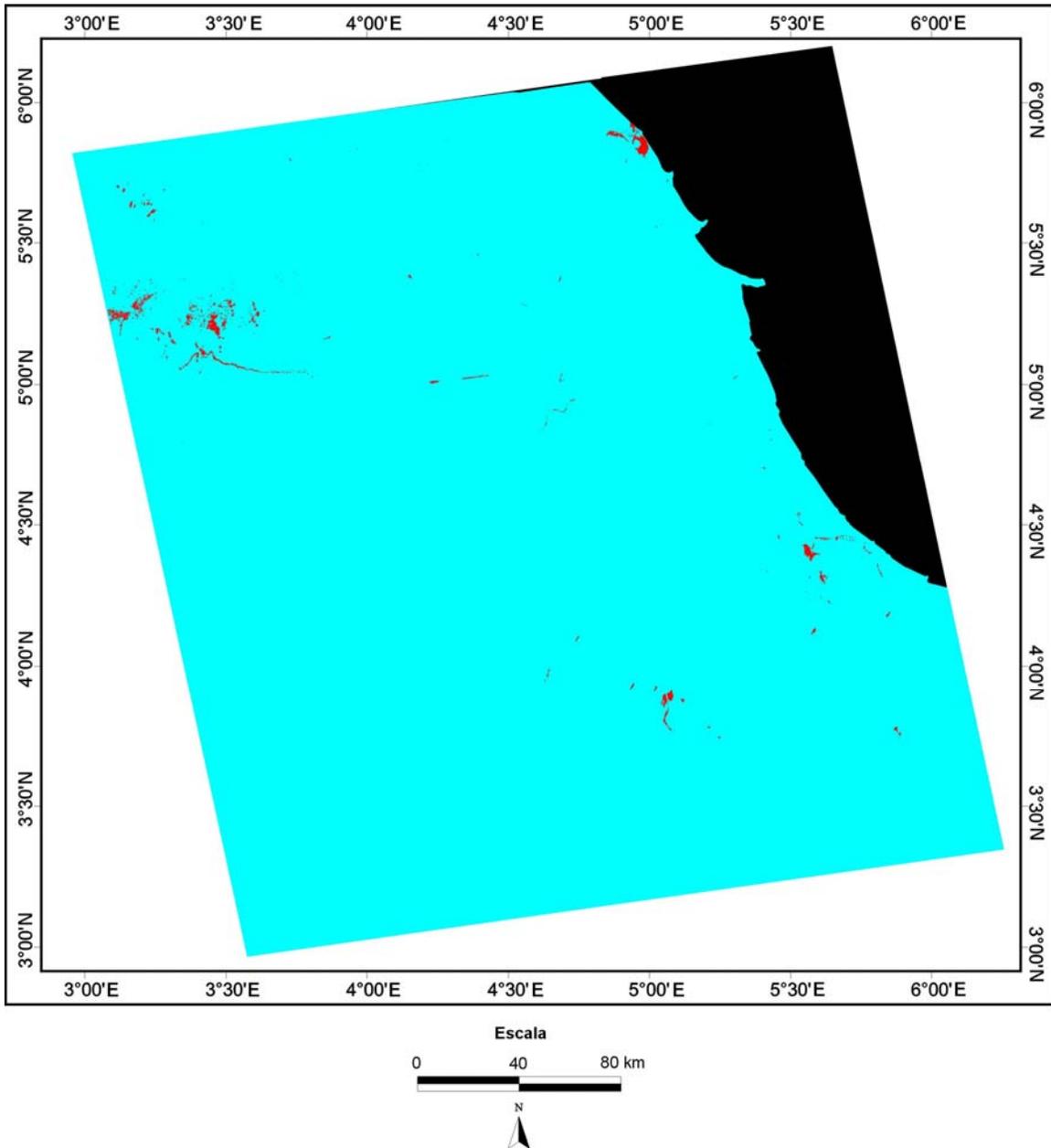


Figura A3.20 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (SCN1 - órbita ascendente) de 26 de outubro de 1996, adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger, classificada pelo método USTC. A classe azul representa a superfície rugosa do mar, enquanto que a vermelha representa as superfícies lisas. As exsudações e os derramamentos de óleo identificados neste trabalho são incluídos na classe vermelha. Na região noroeste da cena, uma feição de baixo vento também foi classificada como lisa.

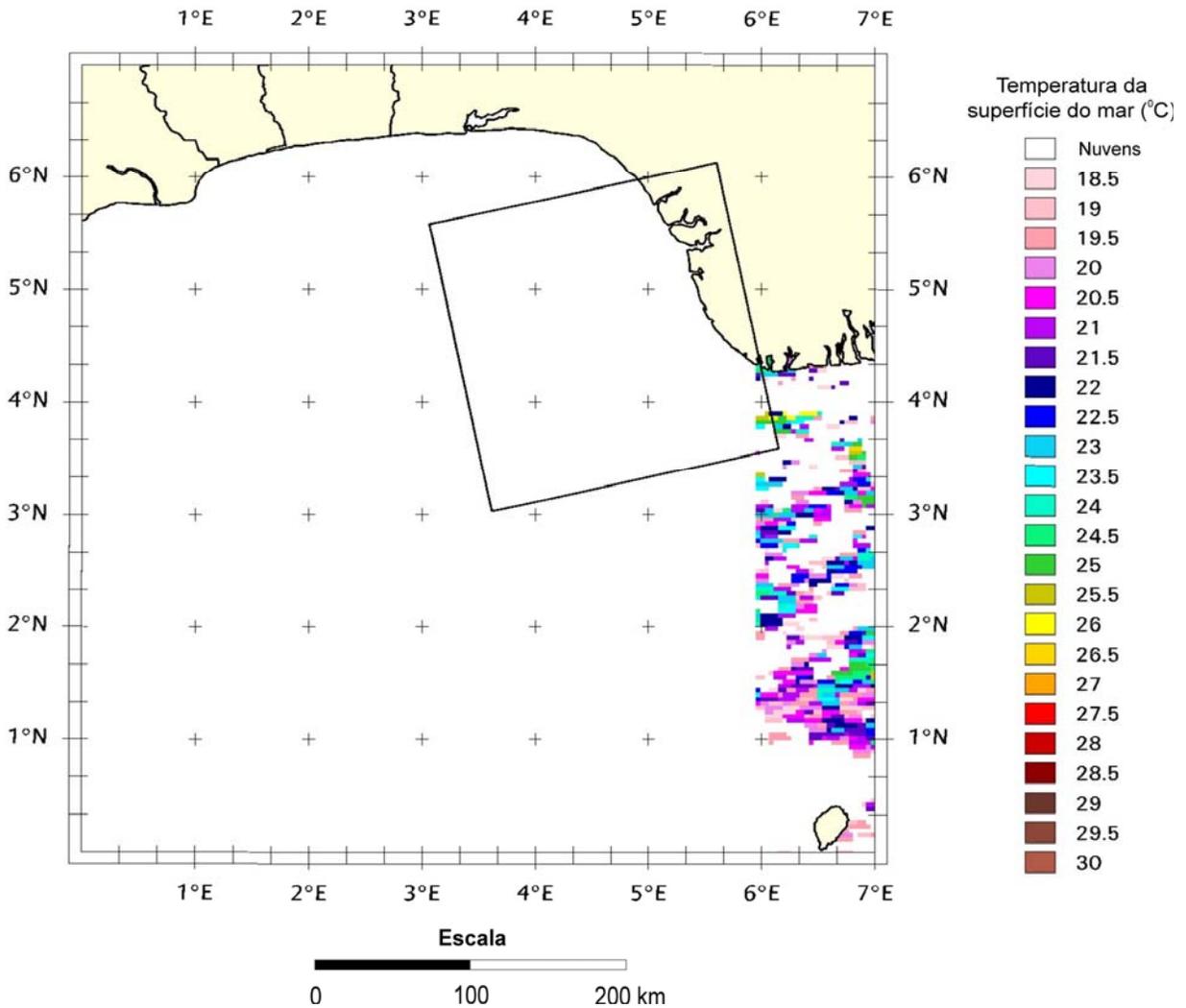


Figura A3.21 - Mapa de temperatura da superfície do mar, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 26 de outubro de 1996, às 16:07:00 (UTC). A imagem foi adquirida uma hora e quarenta e sete minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1. Informações sobre a temperatura da superfície do mar não estão disponíveis na área do *frame* da imagem SAR.

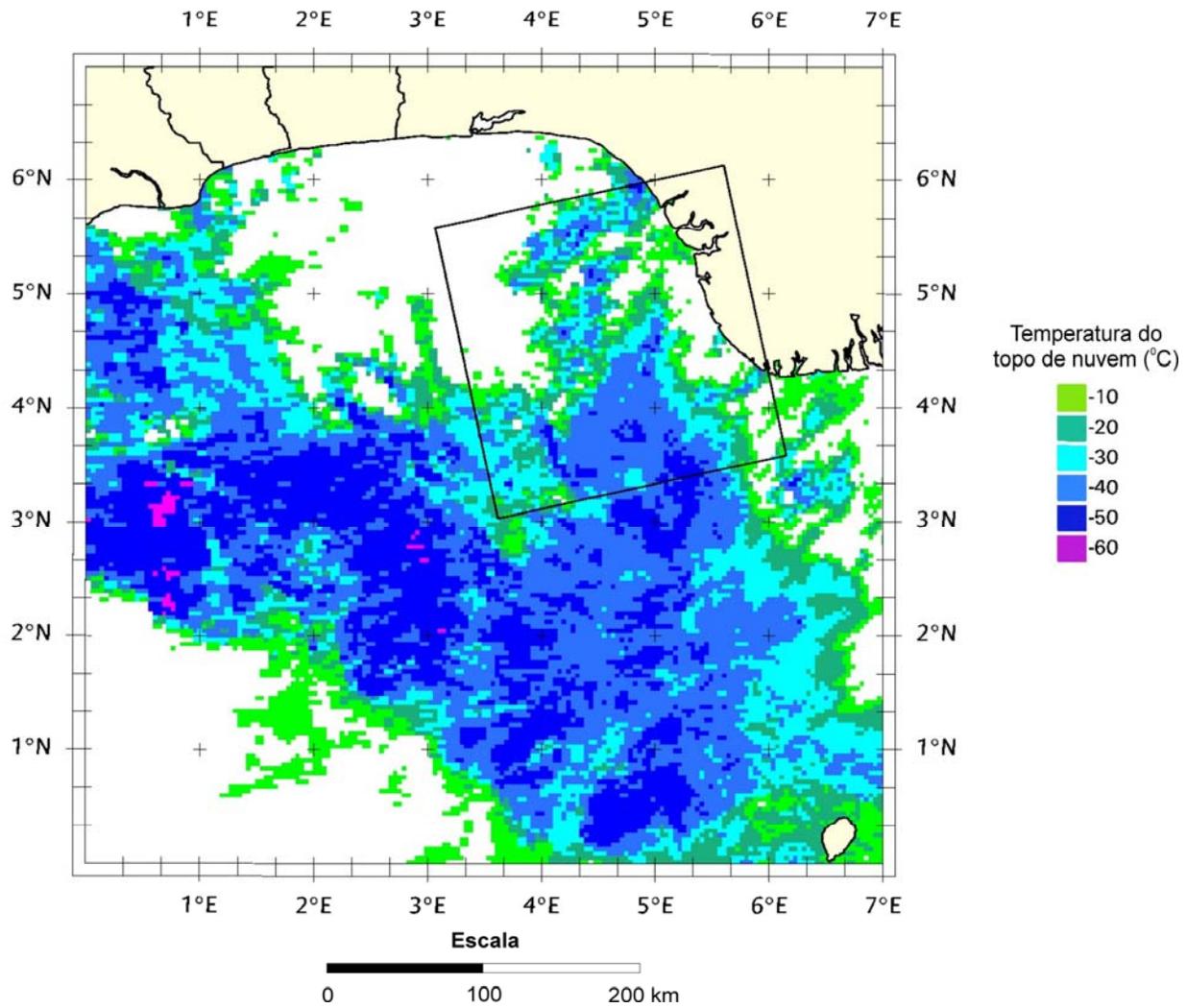


Figura A3.22 - Mapa de temperatura do topo de nuvem, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 26 de outubro de 1996, às 11:56:00 (UTC). A imagem foi adquirida cinco horas e cinquenta e oito minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

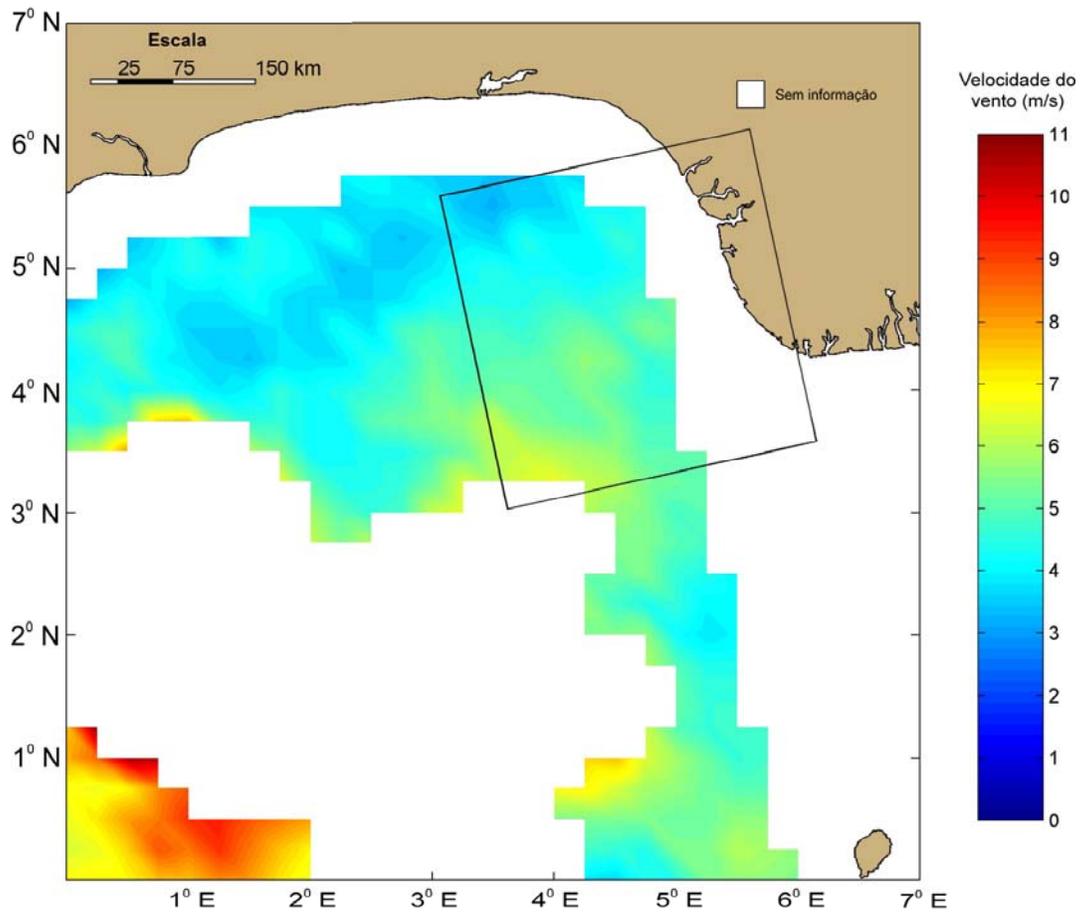


Figura A3.23 - Mapa de intensidade do campo de vento, obtido pelo sensor SSM/I em 26 de outubro de 1996, às 16:30:00 (UTC). O produto foi adquirido uma hora e vinte e quatro minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

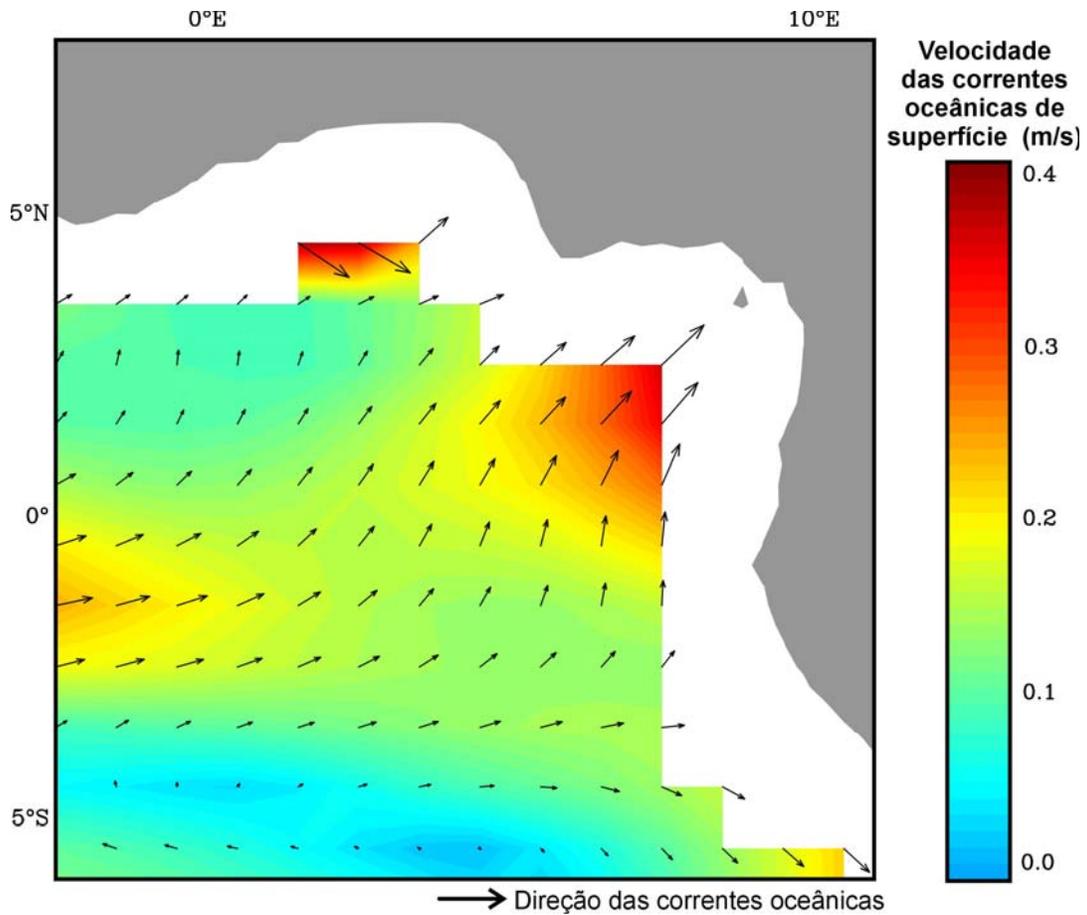
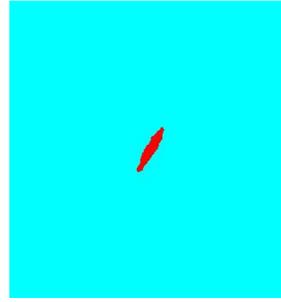
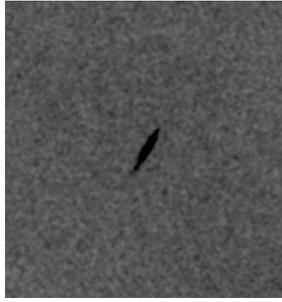


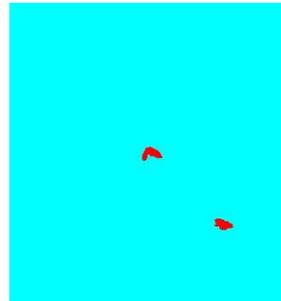
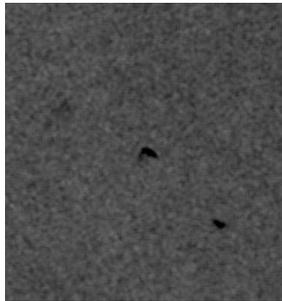
Figura A3.24 - Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 24 a 28 de outubro de 1996. As setas pretas indicam a direção das correntes que atuam na região.

POLÍGONO #82 26 - OUT -1996 SCN1



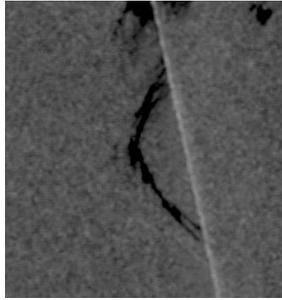
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 56' 01" E; 3° 56' 27" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1240,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,16
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 5,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 5,65 km da exsudação #77 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #83 26 - OUT -1996 SCN1



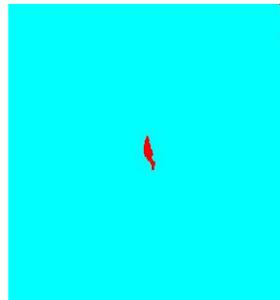
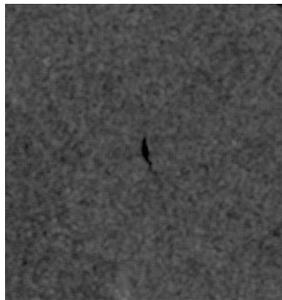
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 12' 14" E; 3° 47' 34" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1100,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,46
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 5,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 28,05 km da exsudação #77 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #84 26 - OUT -1996 SCN1



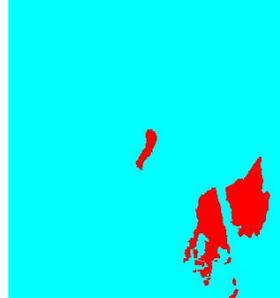
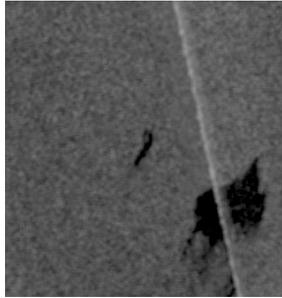
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 02' 44" E; 3° 49' 12" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1129,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 5,76
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 5,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 13,45 km da exsudação #77 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #86 26 - OUT -1996 SCN1



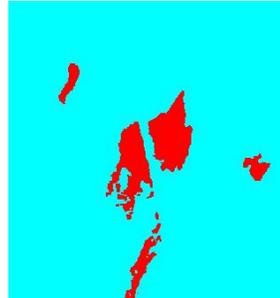
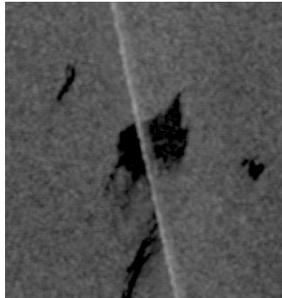
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 26' 59" E; 4° 28' 12" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -15,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,50
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a respeito da intensidade dos ventos não estão disponíveis neste local.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -10°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de falhas de crescimento antitéticas.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 31,67 km da exsudação #121 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** (1) Possível associação espacial com descarte de embarcações; (2) Exsudação localizada na borda da imagem SAR.

POLÍGONO #89 26 - OUT -1996 SCN1



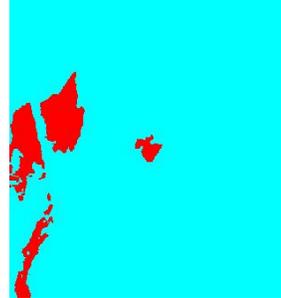
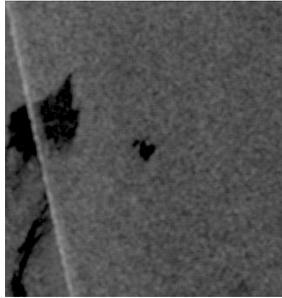
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 00' 55" E; 3° 55' 54" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1068,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,98
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 5,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 3,00 km da exsudação #77 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #90 26 - OUT -1996 SCN1



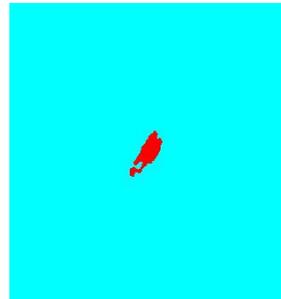
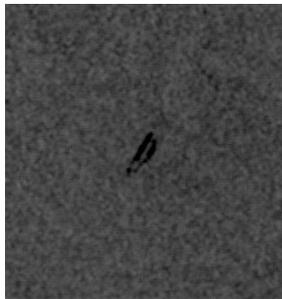
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 02' 46" E; 3° 53' 21" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1014,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 12,54
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 5,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 7,51 km da exsudação #77 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #91 26 - OUT -1996 SCN1



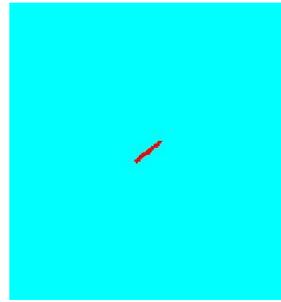
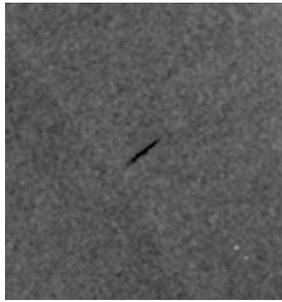
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 06' 40" E; 3° 53' 19" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -979,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,13
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 5,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 12,66 km da exsudação #77 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #92 26 - OUT -1996 SCN1



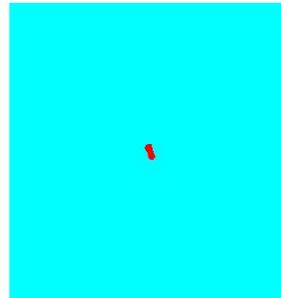
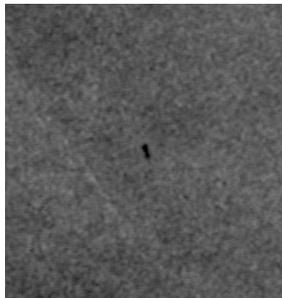
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 34' 19" E; 4° 08' 10" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -3,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,60
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a respeito da intensidade dos ventos não estão disponíveis neste local.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -20°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 37,93 km da exsudação #121 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** (1) Possível associação espacial com descarte de embarcações; (2) Exsudação localizada na borda da imagem SAR.

POLÍGONO #96 26 - OUT -1996 SCN1



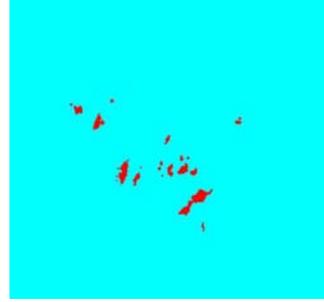
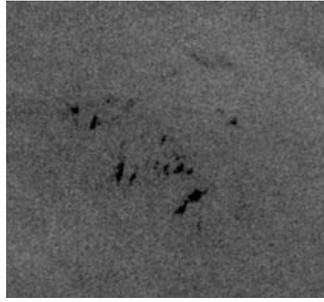
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 17' 47" E; 5° 02' 20" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -84,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,37
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** Informações a respeito da intensidade dos ventos não estão disponíveis neste local.
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -10°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de falhas de crescimento sintéticas.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 55,15 km da exsudação #68 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Associação espacial com poluição proveniente de baías ou áreas costeiras.

POLÍGONO #99 26 - OUT -1996 SCN1



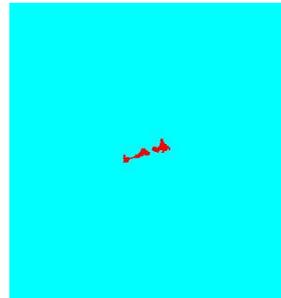
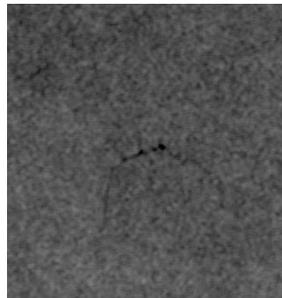
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 43' 42" E; 5° 48' 48" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1815,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,28
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 3,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -10°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área no domínio da planície abissal.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 18,98 km da exsudação #04 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #100 26 - OUT -1996 SCN1



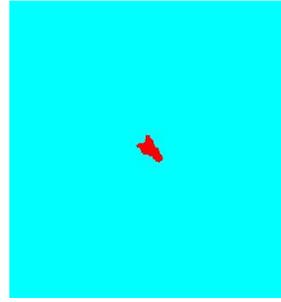
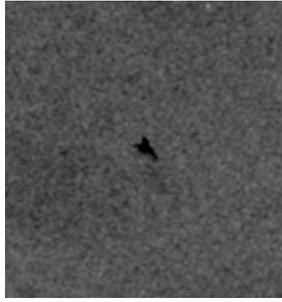
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 14' 26" E; 5° 37' 23" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2399,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 9,44
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 3,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -10°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área no domínio da planície abissal.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 51,72 km da exsudação #04 (08 de agosto 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #101 26 - OUT -1996 SCN1



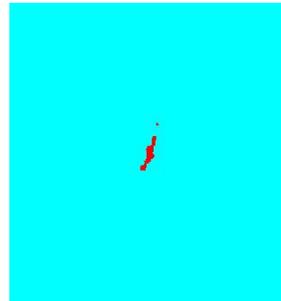
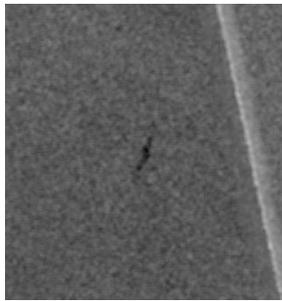
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 51' 32" E; 5° 10' 43" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1754,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,67
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 4
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -20°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 26,00 km da exsudação #123 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #102 26 - OUT -1996 SCN1



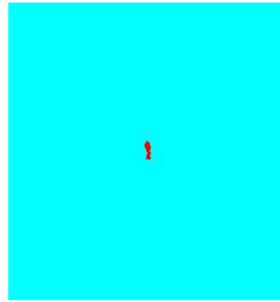
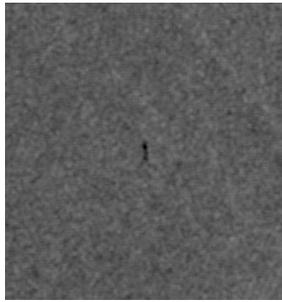
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 08' 60" E; 5° 23' 46" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -970,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,96
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 4
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -20°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 40,51 km da exsudação #119 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #103 26 - OUT -1996 SCN1



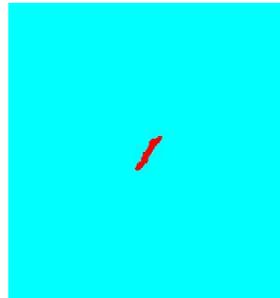
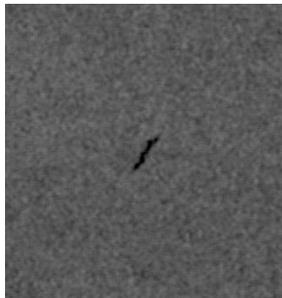
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 40' 45" E; 5° 23' 28" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -283,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,51
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 4
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -30°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 35,39 km da exsudação #119 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #104 26 - OUT -1996 SCN1

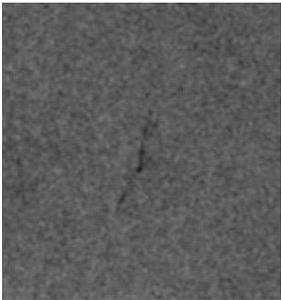
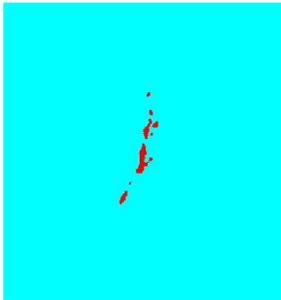
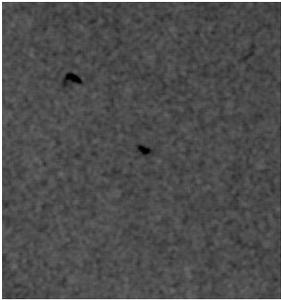
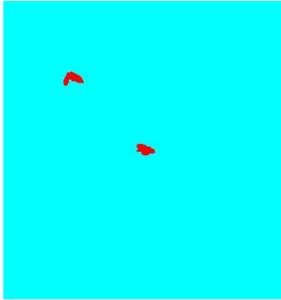


- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 23' 24" E; 5° 28' 29" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -597,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,20
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 4
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -30°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 35,30 km da exsudação #119 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #109 26 - OUT -1996 SCN1



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 44' 23" E; 4° 06' 34" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1183,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,72
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 6
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** A ocorrência de células de chuva dentro do *frame* da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 13,71 km da exsudação #118 (08 de setembro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #112 26 - OUT -1996 SCN1	
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>FEIÇÃO:</b> Exsudação de óleo</li> <li>- <b>COORDENADAS DO CENTRÓIDE:</b> 4° 38' 08" E; 3° 58' 52" N</li> <li>- <b>PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):</b> -1509,00</li> <li>- <b>ÁREA (km<sup>2</sup>):</b> 0,96</li> <li>- <b>INTENSIDADE DO VENTO (m/s):</b> 6</li> <li>- <b>PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:</b> A ocorrência de células de chuva dentro do <i>frame</i> da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.</li> <li>- <b>PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:</b> A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.</li> <li>- <b>CENÁRIO TECTÔNICO:</b> Área na província de empurrões de diápiros.</li> <li>- <b>PERSISTÊNCIA TEMPORAL:</b> 15,27 km da exsudação #120 (08 de setembro 1996).</li> <li>- <b>CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:</b> Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.</li> </ul>	
POLÍGONO #113 26 - OUT -1996 SCN1	
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>FEIÇÃO:</b> Exsudação de óleo</li> <li>- <b>COORDENADAS DO CENTRÓIDE:</b> 5° 14' 25" E; 3° 45' 22" N</li> <li>- <b>PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):</b> -1114,00</li> <li>- <b>ÁREA (km<sup>2</sup>):</b> 0,42</li> <li>- <b>INTENSIDADE DO VENTO (m/s):</b> 5,5</li> <li>- <b>PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:</b> A ocorrência de células de chuva dentro do <i>frame</i> da imagem RADARSAT-1 é sugerida pela presença de nuvens com temperaturas de topo menores que -40°C.</li> <li>- <b>PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:</b> A informação a respeito da temperatura da superfície do mar não estava disponível. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.</li> <li>- <b>CENÁRIO TECTÔNICO:</b> Área na província de empurrões de diápiros.</li> <li>- <b>PERSISTÊNCIA TEMPORAL:</b> 34,41 km da exsudação #77 (25 de janeiro 1998).</li> <li>- <b>CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:</b> Nenhuma associação espacial na área da exsudação com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.</li> </ul>	

**A3.5 – 08 DE SETEMBRO DE 1996**

TIPO DE DADO	ANÁLISES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS
<b>TSM (NOAA-12) - Fig. A3.27</b>	O mapa de TSM foi confeccionado a partir dos dados adquiridos pelo sensor AVHRR, em 08 de setembro de 1996, às 16:56:00 (UTC). A imagem foi obtida cinquenta e sete minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. A área de estudo estava parcialmente coberta por nuvens no momento de aquisição da imagem pelo sensor AVHRR. O valor predominante da temperatura da superfície do mar na área correspondente ao <i>frame</i> RADARSAT-1 livre de nebulosidade é de aproximadamente 25 <sup>o</sup> C. Não há fortes gradientes de temperatura afetando a rugosidade da superfície do mar.
<b>TTN (NOAA-12) - Fig. A3.28</b>	O mapa de TTN foi confeccionado a partir da imagem adquirida pelo sensor AVHRR, em 08 de setembro de 1996, às 16:56:00 (UTC). A imagem foi obtida cinquenta e sete minutos antes da aquisição dos dados RADARSAT-1. A presença de nuvens com temperaturas menores que -30 <sup>o</sup> C, indicativa da ocorrência de possíveis células de chuva, pode estar afetando a rugosidade da superfície do mar na porção norte do <i>frame</i> .
<b>M.I.C.V. (SSM/I) - Fig. A3.29</b>	As informações a respeito da intensidade do campo de vento foram coletadas em 08 de setembro de 1996, às 12:00:00 (UTC). O produto foi adquirido cinco horas e cinquenta e três minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1. Tais informações estão disponíveis apenas para as porções centrais e sudeste do <i>frame</i> RADARSAT-1. A velocidade do vento nesta área situa-se entre 6,0 e 7,0 m/s.
<b>V.M.C.S. (TOPEX/Poseidon e Jason-1) - Fig. A3.30</b>	Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 4 a 8 de setembro de 1996. A partir da longitude 0 <sup>o</sup> E a Corrente da Guiné tende a fluir no sentido NE, perpendicular a linha de costa e/ou isóbatas do Delta do Niger. A velocidade das correntes superficiais na Região do Golfo da Guiné situa-se entre 0,05 e 0,50 m/s.

**OBS:** TSM = temperatura da superfície do mar; TTN = temperatura do topo de nuvem; M.I.C.V. = mapa da intensidade do campo de vento; V.M.C.S.=velocidade média das correntes superficiais.

Tabela A3.5 - Análise dos dados meteorológicos e oceanográficos referentes à imagem RADARSAT-1 adquirida em 08 de setembro de 1996 (SCN1- órbita ascendente).

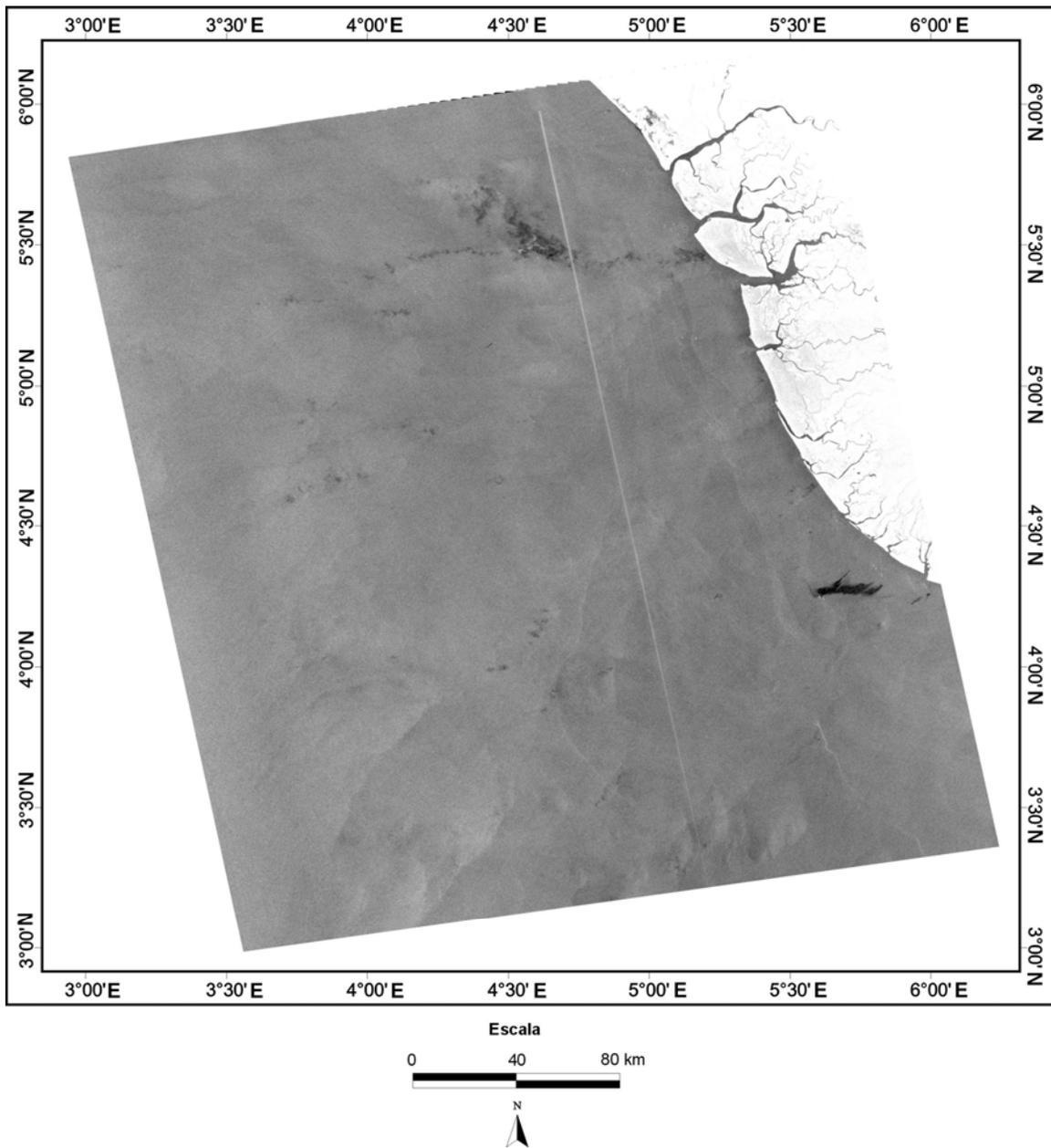


Figura A3.25 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (*SCN1* - órbita ascendente), adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger em 08 de setembro de 1996. Técnicas de realce de contraste foram aplicadas à imagem SAR, de maneira a tornar discerníveis feições sutis relacionadas a exsudações de óleo. Uma feição de baixo retorno de radar provavelmente associada a células de chuva, pode ser observada no canto superior direito da imagem SAR. Um grande derramamento de óleo ocorre no canto inferior direito.

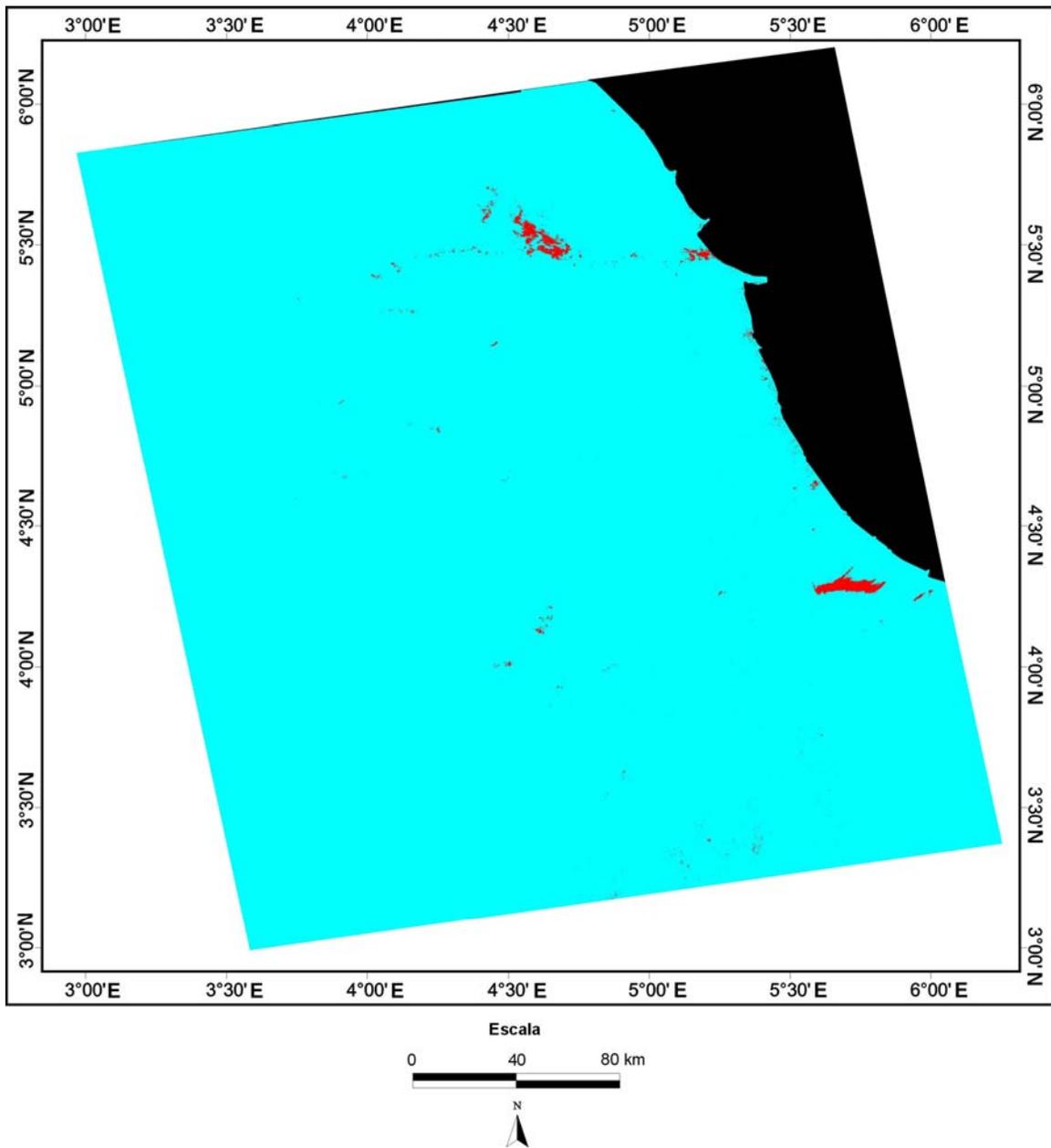


Figura A3.26 - Imagem do satélite RADARSAT-1 (SCN1 - órbita ascendente) de 08 de setembro de 1996, adquirida sobre a porção *offshore* do Delta do Niger, classificada pelo método USTC. A classe azul representa a superfície rugosa do mar, enquanto que a vermelha representa as superfícies lisas. As exsudações e os derramamentos de óleo identificados neste trabalho são incluídos na classe vermelha, assim como a feição de baixo retorno provavelmente associada a células de chuva.

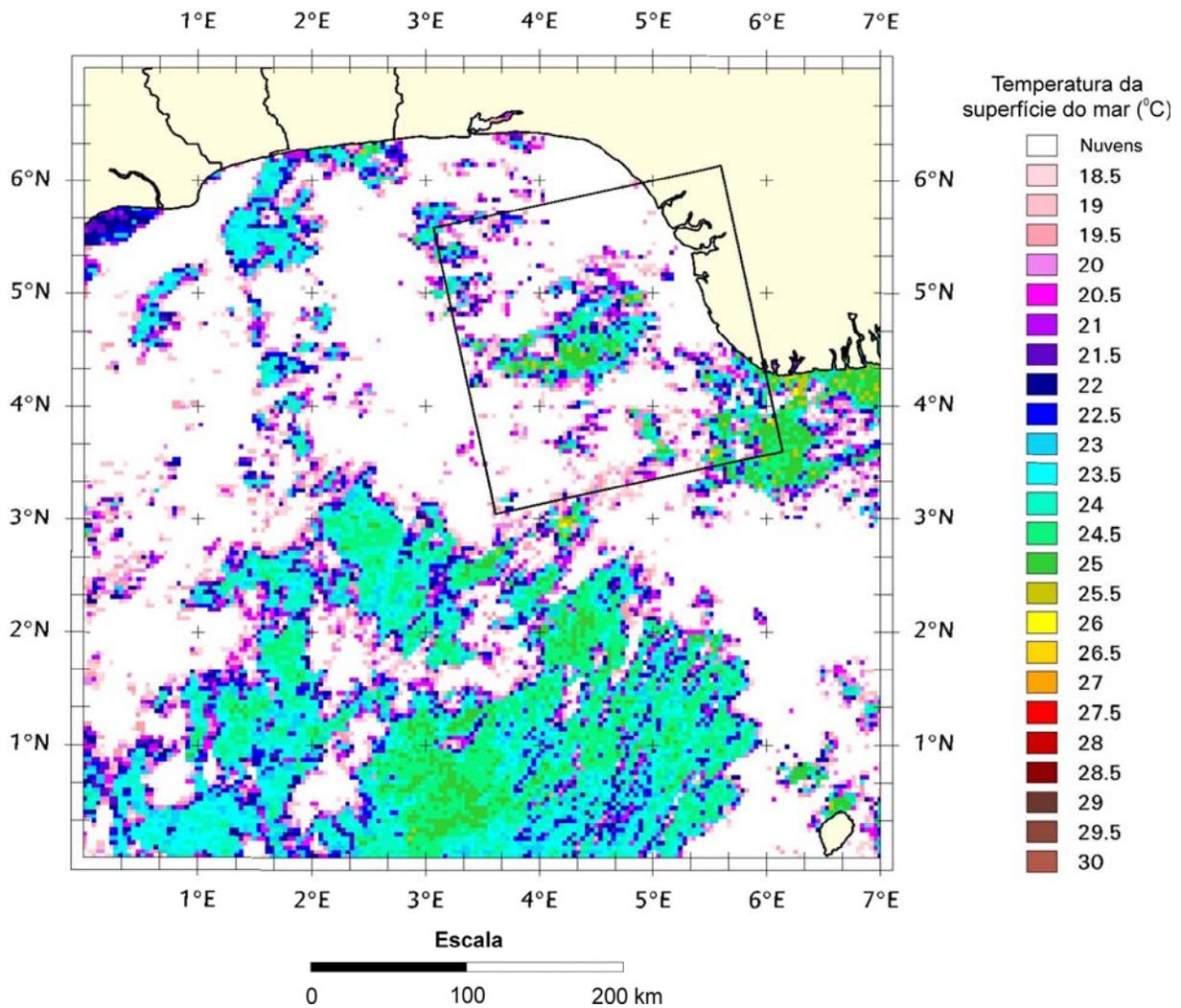


Figura A3.27 - Mapa de temperatura da superfície do mar, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 08 de setembro de 1996, às 16:56:00 (UTC). A imagem foi adquirida cinquenta e sete minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

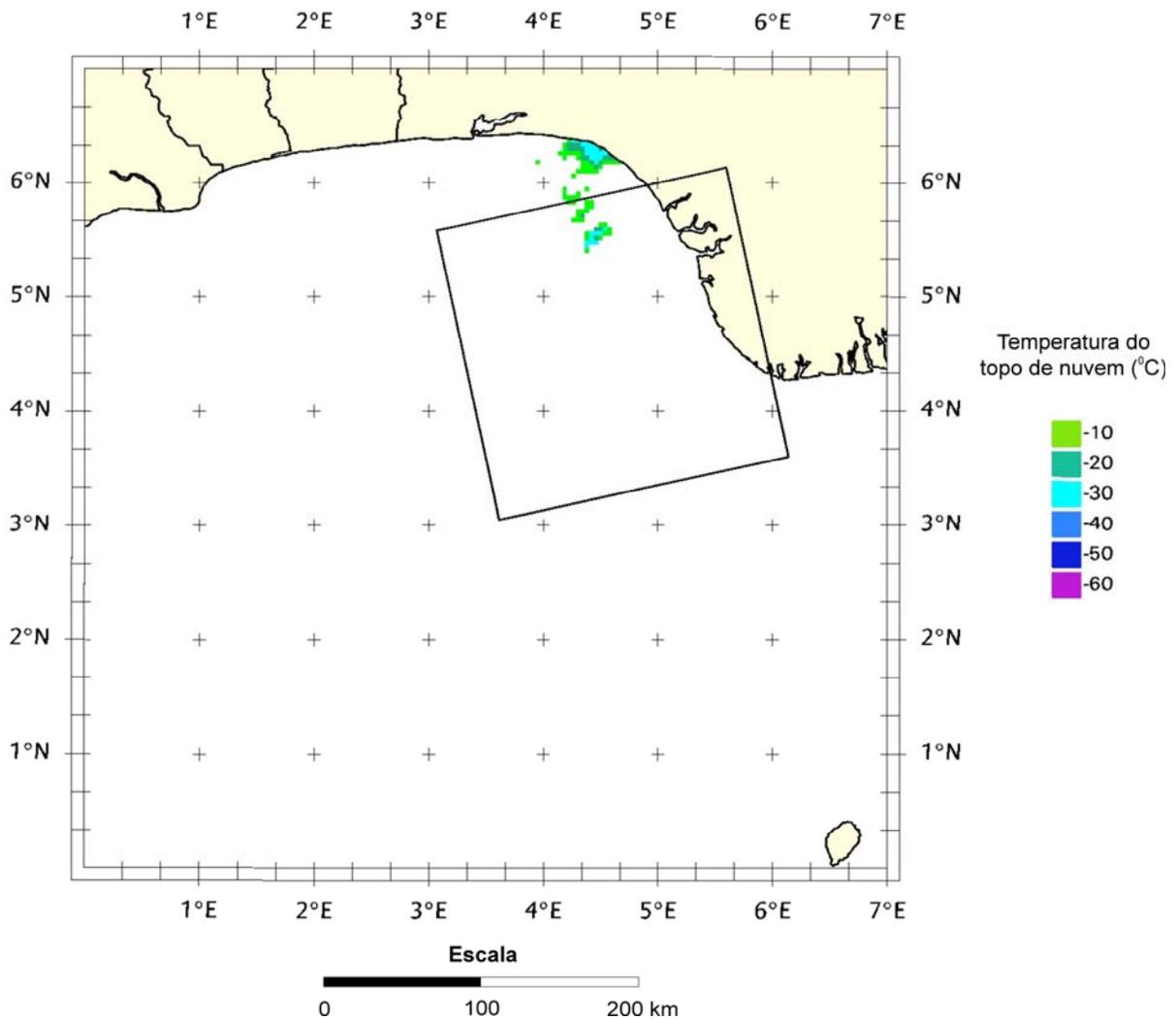


Figura A3.28 - Mapa de temperatura do topo de nuvem, obtido a partir do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-12, em 08 de setembro de 1996, às 16:56:00 (UTC). A imagem foi adquirida cinquenta e sete minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

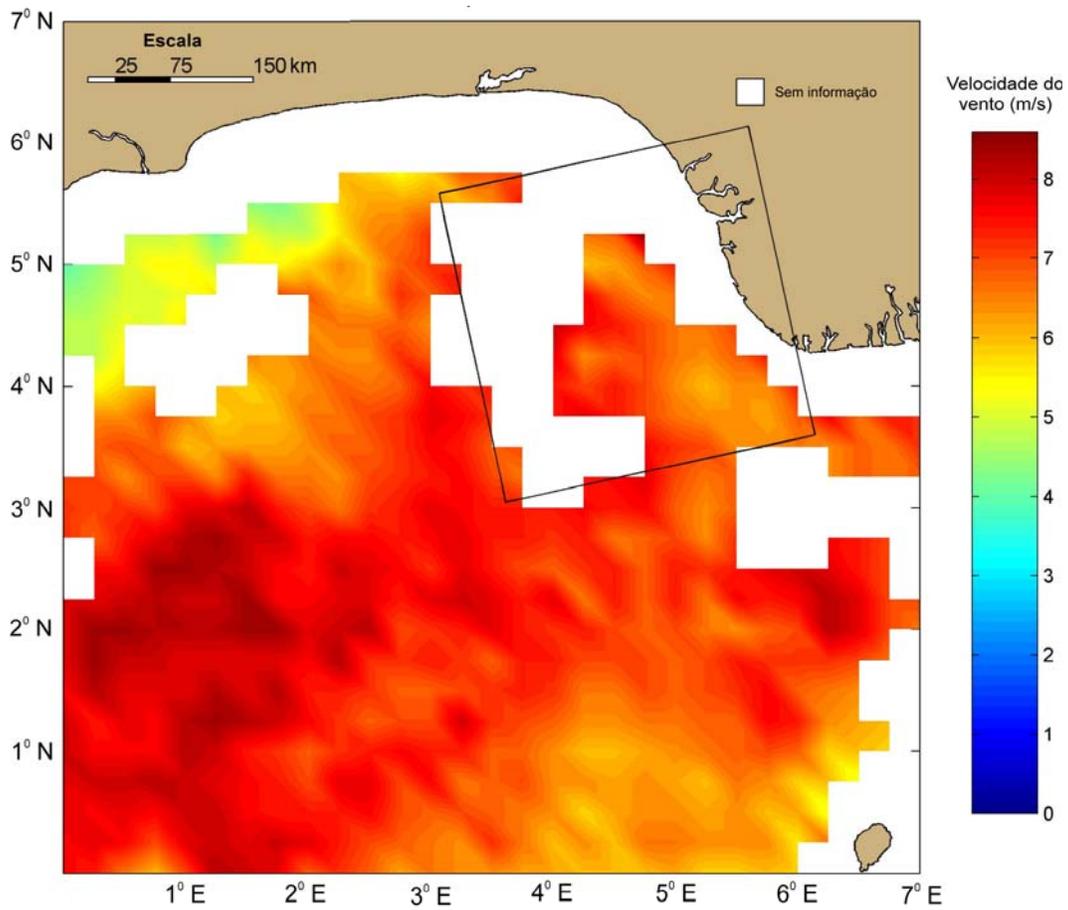


Figura A3.29 - Mapa de intensidade do campo de vento, obtido pelo sensor SSM/I em 08 de setembro de 1996, às 12:00:00 (UTC). O produto foi adquirido cinco horas e cinquenta e três minutos antes da obtenção dos dados RADARSAT-1.

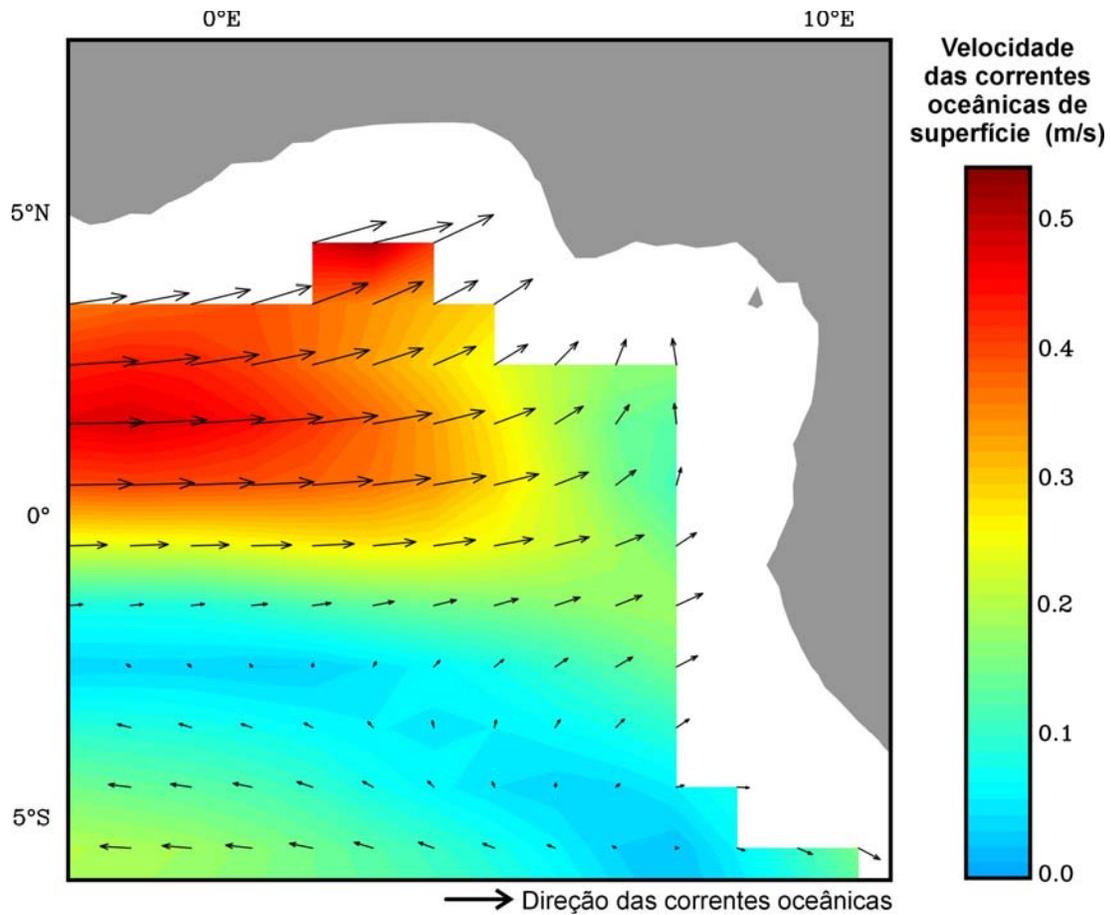
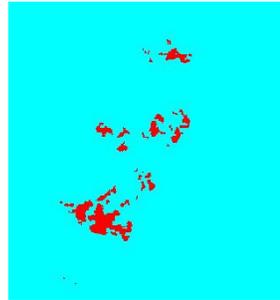
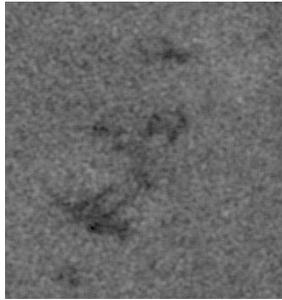


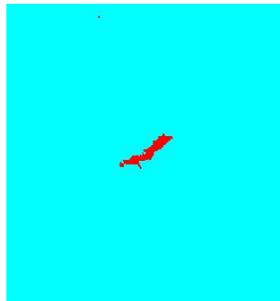
Figura A3.30 - Mapa da velocidade média das correntes oceânicas superficiais para o período de 4 a 8 de setembro de 1996. As setas pretas indicam a direção das correntes que atuam na região.

POLÍGONO #118 08 - SET -1996 SCN1



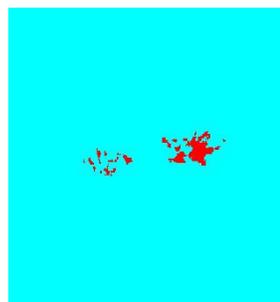
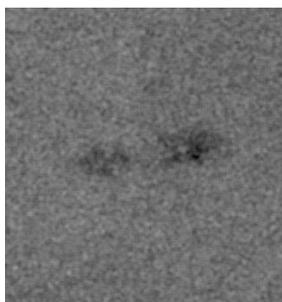
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 35' 59" E; 4° 07' 01" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1571,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 6,62
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 7
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nebulosidade é de aproximadamente 25°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 13,71 km da exsudação #109 (26 de outubro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #119 08 - SET -1996 SCN1



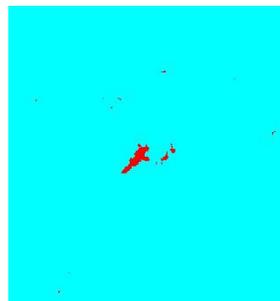
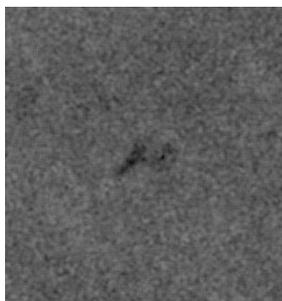
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 26' 02" E; 5° 08' 50" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -832,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,45
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 6,5
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nebulosidade é de aproximadamente 25°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 22,28 km da exsudação #67 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #120 08 - SET -1996 SCN1



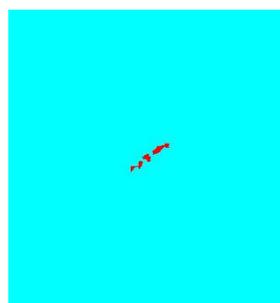
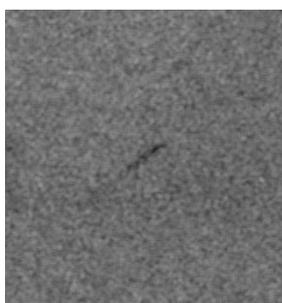
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 29' 13" E; 4° 00' 05" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -1915,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 2,83
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 7
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nebulosidade é de aproximadamente 25°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 15,27 km da exsudação #112 (26 de outubro 1996).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

POLÍGONO #121 08 - SET -1996 SCN1



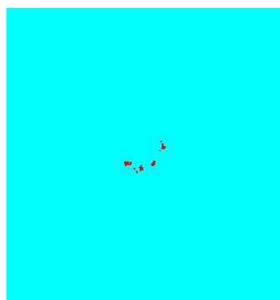
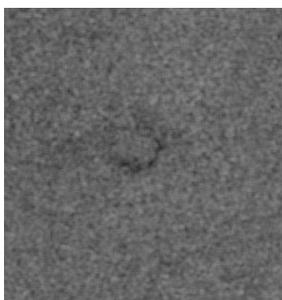
- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 5° 14' 26" E; 4° 15' 15" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -151,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 1,06
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 6
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nebulosidade é de aproximadamente 25°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 28,36 km da exsudação #78 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #123 08 - SET -1996 SCN1



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 3° 53' 30" E; 4° 56' 23" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -2112,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,51
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 7
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nebulosidade é de aproximadamente 25°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de empurrões e dobramentos.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 8,68 km da exsudação #36 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## POLÍGONO #125 08 - SET -1996 SCN1



- **FEIÇÃO:** Exsudação de óleo
- **COORDENADAS DO CENTRÓIDE:** 4° 27' 51" E; 4° 39' 26" N
- **PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA (m):** -978,00
- **ÁREA (km<sup>2</sup>):** 0,21
- **INTENSIDADE DO VENTO (m/s):** 7
- **PRESENÇA DE CÉLULAS DE CHUVA:** Nenhuma evidência da presença de células de chuva.
- **PRINCIPAL CONTROLE OCEANOGRÁFICO:** A área de estudo está parcialmente coberta por nuvens. A temperatura da superfície do oceano nas porções do *frame* da imagem RADARSAT-1 livres da presença de nebulosidade é de aproximadamente 25°C. As correntes oceânicas superficiais fluem predominantemente no sentido NE.
- **CENÁRIO TECTÔNICO:** Área na província de diápiros.
- **PERSISTÊNCIA TEMPORAL:** 4,70 km da exsudação #55 (25 de janeiro 1998).
- **CONDIÇÃO AMBIENTAL PREDOMINANTE:** Nenhuma associação espacial com fenômenos climáticos, oceanográficos ou de poluição que produzem baixo retroespalhamento do sinal de radar.

## **ANEXO 4 – TABELAS**

Ranking	# Polígono	F <sub>c</sub> geral	f <sub>c</sub> tectônico	f <sub>c</sub> temporal	Distância (km)	Do polígono	f <sub>c</sub> ambiental	Aquisição RADARSAT-1
#1	14	1,00	1,00	1,00	4,42	62	1,00	18/02/1998
#1	16	1,00	1,00	1,00	0,33	59	1,00	18/02/1998
#1	54	1,00	1,00	1,00	3,22	16	1,00	25/01/1998
#1	55	1,00	1,00	1,00	4,70	125	1,00	25/01/1998
#1	56	1,00	1,00	1,00	4,23	16	1,00	25/01/1998
#1	59	1,00	1,00	1,00	0,33	16	1,00	25/01/1998
#1	62	1,00	1,00	1,00	4,42	14	1,00	25/01/1998
#1	77	1,00	1,00	1,00	3,00	89	1,00	25/01/1998
#1	89	1,00	1,00	1,00	3,00	77	1,00	26/10/1996
#1	125	1,00	1,00	1,00	4,70	55	1,00	08/09/1996
#2	15	0,75	1,00	0,75	7,53	43	1,00	18/02/1998
#2	43	0,75	1,00	0,75	7,53	15	1,00	25/01/1998
#2	44	0,75	1,00	0,75	5,04	125	1,00	25/01/1998
#2	53	0,75	1,00	0,75	5,88	16	1,00	25/01/1998
#2	57	0,75	1,00	0,75	6,05	125	1,00	25/01/1998
#2	64	0,75	1,00	0,75	9,53	15	1,00	25/01/1998
#2	68	0,75	1,00	0,75	8,90	14	1,00	25/01/1998
#2	82	0,75	1,00	0,75	5,65	77	1,00	26/10/1996
#2	90	0,75	1,00	0,75	7,51	77	1,00	26/10/1996
#3	3	0,75	0,75	1,00	4,88	29	1,00	08/08/1996
#3	9	0,75	0,75	1,00	0,53	51	1,00	18/02/1998
#3	11	0,75	0,75	1,00	4,31	70	1,00	18/02/1998
#3	29	0,75	0,75	1,00	4,88	3	1,00	25/01/1998
#3	51	0,75	0,75	1,00	0,00	21	1,00	25/01/1998
#3	52	0,75	0,75	1,00	0,00	20	1,00	25/01/1998
#3	70	0,75	0,75	1,00	4,31	11	1,00	25/01/1998
#4	17	0,56	1,00	0,75	7,51	59	0,75	18/02/1998
#5	20	0,56	0,75	1,00	0,00	52	0,75	18/02/1998
#5	21	0,56	0,75	1,00	0,00	51	0,75	18/02/1998
#6	33	0,56	0,75	0,75	6,32	3	1,00	25/01/1998
#6	36	0,56	0,75	0,75	8,68	123	1,00	25/01/1998
#6	123	0,56	0,75	0,75	8,68	36	1,00	08/09/1996
#7	40	0,50	1,00	0,50	20,15	11	1,00	25/01/1998
#7	41	0,50	1,00	0,50	13,83	125	1,00	25/01/1998
#7	42	0,50	1,00	0,50	12,23	125	1,00	25/01/1998
#7	46	0,50	1,00	0,50	14,65	17	1,00	25/01/1998
#7	48	0,50	1,00	0,50	24,59	17	1,00	25/01/1998
#7	58	0,50	1,00	0,50	11,86	16	1,00	25/01/1998
#7	61	0,50	1,00	0,50	11,14	14	1,00	25/01/1998
#7	63	0,50	1,00	0,50	13,30	14	1,00	25/01/1998
#7	67	0,50	1,00	0,50	16,53	14	1,00	25/01/1998
#7	79	0,50	1,00	0,50	25,74	109	1,00	25/01/1998
#7	83	0,50	1,00	0,50	28,05	77	1,00	26/10/1996
#7	91	0,50	1,00	0,50	12,66	77	1,00	26/10/1996
#7	103	0,50	1,00	0,50	35,39	119	1,00	26/10/1996
#7	104	0,50	1,00	0,50	35,30	119	1,00	26/10/1996
#7	109	0,50	1,00	0,50	13,71	118	1,00	26/10/1996

#7	118	0,50	1,00	0,50	13,71	109	1,00	08/09/1996
#7	119	0,50	1,00	0,50	22,28	67	1,00	08/09/1996
#7	121	0,50	1,00	0,50	28,36	78	1,00	08/09/1996
#8	47	0,37	1,00	0,50	21,76	17	0,75	25/01/1998
#8	69	0,37	1,00	0,50	18,92	118	0,75	25/01/1998
#9	1	0,37	0,75	0,50	25,52	36	1,00	08/08/1996
#9	4	0,37	0,75	0,50	18,98	99	1,00	08/08/1996
#9	7	0,37	0,75	0,50	20,33	33	1,00	18/02/1998
#9	8	0,37	0,75	0,50	11,95	52	1,00	18/02/1998
#9	12	0,37	0,75	0,50	26,18	36	1,00	18/02/1998
#9	30	0,37	0,75	0,50	21,95	3	1,00	25/01/1998
#9	32	0,37	0,75	0,50	12,25	3	1,00	25/01/1998
#9	38	0,37	0,75	0,50	21,14	11	1,00	25/01/1998
#9	39	0,37	0,75	0,50	16,48	11	1,00	25/01/1998
#9	49	0,37	0,75	0,50	11,00	118	1,00	25/01/1998
#9	50	0,37	0,75	0,50	26,38	3	1,00	25/01/1998
#9	71	0,37	0,75	0,50	41,76	1	1,00	25/01/1998
#9	72	0,37	0,75	0,50	30,09	8	1,00	25/01/1998
#9	73	0,37	0,75	0,50	29,00	20	1,00	25/01/1998
#9	74	0,37	0,75	0,50	46,60	19	1,00	25/01/1998
#9	76	0,37	0,75	0,50	47,18	1	1,00	25/01/1998
#9	84	0,37	0,75	0,50	13,45	77	1,00	26/10/1996
#9	101	0,37	0,75	0,50	26,00	123	1,00	26/10/1996
#9	102	0,37	0,75	0,50	40,51	119	1,00	26/10/1996
#9	112	0,37	0,75	0,50	15,27	120	1,00	26/10/1996
#9	113	0,37	0,75	0,50	34,41	77	1,00	26/10/1996
#9	120	0,37	0,75	0,50	15,27	112	1,00	08/09/1996
#10	10	0,28	0,75	0,50	6,95	51	0,75	18/02/1998
#11	75	0,18	0,75	0,25	51,85	19	1,00	25/01/1998
#12	28	0,12	1,00	0,50	12,66	109	0,25	25/01/1998
#12	78	0,12	1,00	0,50	28,08	109	0,25	25/01/1998
#12	92	0,12	1,00	0,50	37,93	121	0,25	26/10/1996
#13	2	0,12	0,25	0,50	44,22	18	1,00	08/08/1996
#13	13	0,12	0,25	0,50	21,63	34	1,00	18/02/1998
#13	18	0,12	0,25	0,50	15,80	34	1,00	18/02/1998
#13	19	0,12	0,25	0,50	29,73	34	1,00	18/02/1998
#13	31	0,12	0,25	0,50	14,61	3	1,00	25/01/1998
#13	34	0,12	0,25	0,50	15,80	18	1,00	25/01/1998
#13	99	0,12	0,25	0,50	18,98	4	1,00	26/10/1996
#14	37	0,09	0,75	0,50	26,89	11	0,25	25/01/1998
#15	86	0,06	0,50	0,50	31,67	121	0,25	26/10/1996
#16	96	0,06	0,50	0,25	55,15	68	0,50	26/10/1996
#17	100	0,06	0,25	0,25	51,72	4	1,00	26/10/1996

OBS: Os polígonos 5, 6, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 35, 45, 65, 66, 80, 81, 85, 87, 88, 93, 94, 95, 97, 98, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 114, 115, 116, 117, 122, 124, 126 não foram incluído no procedimento de *ranking* pois foram interpretados como derramamentos de óleo.

Tabela A4.1 - Níveis de confiabilidade e *ranking* das exsudações de óleo na porção *offshore* do Delta do Niger.

# Pol.	Categoria	Aquisição RADARSAT-1	Longitude	Latitude	FC geral	Área	Perímetro	Profundidade da lâmina d'água (metros)
1	Oil seep	08/08/1996	4° 02' 56" E	4° 40' 07" N	0,37	1122,00	8,30	-2014,00
2	Oil seep	08/08/1996	3° 46' 15" E	3° 26' 02" N	0,12	0,35	3,60	-3798,00
3	Oil seep	08/08/1996	4° 14' 26" E	3° 42' 36" N	0,75	4,31	22,20	-2951,00
4	Oil seep	08/08/1996	3° 44' 50" E	5° 38' 05" N	0,37	0,50	3,80	-1748,00
5	Oil spill	08/08/1996	4° 14' 04" E	5° 12' 33" N		4,76	56,20	-1106,00
6	Oil spill	08/08/1996	3° 57' 54" E	4° 25' 58" N		2,52	22,50	-2285,00
7	Oil seep	02/18/1998	4° 03' 49" E	3° 56' 52" N	0,37	1543,00	11,52	-2648,00
8	Oil seep	02/18/1998	4° 15' 42" E	4° 17' 37" N	0,37	14312,00	110,64	-1871,00
9	Oil seep	02/18/1998	4° 17' 54" E	4° 38' 28" N	0,75	2138,00	37,38	-1372,00
10	Oil seep	02/18/1998	4° 22' 03" E	4° 33' 42" N	0,28	0,12	4,44	-1193,00
11	Oil seep	02/18/1998	4° 16' 59" E	4° 45' 33" N	0,75	0,02	1,08	-1442,00
12	Oil seep	02/18/1998	3° 38' 19" E	5° 00' 38" N	0,37	1026,00	9,00	-2372,00
13	Oil seep	02/18/1998	3° 25' 45" E	3° 56' 28" N	0,12	0,83	6,36	-3607,00
14	Oil seep	02/18/1998	4° 41' 26" E	4° 54' 48" N	1,00	0,54	7,14	-538,00
15	Oil seep	02/18/1998	4° 36' 44" E	4° 43' 56" N	0,75	0,10	2,64	-743,00
16	Oil seep	02/18/1998	4° 35' 37" E	4° 39' 38" N	1,00	2,05	30,24	-862,00
17	Oil seep	02/18/1998	4° 37' 09" E	4° 33' 36" N	0,56	0,10	2,22	-974,00
18	Oil seep	02/18/1998	3° 27' 42" E	3° 41' 24" N	0,12	0,11	2,46	-3677,00
19	Oil seep	02/18/1998	3° 31' 13" E	4° 03' 49" N	0,12	0,15	3,60	-3357,00
20	Oil seep	02/18/1998	4° 12' 32" E	4° 26' 29" N	0,56	5942,00	53,10	-1769,00
21	Oil seep	02/18/1998	4° 18' 31" E	4° 32' 28" N	0,56	1289,00	18,42	-1287,00
22	Oil spill	02/18/1998	3° 46' 32" E	3° 50' 16" N		1,35	11,70	-3488,00
23	Oil spill	02/18/1998	4° 52' 43" E	4° 05' 09" N		0,74	15,36	-1201,00
24	Oil spill	02/18/1998	4° 44' 44" E	4° 57' 41" N		0,20	4,20	-384,00
25	Oil spill	02/18/1998	4° 41' 60" E	5° 13' 25" N		0,36	7,50	-272,00
26	Oil spill	02/18/1998	4° 17' 30" E	5° 09' 12" N		2,02	55,62	-1030,00
27	Oil spill	02/18/1998	4° 14' 55" E	5° 12' 56" N		0,16	3,12	-1054,00
28	Oil seep	01/25/1998	4° 54' 34" E	4° 12' 06" N	0,12	30367,00	83471,00	-1033,00
29	Oil seep	01/25/1998	4° 18' 00" E	3° 45' 43" N	0,75	2013,00	18781,00	-2656,00
30	Oil seep	01/25/1998	4° 27' 30" E	3° 40' 20" N	0,37	4765,00	42062,00	-2718,00
31	Oil seep	01/25/1998	4° 18' 46" E	3° 34' 42" N	0,12	0,24	6,30	-3249,00
32	Oil seep	01/25/1998	4° 21' 24" E	3° 38' 35" N	0,37	0,11	3,84	-2939,00
33	Oil seep	01/25/1998	4° 08' 43" E	3° 46' 31" N	0,56	0,21	5,94	-2932,00
34	Oil seep	01/25/1998	3° 33' 52" E	3° 47' 47" N	0,12	0,17	3,06	-3571,00
35	Oil spill	01/25/1998	3° 22' 34" E	4° 12' 45" N		0,67	10,86	-3553,00
36	Oil seep	01/25/1998	3° 51' 49" E	4° 50' 44" N	0,56	4481,00	44102,00	-2168,00
37	Oil seep	01/25/1998	4° 10' 06" E	4° 59' 26" N	0,09	3967,00	40622,00	-1356,00
38	Oil seep	01/25/1998	4° 11' 43" E	4° 55' 45" N	0,37	0,14	2,40	-1342,00
39	Oil seep	01/25/1998	4° 16' 59" E	4° 54' 34" N	0,37	0,07	1,50	-1293,00
40	Oil seep	01/25/1998	4° 20' 19" E	4° 56' 26" N	0,50	0,22	4,02	-1255,00
41	Oil seep	01/25/1998	4° 25' 32" E	4° 48' 19" N	0,50	0,35	10,56	-1073,00
42	Oil seep	01/25/1998	4° 27' 38" E	4° 48' 14" N	0,50	2941,00	24661,00	-1006,00
43	Oil seep	01/25/1998	4° 32' 01" E	4° 45' 31" N	0,75	2,85	34681,00	-909,00
44	Oil seep	01/25/1998	4° 28' 55" E	4° 43' 36" N	0,75	2552,00	16561,00	-1002,00
45	Oil spill	01/25/1998	4° 37' 38" E	4° 31' 50" N		3,09	40,98	-963,00
46	Oil seep	01/25/1998	4° 42' 19" E	4° 27' 17" N	0,50	1058,00	19081,00	-982,00
47	Oil seep	01/25/1998	4° 48' 58" E	4° 30' 03" N	0,37	0,18	3,48	-672,00
48	Oil seep	01/25/1998	4° 50' 30" E	4° 31' 40" N	0,50	0,18	2,64	-581,00
49	Oil seep	01/25/1998	4° 28' 09" E	4° 11' 56" N	0,37	1619,00	19201,00	-1409,00
50	Oil seep	01/25/1998	4° 29' 41" E	3° 42' 44" N	0,37	0,44	8,64	-2524,00
51	Oil seep	01/25/1998	4° 19' 32" E	4° 30' 17" N	0,75	3627,00	62642,00	-1251,00
52	Oil seep	01/25/1998	4° 17' 31" E	4° 25' 56" N	0,75	1693,00	34442,00	-1663,00
53	Oil seep	01/25/1998	4° 31' 12" E	4° 35' 49" N	0,75	0,41	7,50	-1025,00
54	Oil seep	01/25/1998	4° 33' 12" E	4° 37' 34" N	1,00	0,35	6,54	-952,00
55	Oil seep	01/25/1998	4° 31' 39" E	4° 40' 15" N	1,00	0,40	4,98	-937,00
56	Oil seep	01/25/1998	4° 32' 18" E	4° 38' 52" N	1,00	0,52	8,94	-931,00
57	Oil seep	01/25/1998	4° 31' 36" E	4° 37' 36" N	0,75	0,12	3,42	-966,00
58	Oil seep	01/25/1998	4° 43' 20" E	4° 38' 04" N	0,50	1958,00	29788,00	-725,00
59	Oil seep	01/25/1998	4° 36' 37" E	4° 38' 15" N	1,00	0,96	16201,00	-879,00
61	Oil seep	01/25/1998	4° 36' 07" E	4° 50' 57" N	0,50	0,41	4,80	-447,00
62	Oil seep	01/25/1998	4° 38' 45" E	4° 54' 38" N	1,00	0,65	7,44	-503,00
63	Oil seep	01/25/1998	4° 33' 58" E	4° 54' 47" N	0,50	0,14	3,48	-565,00
64	Oil seep	01/25/1998	4° 37' 20" E	4° 49' 30" N	0,75	0,18	4,32	-528,00
65	Oil spill	01/25/1998	4° 46' 38" E	5° 04' 55" N		0,84	10,56	-228,00
66	Oil spill	01/25/1998	4° 45' 34" E	5° 07' 09" N		0,50	8,89	-278,00

67	Oil seep	01/25/1998	4° 37' 09" E	5° 03' 15" N	0,50	0,09	1,62	-516,00
68	Oil seep	01/25/1998	4° 46' 55" E	4° 52' 20" N	0,75	0,46	11,70	-440,00
69	Oil seep	01/25/1998	4° 38' 58" E	4° 23' 16" N	0,37	2672,00	37262,00	-1214,00
70	Oil seep	01/25/1998	4° 19' 31" E	4° 44' 47" N	0,75	0,19	3,90	-1281,00
71	Oil seep	01/25/1998	3° 49' 38" E	4° 21' 19" N	0,37	0,45	4,62	-2676,00
72	Oil seep	01/25/1998	3° 56' 41" E	4° 18' 37" N	0,37	0,43	4,62	-2447,00
73	Oil seep	01/25/1998	3° 52' 21" E	4° 27' 33" N	0,37	2774,00	35882,00	-2439,00
74	Oil seep	01/25/1998	3° 40' 52" E	4° 29' 06" N	0,37	7258,00	44762,00	-2894,00
75	Oil seep	01/25/1998	3° 37' 18" E	4° 31' 28" N	0,18	0,08	1,32	-2901,00
76	Oil seep	01/25/1998	3° 36' 51" E	4° 37' 43" N	0,37	0,60	6,24	-2766,00
77	Oil seep	01/25/1998	5° 01' 01" E	3° 59' 02" N	1,00	1,01	16741,00	-1008,00
78	Oil seep	01/25/1998	4° 57' 44" E	4° 16' 57" N	0,12	2633,00	22772,00	-729,00
79	Oil seep	01/25/1998	4° 54' 26" E	4° 17' 25" N	0,50	1291,00	23101,00	-761,00
80	Oil spill	10/26/1996	4° 22' 29" E	5° 02' 22" N		5,30	42,10	-1070,00
81	Oil spill	10/26/1996	4° 41' 03" E	5° 02' 55" N		0,70	12,90	-320,00
82	Oil seep	10/26/1996	4° 56' 01" E	3° 56' 27" N	0,75	1163,00	8,20	-1240,00
83	Oil seep	10/26/1996	5° 12' 14" E	3° 47' 34" N	0,50	0,45	4,20	-1100,00
84	Oil seep	10/26/1996	5° 02' 44" E	3° 49' 12" N	0,37	5,76	43502,00	-1129,00
85	Oil spill	10/26/1996	5° 31' 40" E	4° 31' 05" N		1,08	16,30	-30,00
86	Oil seep	10/26/1996	5° 26' 59" E	4° 28' 12" N	0,06	0,50	5,40	-15,00
87	Oil spill	10/26/1996	3° 27' 55" E	5° 06' 12" N		22,52	195,70	-2567,00
88	Oil spill	10/26/1996	5° 48' 37" E	4° 20' 15" N		1,16	17,60	-20,00
89	Oil seep	10/26/1996	5° 00' 55" E	3° 55' 54" N	1,00	0,98	7,80	-1068,00
90	Oil seep	10/26/1996	5° 02' 46" E	3° 53' 21" N	0,75	12538,00	51502,00	-1014,00
91	Oil seep	10/26/1996	5° 06' 40" E	3° 53' 19" N	0,50	1128,00	7,50	-979,00
92	Oil seep	10/26/1996	5° 34' 19" E	4° 08' 10" N	0,12	1595,00	14601,00	-3,00
93	Oil spill	10/26/1996	5° 36' 46" E	4° 27' 51" N		5,27	78,30	-11,00
94	Oil spill	10/26/1996	5° 33' 55" E	4° 24' 53" N		15,06	61,90	-10,00
95	Oil spill	10/26/1996	5° 23' 52" E	4° 42' 53" N		0,30	3,20	-31,00
96	Oil seep	10/26/1996	5° 17' 47" E	5° 02' 20" N	0,06	0,37	5,60	-84,00
97	Oil spill	10/26/1996	5° 01' 06" E	5° 34' 25" N		0,12	1,80	-58,00
98	Oil spill	10/26/1996	4° 54' 41" E	5° 48' 29" N		0,20	3,20	-15,00
99	Oil seep	10/26/1996	3° 43' 42" E	5° 48' 48" N	0,12	0,27	3,10	-1815,00
100	Oil seep	10/26/1996	3° 14' 26" E	5° 37' 23" N	0,06	9441,00	82603,00	-2399,00
101	Oil seep	10/26/1996	3° 51' 32" E	5° 10' 43" N	0,37	0,66	10,10	-1754,00
102	Oil seep	10/26/1996	4° 08' 60" E	5° 23' 46" N	0,37	0,95	6,30	-970,00
103	Oil seep	10/26/1996	4° 40' 45" E	5° 23' 28" N	0,50	0,51	6,60	-283,00
104	Oil seep	10/26/1996	4° 23' 24" E	5° 28' 29" N	0,50	0,20	3,10	-597,00
105	Oil spill	10/26/1996	5° 50' 06" E	4° 11' 45" N		1,06	7,40	-5,00
106	Oil spill	10/26/1996	5° 36' 13" E	4° 19' 38" N		4,38	37,80	-3,00
107	Oil spill	10/26/1996	5° 51' 43" E	3° 47' 08" N		2,36	18,20	-316,00
108	Oil spill	10/26/1996	5° 25' 03" E	4° 51' 09" N		0,20	3,90	-2,00
109	Oil seep	10/26/1996	4° 44' 23" E	4° 06' 34" N	0,50	0,71	6,80	-1183,00
110	Oil spill	10/26/1996	4° 39' 52" E	4° 55' 25" N		2,11	37,90	-527,00
111	Oil spill	10/26/1996	4° 33' 25" E	5° 17' 35" N		0,24	4,50	-475,00
112	Oil seep	10/26/1996	4° 38' 08" E	3° 58' 52" N	0,37	0,95	16601,00	-1509,00
113	Oil seep	10/26/1996	5° 14' 25" E	3° 45' 22" N	0,37	0,41	3,70	-1114,00
114	Oil spill	10/26/1996	5° 03' 25" E	5° 44' 19" N		0,24	2,90	-3,00
115	Oil spill	09/08/1996	5° 41' 23" E	4° 17' 51" N		106,44	243,80	-5,00
116	Oil spill	09/08/1996	5° 56' 28" E	4° 14' 26" N		4,82	33,50	-6,00
117	Oil spill	09/08/1996	4° 51' 33" E	5° 58' 48" N		0,46	7,00	-21,00
118	Oil seep	09/08/1996	4° 35' 59" E	4° 07' 01" N	0,50	6,62	86222,00	-1571,00
119	Oil seep	09/08/1996	4° 26' 02" E	5° 08' 50" N	0,50	1453,00	12,70	-832,00
120	Oil seep	09/08/1996	4° 29' 13" E	4° 00' 05" N	0,37	2825,00	41401,00	-1915,00
121	Oil seep	09/08/1996	5° 14' 26" E	4° 15' 15" N	0,50	1,06	13,30	-151,00
122	Oil spill	09/08/1996	5° 09' 45" E	5° 28' 02" N		24,31	188,40	-105,00
123	Oil seep	09/08/1996	3° 53' 30" E	4° 56' 23" N	0,56	0,50	8,50	-2112,00
124	Oil spill	09/08/1996	5° 33' 55" E	4° 28' 51" N		0,41	3,60	-19,00
125	Oil seep	09/08/1996	4° 27' 51" E	4° 39' 26" N	1,00	0,21	6,50	-978,00
126	Oil spill	10/26/1996	4° 58' 32" E	5° 52' 06" N		38,53	158,60	-3,00

OBS: #Pol. = Número do polígono; Oil seep = Exsudação de óleo; Oil spill = Derramamento de óleo; FC geral = Fator geral de confiabilidade.

Tabela A4.2 – Tabela com o sumário dos resultados.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)