Avaliação de métodos para detecção e qualificação de exsudações oceânicas de hidrocarbonetos com base em sensoriamento remoto no espectro refletido

Paulo Eduardo Locatelli [1]
Talita Lammoglia [2]
Carlos Roberto de Souza Filho [1]

[1] Universidade Estadual de Campinas - Unicamp.
Caixa Postal 6152 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
paulo.locatelli@ige.unicamp.br, beto@ige.unicamp.br

[2] Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras
Av. República do Chile, 330, 13° CEP: 20031-170 – Rio de Janeiro - RJ.
talita.lammoglia@petrobras.com.br

Abstract. Natural hydrocarbons seeps are important because they indicate the presence of a petroleum system in the subsurface. In the Gulf of Mexico, seepages are common and have been responsible for the discoveries of important oil fields in recent decades, some of them assisted by remote sensing techniques. This project aims to evaluate methods for detection and classification of oil slicks that were produced by marine seeps, through the utilization of multispectral images of the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer sensor (ASTER). Several tests have been conducted as part of this research to achieve this purpose. Using the data related to the acquisition geometry of ASTER images was possible to predict the appearance of the oil. The test of three supervised classification algorithms demonstrated the possibility to detect oil slicks on the ocean surface. Moreover, a predictive model based on spectral features from laboratory and ASTER images was used to remotely estimate the API gravity values of oil seeps using the ASTER imagery. The results obtained using remote sensing was similar to those recorded nearby the oil fields in this region of the Gulf of Mexico

Palavras-chave: seepage, offshore basins, multispectral ASTER data, exsudações, bacias oceânicas, dados multiespectrais ASTER

1. Introdução

A presença de exsudações, que são escapes espontâneos de hidrocarbonetos acumulados em subsuperfície, é indicativa de um sistema petrolífero associado. Em áreas continentais, as exsudações foram responsáveis pelas primeiras descobertas de petróleo, numa época onde as técnicas de prospecção ainda eram precárias. As exsudações oceânicas, por sua vez, até hoje são úteis na pesquisa em áreas de fronteira exploratória de difícil acesso, como regiões marinhas profundas, onde os outros tipos de dados são escassos e de alto custo.

Diversos autores tratam do uso de técnicas de sensoriamento remoto para detecção de óleo na superfície oceânica (*e.g.,* Fingas & Brown 1997). Para este fim, o uso de sensores SAR (Synthetic Aperture Radar) é mais comum, pois estes operam com cobertura de nuvens e independente da iluminação solar

Embora o uso do SAR tenha suas vantagens, os dados desse tipo de sensor ainda são restritos se comparados a sensores óticos, além de não permitir inferência sobre as características físico-químicas do óleo. No entanto, estudos recentes (Lammoglia & Souza Filho 2009a,b; 2011, 2012) mostram que este tipo de inferência é possível com sensores multiespectrais e hiperespectrais. Tal feito pode ser muito útil na análise de exsudações oceânicas, especialmente quando se trata de pesquisas exploratórias por novos campos petrolíferos.

Neste contexto, tomando-se como área de estudo uma região oceânica na porção norte do Golfo do México, onde várias exsudações têm sido registradas em imagens do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), esse trabalho objetiva: (i) avaliar a relação da geometria de visada com a aparência das exsudações nas imagens de satélite; (ii) testar métodos detecção de exsudações oceânicas com dados de sensoriamento remoto no

espectro refletido (0,52 µm - 2,430 µm); (iii) aplicar o modelo de Lammoglia & Souza Filho (2011, 2012) para qualificar o óleo exsudado.

1.1. Bacia do Golfo do México

A Bacia do Golfo do México é um importante repositor de hidrocarbonetos de classe mundial. Nessa região as exsudações são freqüentes e foram responsáveis pela descoberta de diversos campos petrolíferos. A Figura 1 destaca a área de trabalho pesquisada e a Figura 2 as cenas utilizadas.

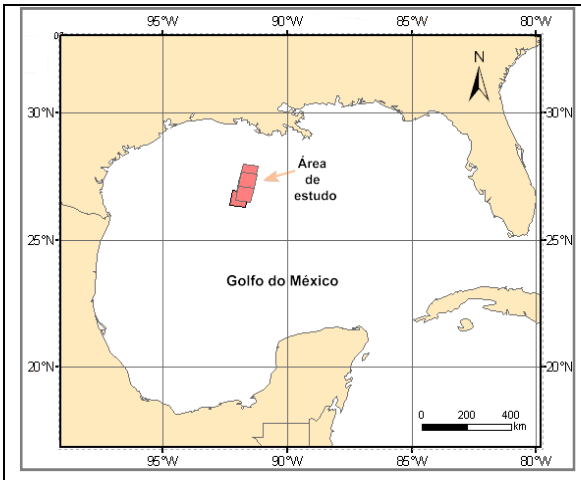

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo

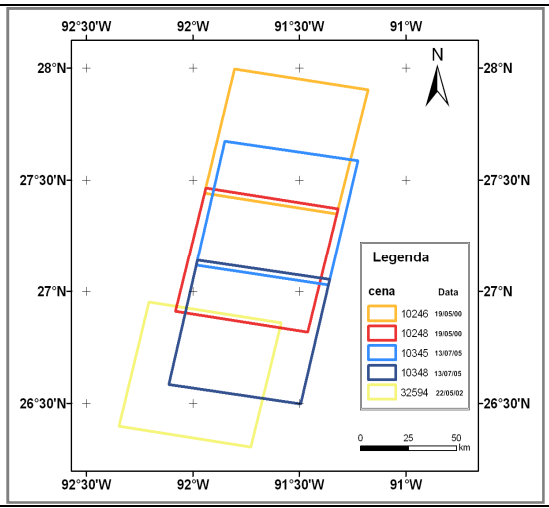

Figura 2 - Mapa de localização relativa das cenas ASTER e respectivas datas de aquisição.

A grande exploração de hidrocarbonetos na Bacia do Golfo do México e o desenvolvimento de pesquisas *off-shore* desde meados do século passado, avançaram os estudos da encosta para a planície abissal (Crawford *et al.,* 2003), e atualmente para campos em águas profundas. Nessa região, as principais rochas geradoras são os folhelhos neojurássicos e neocretácicos (cenomaniano-turonianos). As rochas-reservatório são predominantemente arenitos turbidíticos (Galloway 2008).

1.2. Base de dados ASTER

Foram utilizadas cinco cenas com exsudações visíveis na porção norte do Golfo do México. A área de cobertura dessas cenas encontra-se ilustrada na Figura 1. As cinco cenas representam a observação da área de estudo em três datas distintas nos anos de 2000, 2002 e 2005. Dois pares de cenas são seqüenciais, foram adquiridos ao longo da mesma órbita e passagem do satélite na mesma data e formam imagens perfeitamente contíguas. A Figura 2 exibe a posição relativa das cenas, onde é possível notar que há superposição espacial entre as imagens. A etapa de pré-processamento das imagens ASTER compreendeu: (i) conversão dos valores de números digitais (DNs) originais para reflectância aparente na superfície, (ii) re-amostragem das bandas do SWIR para a resolução espacial de 15 m; e (iii) correção atmosférica através do modelo *Moderate Resolution Atmosferic Radiance and Transmittance Model* (MODTRAN).

2. Materiais e Métodos

2.1. Geometria de Aquisição

Na área de estudo, a aparência das exsudações nas cenas é variada. Podem ocorrer em tons mais claros (contraste positivo) ou mais escuros (contraste negativo) do que a água do mar. Trabalhos prévios indicam que este fenômeno está relacionado à geometria de aquisição (Berry 1995).

O óleo, por ter viscosidade maior do que a água, atenua as pequenas ondas de superfície, capilares e de gravidade, diminuindo a rugosidade da superfície oceânica (Brekke & Solberg 2005). O *sun glitter* é a reflexão especular da luz solar pelas ondas superficiais em direção ao sensor. O brilho do óleo na superfície do mar depende do ângulo entre direção de visada do satélite e a direção ao ponto especular, que é denominado de *theta* (θ). Para sensores capazes de variar a direção de visada lateralmente, o θ é dado por:

$$\cos\theta = \cos\varepsilon * \text{sen}\gamma * \cos(\alpha - \beta - 90) + \text{sen}\varepsilon * \cos\gamma \quad \text{(equação 1)}$$

onde:

ε = elevação solar, γ = ângulo de visada do sensor (medido a partir da vertical), α = azimute solar, β = direção do satélite em relação ao Norte.

Em duas das cenas investigadas (identificadas como 10345 e 10348), as manchas de óleo proveniente das exsudações aparecem mais escuras do que água do mar (contraste negativo). Nas demais cenas, o óleo aparece mais claro do que a água.

A partir dados de geometria de aquisição disponíveis nos arquivo de metadados das cenas ASTER, utilizou-se a equação 1 para o cálculo dos valores de θ. Para a banda 3B do ASTER (infravermelho próximo; retrovisada) esses cálculos foram feitos considerando a diferença 28º do ângulo de visada com a banda 3N (infravermelho próximo; visada NADIR).

2.2. Detecção Semiautomática de Óleo na Superfície Oceânica

Para detecção do óleo na superfície oceânica foram utilizados dados das 9 bandas VNIR-SWIR do sensor ASTER convertidos para reflectância.

A detecção das superfícies cobertas por lâmina de óleo foi feita através da ferramenta de classificação supervisionada do software ENVI EX (ITT VIS 2009). Para a classificação foram selecionadas áreas de treinamento representativas das principais feições presentes nas cenas, ou seja: (i) óleo e água, para imagens sem cobertura de nuvens; (ii) óleo, água, nuvem e sombra de nuvem, para as imagens com nebulosidade presente.

As cenas foram classificadas com base em 3 algoritmos: *Minimum Distance*, *Mahalanobis Distance* e *Spectral Angle Mapper* (SAM) (ITT VIS 2009).

2.3. Qualificação do Óleo

Lammoglia & Souza Filho (2012) mostraram que dados de reflectância espectral permitem inferências qualitativas sobre os hidrocarbonetos. Os autores conseguiram, com sucesso, predizer características físico-químicas (*i.e.*, grau API) de óleo em imagens ASTER da Bacia de Campos.

Os métodos desenvolvidos por Lammoglia & Souza Filho (2012) para estimar o grau API das exsudações foram aqui aplicados nas cenas ASTER do Golfo do México.

No intervalo do visível, não é possível observar feições diagnósticas nos óleos puros, apenas um baixo patamar constante de reflectância. Já no intervalo do NIR-SWIR, podem ser discriminadas algumas das principais feições de absorção dos hidrocarbonetos. Para registrar as feições espectrais diagnósticas dos óleos é necessária uma espessura mínima do filme de óleo sobre a água, que varia a depender do grau API.

Na classificação espectral, a região mais relevante do espectro para distinguir óleos leves e pesados está contida entre 1600 e 2400 nm. Com os dados re-amostrados para a resolução espectral do sensor ASTER, esta distinção ainda é possível, uma vez que esta faixa espectral é também coberta pelas 6 bandas SWIR daquele sensor.

Neste trabalho a amostragem espectral das exsudações foi feita utilizando-se as 3 bandas do VNIR e as 6 bandas do SWIR do sensor ASTER. As assinaturas espectrais médias das

exsudações foram obtidas a partir da extração de conjuntos de pixels na imagem, representativos das manchas de óleo. Esses pixels foram processados também separadamente para verificar a possível existência de variações locais no tipo de óleo. Os espectros foram normalizados pela remoção do contínuo, no sentido de facilitar a comparação dos dados orbitais com esses de calibração, considerando a metodologia utilizada.

A predição do grau API foi feita utilizando-se a Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (MQP) segundo o modelo de Lammoglia & Souza Filho (2012).

3. Resultados e Discussões

3.1. Geometria de Aquisição

O objetivo do cálculo dos valores de θ é verificar se o modo de ocorrência das exsudações nas imagens ASTER (escuras ou claras) corresponde com o previsto no modelo teórico.

A Tabela 1 apresenta os valores de θ calculados, os tipos de contraste observados nas imagens ASTER e os tipos de contraste esperados segundo o modelo de Berry (1995). Os valores de θ obtidos foram analisados para que as características do contraste óleo/água observadas nas cenas fossem comparadas com os valores previstos.

Tabela 1 – Ângulo de visada, aparência do óleo e valores de θ calculados para bandas do VNIR e para banda 3B do sensor ASTER.

Banda VNIR	**Parâmetros e aparência**	***Cenas***				
		10345 13/jul/05	**10348** 13/jul/05	**10246** 19/mai/00	**10248** 19/mai/00	**32594** 22/mai/02
Banda 3N	Ângulo de visada do sensor (γ)	-5,68	-5,68	5,74	5,74	5,74
	Aparência do óleo (na cena)	escuro	escuro	claro	claro	claro
	θ (graus)	25,07	25,05	8,88	8,62	10,58
	Aparência do óleo calculada	escuro	escuro	claro	claro	indefinido
Banda 3B	Ângulo de retrovisada (γ-28°)	-33,68	-33,68	-22,26	-22,26	-22,27
	Aparência do óleo (na cena)	escuro	escuro	escuro	escuro	escuro
	θ (graus)	53,05	53,05	35,53	35,48	38,42
	Aparência do óleo calculada	indefinido	indefinido	escuro	escuro	escuro

Os padrões de contraste observados nas imagens são coerentes com o previsto pelo modelo, exceto no caso da cena 32594 (Tabela 1), na qual o valor de θ está muito próximo do limiar entre a mudança de contraste. Neste caso, não é possível avaliar o resultado, visto que este limiar pode sofrer variações de acordo com as condições de vento (Lorenzzetti *et al.* 2009).

A Tabela 1 também exibe os resultados para a banda 3B. As cenas 10345 e 10348 têm valores de θ superiores a 50°. Segundo Berry (1995), quando θ é maior que 40°, a diferença entre as duas curvas, óleo e água, é tão pequena que não seria possível identificar as manchas de óleo na imagem. Assim sendo, o resultado na Tabela 1 foi registrado como indefinido.

De fato, ao se observar as imagens 3B destas duas cenas, nota-se que as exsudações não são nítidas, pois o contraste óleo/água é bastante sutil. No entanto, é possível verificar que as exsudações são mais escuras que a água do mar. Nas cenas restantes, 10246, 10248 e 32594, as imagens obtidas na banda 3B as exsudações são escuras (Figura 3), ao contrário do observado na banda 3N, e os resultados, novamente, são coerentes com o modelo.

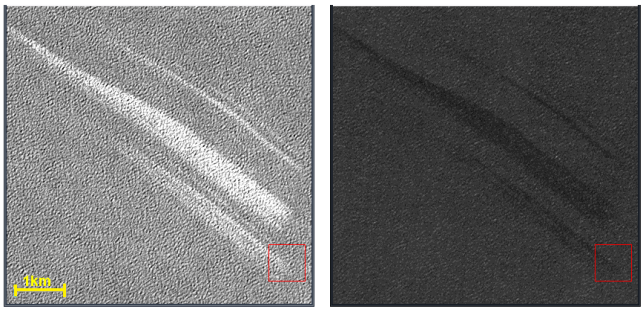

Figura 3 - Recorte da cena 10248, banda 3N (à esquerda) e 3B (à direita), onde as machas de óleo aparecem, respectivamente, mais claras e mais escuras que a água, conforme previsto no modelo de detecção.

3.2. Detecção Semiautomática de Óleo na Superfície Oceânica

As cenas utilizadas possuem um gradiente de brilho decorrente da iluminação. O SAM não é sensível aos efeitos de iluminação, uma vez que considera apenas as direções dos vetores e não seus comprimentos. Assim, a variação de brilho presente nas cenas teoricamente não prejudica a classificação pelo método SAM em comparação aos outros algoritmos aqui utilizados. De fato, foi possível se observar que o gradiente de iluminação foi o efeito que mais comprometeu as classificações do Mahalanobis Distance e do Minimum Distance.

Como os efeitos de iluminação estão presentes em todas as cenas, dentre os algoritmos testados, considerou-se que o SAM foi que produziu melhor resultado geral.

3.3. Qualificação do Óleo

A maioria dos valores obtidos, considerando-se os erros associados, está próxima dos valores esperados para a área de estudo, que estão entre 20 e 30 graus API (Hood *et al.,* 2002). A média de todos os resultados obtidos pelo modelo preditivo foi de 21° API.

A Tabela 2 exibe a média dos resultados separados por cena. Os dois graus API mais baixos são referentes aos óleos detectados nas cenas 10345 e 10348, nas quais as exsudações aparecem escuras (contraste negativo). E nota-se que cenas de mesma data têm um resultado aproximado.

Tabela 2 - Valores de ºAPI médio por cena

Data de aquisição	Cena	ºAPI
13/jul/05	10345	**18,5**
	10348	**17,7**
22/mai/02	32594	**20,6**
19/mai/00	10246	**22,8**
	10248	**22,8**

Ao se comparar cenas obtidas em datas diferentes é preciso considerar as possíveis variações (i) na espessura da lâmina de óleo, (ii) no tempo de exposição, (iii) nos efeitos resultantes da exposição (e.g., emulsificação), (iv) nas condições climáticas e correntes, (v) no fato de que os reservatórios em sub-superfície não são homogêneos e as exsudações podem ter fontes distintas. Isso torna difícil uma comparação direta entre os resultados obtidos inter-cenas.

A sobreposição espacial das cenas permitiu analisar as exsudações em diferentes datas e sob diferentes geometrias de aquisição (Figura 4). A Tabela 3 exibe os valores médios obtidos para exsudações que se sobrepõem. As exsudações que ocorrem na mesma localização aparecem na mesma linha, junto com os respectivos valores de ºAPI e modo de ocorrência (*i.e.* claras ou escuras).

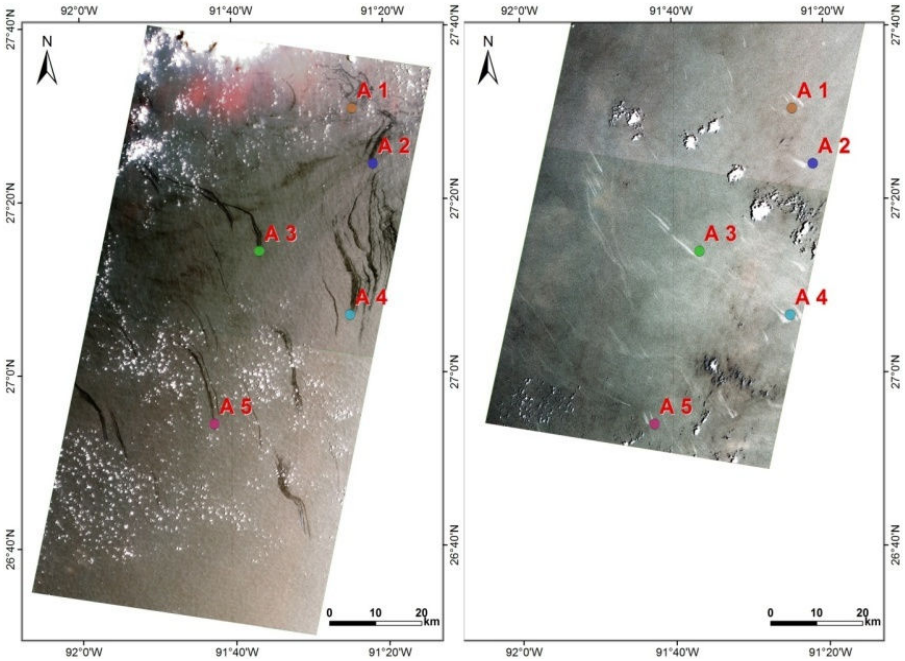

Figura 4 - Mapa de localização das áreas de exsudação com sobreposição espacial nas cenas 10345 & 10348 (à esquerda) e 10246 & 10248 (à direita).

Em todos os casos de sobreposição de exsudações, os valores mais baixos são os das cenas em que as exsudações aparecem escuras (Tabela 3). O modelo de predição utiliza as assinaturas espectrais para calcular o valor do ºAPI. Entretanto, essa relação depende de tantas variáveis que seria quase impossível entender a relação dos espectros com os valores de ºAPI a partir de uma simples análise visual. As diferenças entre os valores de ºAPI obtidos está relacionada aos distintos padrões espectrais observados.

Na Figura 5 são exibidas as assinaturas espectrais de duas exsudações estudadas. Estas assinaturas foram utilizadas para calcular o ºAPI das respectivas exsudações, cujos valores estão listados na Tabela 3. As exsudações de contraste positivo estão representadas em azul e as de contraste negativo em vermelho. Nota-se que há uma distinção entre as feições de absorção relacionadas às manchas claras e as escuras detectadas em uma mesma posição espacial, particularmente na região do SWIR, que é crítica para qualificação entre tipos de óleo. Lammoglia & Souza Filho 2012, selecionaram porções com diferentes tonalidades dentro de uma mesma mancha para testar os modelos preditivos. Os resultados mostraram variações inferiores a 2 °API.

Tabela 3- Média dos resultados do ºAPI de exsudações com superposição em diferentes cenas.

Localização	Exsudação escura		Exsudação clara	
	Cena	ºAPI	Cena	ºAPI
A1	10345	19	10246	22,9
A2	10345	18,8	10246	22,6
A3	10345	15,1	10248	22,1
A4	10345	19,7	10248	23,2
A5	10348	15,6	10248	22,3

Diversos fatores podem estar relacionados a essa tendência de menor grau API em cenas cujas manchas aparecem escuras no visível: (i) não é possível estabelecer-se uma relação de fato entre as manchas, visto a alta quantidade de manchas freqüentemente detectadas na área, (**ii**) segundo Bierget & Berry (1993, *apud* Bentz *et al.,* 2006) a assinatura espectral do óleo no VNIR depende da geometria de aquisição e da espessura do filme. De fato, as cenas ASTER que

exibem exsudações claras foram adquiridas com geometria de aquisição distintas daquelas com exsudações escuras (Tabela 1). Para modelos preditivos, essa variação na aparência causada pela geometria pode estar sendo confundida com a cor visível dos óleos, visto que óleos mais leves apresentam cores mais claras/amareladas. Entretanto, foram consideradas diferentes geometrias de laboratório na geração dos modelos preditivos; (**iii**) nas cenas com exsudações escuras, as manchas de óleo são expressivamente maiores, mesmo quando consideradas a mesma fonte de exsudação. Assim, a lâmina de óleo nestas cenas também pode ter diferentes espessuras ou os espectros selecionados nas cenas em que as exsudações aparecem claras podem ser na verdade uma mistura de óleo e água; (**iv**) o tempo de exposição do óleo exsudado pode ser bastante distinto. (**v**) a agitação das ondas emulsifica o óleo e pode camuflar sua resposta espectral.

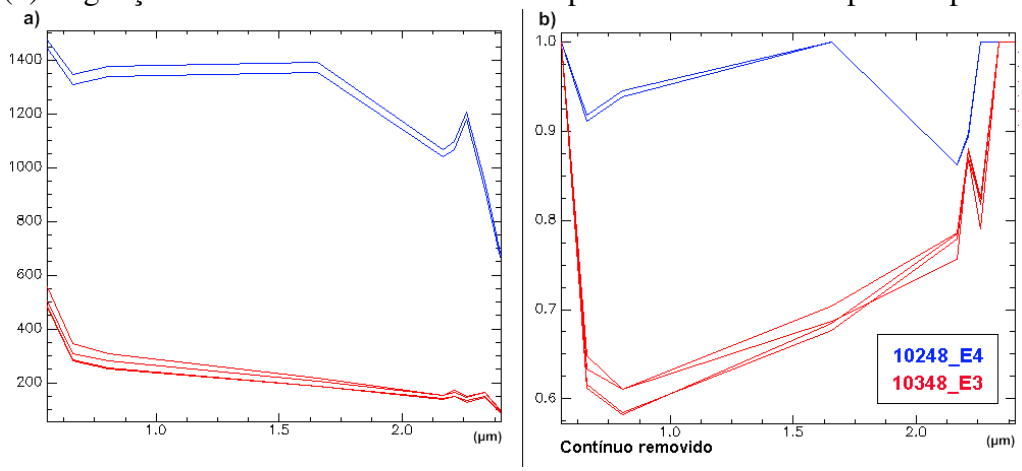

Figura 5 - Assinaturas espectrais VNIR-SWIR das exsudações extraídas de pixels da imagem ASTER no ponto A5.

4. Conclusões

4.1. Geometria de Aquisição

A aparência das manchas de óleo nas imagens de satélite está relacionada à geometria de aquisição, particularmente aos valores do ângulo entre a direção de visada do sensor e a direção ao ponto especular, denominado de θ. Ao serem comparados os resultados previstos pelo modelo com o que é observado nas imagens, houve acerto na maior parte dos casos, com ressalvas para situações em que o limiar para a mudança de contraste é experimentalmente ambíguo.

O estudo demonstrou que modelo é promissor, mas que são necessários estudos adicionais no sentido de melhor delimitar quais valores de θ, e de outras variáveis como o vento, determinam todas as possibilidades de mudanças de contraste entre o óleo e água do mar. Sem estes limites bem estabelecidos, a previsão é somente sólida para situações onde os valores de θ estão abaixo de 10° (contraste positivo) e entre 11-40° (contraste negativo).

4.2. Detecção Semiautomática de Óleo na Superfície Oceânica

Dos algoritmos testados para classificação supervisionada no Golfo do México, o SAM foi o que alcançou o melhor resultado geral, visto que não é sensível à iluminação solar. Tais resultados corroboram aqueles obtidos por Lammoglia & Souza Filho (2009b), que também experimentaram, com sucesso, o uso do SAM para o mapeamento de manchas de óleo no mar na Bacia de Campos.

Embora os sensores óticos tenham sua operação limitada pela cobertura de nuvens e falta de iluminação, na ocasião de um acidente com vazamento de óleo, estes podem ser os únicos dados disponíveis. Assim, o desenvolvimento de técnicas de detecção semi-automáticas de óleo com dados de sensoriamento remoto ótico pode ser útil para dimensionar tanto derrames de óleo quanto fluxo de exsudações.

4.3. Qualificação do Óleo

As assinaturas espectrais de diferentes exsudações oriundas de campos de petróleo próximos entre si e contidos numa mesma cena ASTER são semelhantes. Entretanto, as assinaturas podem variar entre cenas distintas, mesmo quando se considera as mesmas áreas fontes de exsudação – possivelmente, reflexo da heterogeneidade dos efeitos atmosféricos nas imagens.

Embora as características físico-químicas do óleo determinem a sua assinatura espectral em experimentos de laboratório, esta assinatura no sensoriamento remoto orbital está sujeita a variações. Apesar disto, o modelo de predição de ºAPI de Lammoglia & Souza Filho (2012) parece muito promissor, pois mesmo diante das inúmeras variáveis capazes de comprometer o resultado, permitiu a obtenção de valores de grau API muito próximos daqueles documentados para essa região do Golfo do México.

A divergência espectral encontrada entre as exsudações claras e escuras se refletiu nos valores calculados de ºAPI. Em geral, exsudações escuras apresentam menores valores de ºAPI em relação às claras. Nos casos em que a mesma exsudação aparece clara numa cena e escura em outra, a exsudação com contraste negativo sempre tem o menor valor de ºAPI.

Em que pese os resultados positivos obtidos com o modelo preditivo aqui utilizado, estudos adicionais são necessários para melhor compreender as diferenças entre os graus API estimados em cenas distintas.

5. Referências

Bentz, C.M. **Reconhecimento Automático de Eventos Ambientais Costeiros e Oceânicos em Imagens de Radares Orbitais**. Tese de Doutorado– Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006

Berry, J.L. Detecting and Evaluating Oil Slicks on the Sea Surface. **Space Congress - Remote Sensing for Oil Exploration and Environment,** Bremen, Germany, p. 1-17. 1995.

Brekke, C.; Solberg, A.H.S. Oil spill detection by satellite remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, 95 (1), p. 1-13. 2005

Crawford, T.G.; Burgess, G.L.; Kinler, C.J.; Pendergast, M.T.; Ross, K.M. **Estimated oil and gas reserves, Gulf of Mexico**. December 31, 2000, U.S. Department of Interior Minerals Management Service OCS Report MMS 2003-050. 2003

Fingas, M.F.; Brown, C.E. Review of oil spill remote sensing. **Spill Science& Technology Bulletin**, v4, 4, p.199-208. 1997.

Galloway, W.E. Depositional Evolution of Gulf of Mexico Sedimentary Basin. In: A. D. Miall (ed.) **The Sedimentary Basins of the United States and Canada. Sedimentary Basins of the World**, v5, Elsevier B.V., p.: 506-544. 2008.

Hood, K.C.; Wenger, L.M.; Gross, O.P.; Harrison, S.C. Hydrocarbon systems analysis of the northern Gulf of Mexico: Delineation of hydrocarbon migration pathways using seeps and seismic imaging, in Surface exploration case histories: Applications of geochemistry, magnetics, and remote sensing, D. Schumacher and L. A. LeSchack, eds., AAPG **Studies in Geology No. 48 and SEG Geophysical References Series No. 11**, p. 25-40. 2002.

ITT VIS, 2009. ITT Visual Information Solutions. Disponível em <http://www.ittvis.com/Company.aspx>. Acessado em 23 Jan de 2010.

Lammoglia, T.; Souza Filho, C.R. Mapping and characterization of the API gravity of offshore hydrocarbon seepages using multispectral ASTER data. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 381-389, 2012

Lammoglia, T.; Souza Filho, C.R. Spectroscopic characterization of oils yielded from Brazilian offshore basins: Potential applications of remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 2525-2535, 2011.

Lammoglia, T.; Souza Filho, C.R. Caracterização espectral de petróleos de bacias produtoras brasileiras. In: **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, p. 3235-3242. 2009a

Lammoglia, T.; Souza Filho, C.R.. Detecção e classificação de exsudações de hidrocarbonetos off-shore por espectroscopia e sensoriamento remoto. In**: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, p. 3243-3251. 2009b

Lorenzzetti, J.A.; Kampel, M.; Bentz, C.M.; A Sun glitter analysis of CBERS (WFI and CCD) and ASTER images of an oil seepage event at Campos Basin, Brazil. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE. 2009.