

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

MONITORAMENTO DE VAZAMENTOS DE ÓLEO EM POÇOS TERRESTRES ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

AUTORES:

¹Elvis S. Ribeiro, ²Geraldo L. B. Ramalho, ³Fátima N. S. de Medeiros, ⁴Mariana P. Bento,

INSTITUIÇÃO:

^{1,3,4} UFC - Universidade Federal do Ceará

²IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

MONITORAMENTO DE VAZAMENTOS DE ÓLEO EM POÇOS TERRESTRES ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Abstract

This paper proposes an unsupervised method for oil leaking detection on terrestrial oil well by using digital image processing techniques. Images extracted from Google Earth® free version are used to validate the procedure. The methodology investigates two different procedures to combine the primitive colors red, blue and green to enhance the optic image and achieves image segmentation by applying methods for automatic threshold selection. Experimental results are promising and encourage the possibility of using this procedure in designing trustful and robust early leaking detection systems.

Key Words: terrestrial oil well, oil leaking, threshold, segmentation.

Introdução

Atualmente, observa-se uma crescente preocupação da sociedade na preservação do meio ambiente. Com isso, setores governamentais e não governamentais de todo o mundo têm se empenhado no desenvolvimento de mecanismos de observação e proteção dos recursos naturais do planeta.

Na porção setentrional do Estado de Rio Grande do Norte tem-se observado alterações na paisagem natural ocasionada pela ação da indústria petrolífera. O planejamento de políticas de conservação ambiental para estas áreas requer o mapeamento dos recursos naturais e o monitoramento dos derrames de óleo (SOUZA et al., 2005). Dessa forma, trabalhos que auxiliam no monitoramento ambiental como proposto em (SILVA et al., 2005) e (PETTA et al., 2007), são de suma importância para prevenção de desastres ambientais, pois os danos causados por tais desastres são incalculáveis e ameaçam a biota e a sustentabilidade do homem no seu habitat.

Este artigo apresenta técnicas de processamento de imagens digitais (PDI) que podem ser aplicadas na vigilância ambiental de regiões sob a ação da indústria de petróleo a partir do uso de imagens via satélite. As imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas através do software Google Earth® e, para os testes preliminares, foram selecionadas aquelas que contêm regiões de poços petrolíferos terrestres.

O objetivo deste trabalho consiste em viabilizar o desenvolvimento de sistemas de monitoramento remoto de áreas de exploração de petróleo, visando fornecer ferramentas de vigilância das mesmas. Com isso as empresas de exploração podem tomar rápidas ações mitigadoras e de controle destes vazamentos, minimizando os impactos ambientais. As ferramentas devem permitir a identificação e delimitação dos derrames além do acompanhamento remoto da evolução de áreas atingidas.

Metodologia

A segmentação das imagens em cores é um procedimento não trivial que envolve três fases específicas. Todo o processo é iniciado pela aquisição da imagem por um sistema ótico embarcado em satélite. Este é um processo que, em geral, não se tem total controle. A primeira fase da segmentação consiste na fusão das bandas de cores R, G, B em uma imagem em tons de cinza. Segue-se a aplicação de um algoritmo de segmentação automática e posterior interpretação da cena obtida. Um fluxograma com a metodologia proposta é apresentado na Figura 1.

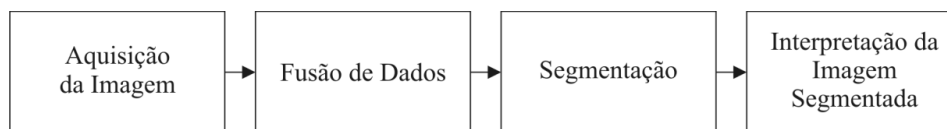


Figura 1. Fluxograma da metodologia aplicada.

a) Aquisição da Imagem

As imagens dos poços petrolíferos terrestres utilizados neste trabalho são adquiridas através do software Google Earth®, que disponibiliza imagens da superfície terrestre. Sistemas imageadores óticos são prejudicados por condições atmosféricas adversas (precipitações de chuva, nuvens, etc.) e outros obstáculos (como aviões) que podem se sobrepor às imagens dos poços, dificultando assim o processamento das mesmas.

A área de estudo que trata este artigo está localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Norte (RN), entre os municípios de Mossoró e Areia Branca, região conhecida como Canto do Amaro. Esta localidade foi escolhida por se tratar de uma região estuarina com intensa atividade petrolífera, onde um possível desastre ambiental acarretaria graves consequências à localidade.

b) Fusão de dados

O processamento das imagens coloridas dos poços alvos consiste na fusão de bandas do espaço de cores RGB da imagem original. Após essa combinação, é gerada uma imagem em nível de cinza, na qual são aplicados os algoritmos de segmentação utilizados nos testes. Para a combinação de bandas são usados dois métodos: combinação de bandas pela média e combinação de bandas pela soma assimétrica.

No primeiro caso, as bandas da imagem são combinadas através do cálculo da média dos níveis R, G, B. A imagem resultante é obtida em níveis de cinza e apresenta baixo contraste, o que requer um algoritmo de segmentação mais sofisticado. Uma melhoria de contraste pode ser obtida aplicando-se o segundo método de combinação de bandas, realizado através da soma assimétrica. Este método foi proposto por Bloch (1996) e adaptado neste trabalho para combinar as bandas R, G, B. Neste caso, tais bandas da imagem original resultam em uma imagem em tons de cinza com maior contraste. Definindo-se $R(x,y) = a$, $G(x,y) = b$ e $B(x,y) = c$ como os valores de cada pixel na respectiva banda, a soma assimétrica (σ_0) é dada pela Equação 1:

$$\sigma_0(a,b,c) = \frac{a.b.c}{1-a-b-c+a.b+a.c+b.c} \quad (1)$$

c) Segmentação

Segmentação de imagens é o processo no qual a imagem é dividida em suas partes constituintes, seguindo-se um ou mais critérios de similaridade (GONZALEZ, 1987). A limiarização é uma técnica de segmentação que consiste em estabelecer um ou mais níveis de cinza como valores de separação entre os tipos de objetos que compõem uma imagem. Um dos exemplos mais comuns é a aplicação de um único valor de limiar para binarização da imagem. Neste tipo de aplicação, é possível usar o histograma da imagem para a obtenção de um valor ótimo para separar o objeto do fundo da imagem.

Entretanto, a segmentação de imagens com contrastes variados não é um procedimento trivial. Torna-se necessário, então, dispor de métodos robustos de segmentação que levem em consideração informações adicionais extraídas dos histogramas. Neste trabalho, dois métodos de segmentação são avaliados: o do Otsu (OTSU, 1979) e o de Renyi (SAHOO, 1996).

A segmentação sugerida por Otsu possui como principal característica a maximização da variância entre as classes da imagem, o que maximiza a separação entre o objeto e o fundo da imagem. A operação de limiar é vista como o particionamento dos pixels de uma imagem em duas classes: C_O (objeto) e C_F (fundo), com $C_O = \{0, 1, \dots, T\}$ e $C_F = \{T+1, T+2, \dots, 255\}$, considerando T o valor do limiar escolhido da imagem com níveis de cinza variando no conjunto $G = \{0, 1, \dots, 255\}$.

Considerando p_i a probabilidade do nível de intensidade $(i - 1)$ a ser encontrado na imagem, g_i a quantidade de pixels com intensidade $(i - 1)$ e N a quantidade total de pixels da imagem, podem ser efetuadas as seguintes operações, expostas nas Equações 2 a 5, onde a partir do valor $k = \{1, 2, \dots, 256\}$ encontra-se os valores $\mu(k)$ e $\omega(k)$, que compõem o cálculo da variância $\sigma_B^2(k)$:

$$p_i = \frac{g_i}{N}, \quad (2)$$

$$\omega(k) = \sum_{i=1}^k p_i, \quad (3)$$

$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i p_i, \quad (4)$$

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[\mu(256)\omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]}. \quad (5)$$

O valor de limiar T é definido como o valor $(k - 1)$ que maximiza o valor de $\sigma_B^2(k)$, ou seja:

$$T = \max_{T \in G} [\sigma_B^2(k)]. \quad (6)$$

O segundo método de segmentação aplicado utiliza a entropia de Renyi. Esta técnica busca encontrar um limiar ótimo a partir da análise da densidade de probabilidade dos níveis de cinza da imagem (SAHOO, 2004). Para a descrição do método assume-se que $f(x,y)$ é uma função do nível de cinza do ponto (x,y) da imagem de tamanho $M \times N$, em que $0 < x < M$ e $0 < y < N$. Define-se $g(x, y)$ como a média 8-conectado dada pela Equação 7:

$$g(x, y) = \left[\frac{1}{9} \sum_{k=-1}^1 \sum_{m=-1}^1 f(x+k, y+m) \right]. \quad (7)$$

Com as variáveis i, j, t e s pertencentes ao espaço $G = \{0, 1, \dots, 255\}$ pode-se, a partir das funções $f(x,y)$ e $g(x,y)$, calcular o histograma bidimensional $p(i,j)$. Se o número de eventos em que $f(x,y) = i$ e $g(x,y) = j$ for chamado de $n(i, j)$, a equação do histograma (Equação 8) é da forma:

$$p(i, j) = \frac{n(i, j)}{M \cdot N}. \quad (8)$$

O espaço bidimensional $p(i, j)$ encontrado é dividido em quatro quadrantes, com o ponto (t, s) como origem desse espaço. O segundo e quarto quadrantes contêm informação do objeto e do fundo da imagem, respectivamente. Os demais quadrantes são desprezados e a probabilidade marginal do objeto é P_2 enquanto a do fundo é P_4 . A entropia do objeto (H_b^o) e a entropia do fundo (H_w^o) são calculadas pelas Equações 9 e 10, respectivamente.

$$H_b^\alpha(t, s) = \frac{1}{1-\alpha} \ln \sum_{i=0}^t \sum_{j=0}^s \left(\frac{p(i, j)}{P_2(t, s)} \right)^\alpha, \quad (9)$$

$$H_w^\alpha(t, s) = \frac{1}{1-\alpha} \ln \sum_{i=t+1}^{255} \sum_{j=s+1}^{255} \left(\frac{p(i, j)}{1-P_2(t, s)} \right)^\alpha. \quad (10)$$

O valor de α pode ser escolhido no intervalo $[0,1]$. Neste trabalho adotou-se o valor $\alpha = 0.7$, já que o mesmo é considerado ótimo no estudo apresentado por Renyi. Assim, o limiar ótimo é aquele valor cujo par (t, s) faz a soma das entropias definidas nas Equações 9 e 10 alcançarem seu valor máximo (Equação 11). O limiar ótimo será o valor $t^*(\alpha)$ encontrado:

$$(t^*(\alpha), s^*(\alpha)) = \arg \max_{(t,s) \in G \times G} [H_b^\alpha(t, s) + H_w^\alpha(t, s)]. \quad (11)$$

Resultados e Discussão

Os algoritmos automáticos de segmentação são aplicados em imagens de poços terrestres de perfuração. Estas imagens foram capturadas em intervalos de três meses, o que permite analisar a evolução da presença de manchas. Algumas imagens estão sujeitas a apresentar baixo contraste, devido a possíveis sombras de nuvens sobre os poços, no momento da captura pelo satélite imageador.

A Figura 2 exibe as imagens originais (A_1 , A_2 e A_3) obtidas através do Google Earth®. Nestas imagens são aplicadas a fusão de dados pela média dos níveis R, G, B, cujos resultados estão expostos na Figura 3(a-c). Os histogramas das imagens com fusão de dados pela média são apresentados na Figura 4(a-c). A fusão de dados pela soma assimétrica dos tons R, G, B das imagens da Figura 2 têm seus resultados na Figura 3(d-f), cujos histogramas estão na Figura 4(d-f).

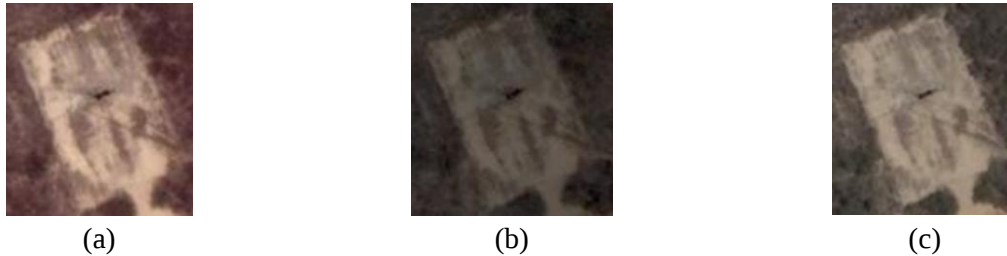


Figura 2. Imagens utilizadas nos experimentos. Imagens originais em cores do poço A, capturadas em intervalos de três meses: (a) A_1 - Setembro/2004; (b) A_2 - Dezembro/2004; (c) A_3 - Março/2005.

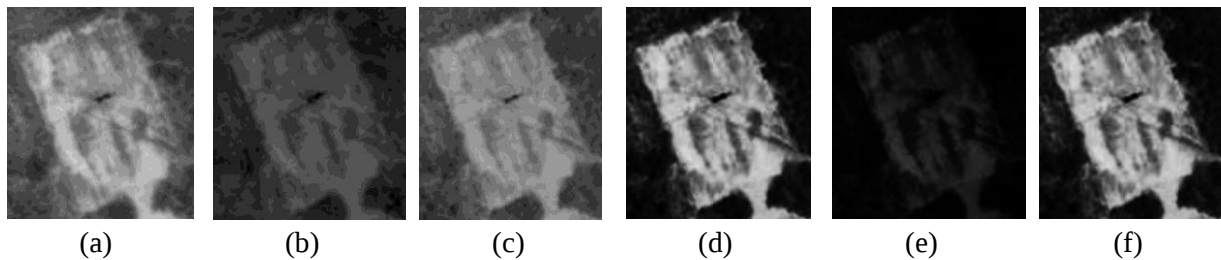


Figura 3. Imagens em níveis de cinza após a fusão das bandas R, G e B das imagens da Figura 2(a-c). (a-c) Fusão pela média aritmética; (d-f) fusão pela soma assimétrica.

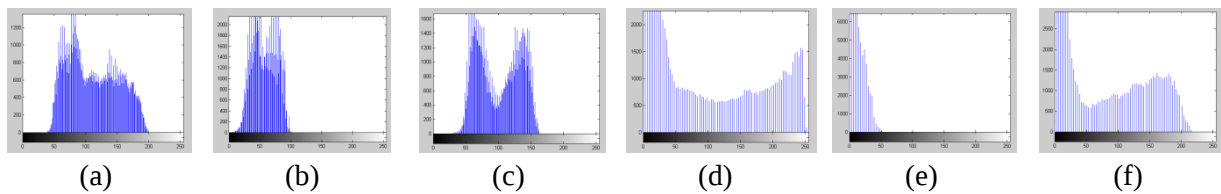


Figura 4. Histogramas dos níveis de cinza das imagens da Figura 3, respectivamente.

Os histogramas expostos na Figura 4(a-c) são bimodais e, deste modo, um limiar aceitável deve estar no vale do histograma. Entretanto, este vale pode ser expandido através da soma assimétrica das bandas R, G, B, mostrados na Figura 4(d-f). A escolha do limiar freqüentemente depende de uma interpretação visual prévia.

Para obter uma segmentação de referência, é feita a segmentação manual das imagens resultantes da fusão de bandas, de modo que o alvo (manchas escuras) seja encontrado na cena em estudo (região retangular do poço). Tal segmentação será usada como referência na avaliação dos métodos do Otsu e do Renyi. A segmentação manual tem como resultados as imagens da Figura 5.

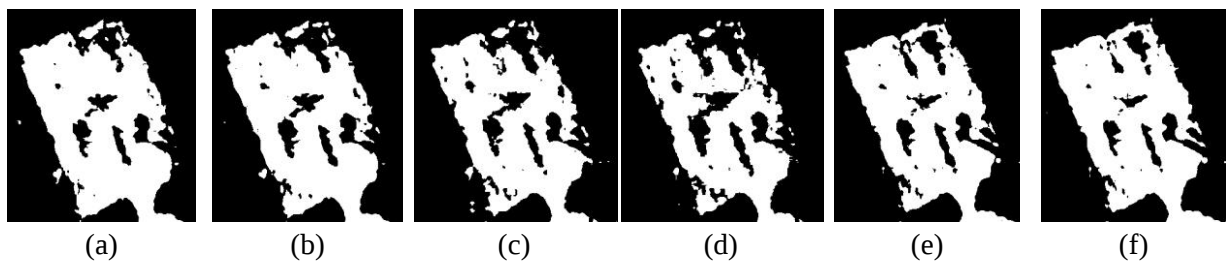


Figura 5. Segmentação manual das imagens da Figura 3.

(a-c) Resultado da segmentação das imagens geradas pela média aritmética.

(d-f) Resultado da segmentação das imagens geradas pela fusão pela soma assimétrica.

As imagens da Figura 5 são comparadas com os algoritmos automáticos de segmentação aplicados através de uma análise quantitativa, no caso, pelo erro quadrático médio.

Na Figura 6, estão as imagens da Figura 3 que foram segmentadas pelo método de Otsu. As imagens da Figura 3 segmentadas pelo método de Renyi estão na Figura 7.

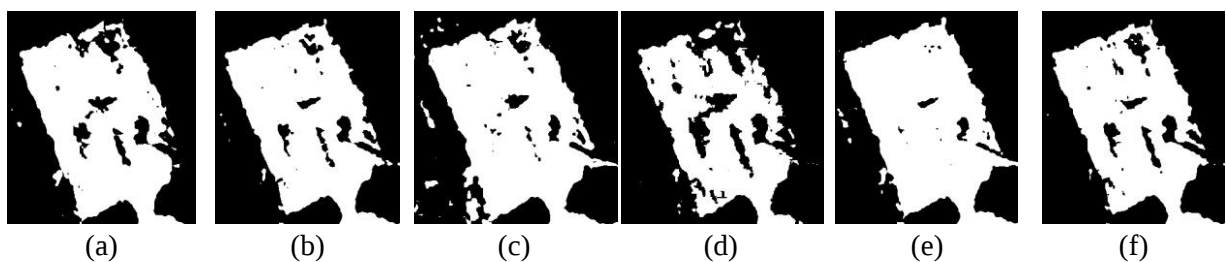


Figura 6. Segmentação automática das imagens da Figura 3 pelo método de Otsu.

(a-c) Resultado da segmentação das imagens geradas pela média aritmética.

(d-f) Resultado da segmentação das imagens geradas pela fusão pela soma assimétrica.

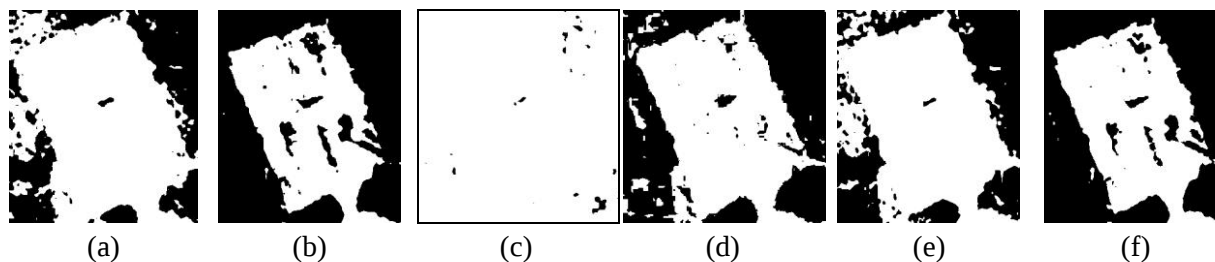


Figura 7. Segmentação automática das imagens da Figura 3 pelo método de Renyi.

(a-c) Resultado da segmentação das imagens geradas pela média aritmética.

(d-f) Resultado da segmentação das imagens geradas pela fusão pela soma assimétrica.

Para fins de avaliação quantitativa e comparação dos métodos aplicados, calcula-se o erro quadrático médio entre as imagens resultantes da segmentação manual e automática geradas pelos métodos de Otsu e Renyi. As medidas de erro encontradas e os limiares obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Limiares aplicados e erro quadrático médio entre segmentação manual e técnicas aplicadas

Imagem	Tipo de fusão de dados R, G, B	Limiar Obtido pela Segmentação			Erro Quadrático Médio entre Segmentação Manual-Método	
		Manual	Otsu	Renyi	Manual-Otsu	Manual-Renyi
A ₁	Média	117	115	82	0,1589	0,3721
	Soma Assimétrica	108	111	82	0,0692	0,1853
A ₂	Média	65	58	19	0,2038	0,6883
	Soma Assimétrica	11	12	4	0,1695	0,2973
A ₃	Média	116	100	76	0,2032	0,3669
	Soma Assimétrica	87	84	73	0,1404	0,1606

Em virtude da fusão de bandas pela média introduzir um efeito atenuador sobre dados aleatórios e considerando a intensidade de níveis de cinza como uma variável aleatória, dada a presença de ruído na geração da imagem, tem-se que a média das bandas R, G, B diminuirá a variação dos níveis de cinza. O resultado visual da fusão pela média é a diminuição do contraste da imagem.

Ambos os métodos de segmentação são sensíveis a essa diminuição da variância dos níveis de cinza, o que prejudica a busca por um limiar ótimo. De fato, a diminuição da variância resulta em uma diminuição das probabilidades de ocorrência dos níveis de cinza. Analisando-se as Equações 9 e 10, percebe-se que o método de Renyi utiliza uma função logarítmica aplicada sobre as probabilidades e, portanto, é muito sensível a essas variações. A segmentação gerada pelo método de Otsu, entretanto, tem menor sensibilidade à mudança nas probabilidades dos níveis de cinza, resultado comprovado pelo erro quadrático médio significativamente menor.

A fusão pela soma assimétrica, por outro lado, amplifica dados relevantes presentes nas diversas bandas da imagem. Isto ocorre porque a imagem resultante da fusão apresenta um ganho de contraste, resultado da amplificação dos valores dos pixels de maior intensidade de nível de cinza e da atenuação dos demais.

Para o problema em questão, percebe-se uma diferença significativa entre a variância dos níveis de cinza de áreas escuras e a variância no restante da imagem dos poços. Assim, a maximização de variância do método de Otsu consegue apresentar uma solução mais próxima do limiar ótimo definido manualmente, como comprovam os valores da Tabela 1.

Conclusões

Neste trabalho foram utilizados métodos automáticos não supervisionados de segmentação para detectar manchas presentes em regiões de extração terrestre de petróleo. Nos experimentos, imagens coloridas foram transformadas em imagens em níveis de cinza através da fusão dos canais R, G e B pela média e pela soma assimétrica. Dois métodos automáticos de segmentação, Otsu e Renyi, foram aplicados para obter as imagens segmentadas. As imagens obtidas pelos métodos automáticos foram comparadas com imagens segmentadas manualmente utilizando o erro médio quadrático.

Observou-se que, ao utilizar a soma assimétrica, constatamos um expressivo aumento do contraste da imagem favorecendo a correta identificação das manchas ao utilizar os segmentadores. Ao aplicar a soma assimétrica, as técnicas de limiarização funcionam de maneira satisfatória mesmo em imagens com pouco contraste, de modo que as manchas são identificadas inclusive em condições atmosféricas desfavoráveis, como na presença da sombra de nuvens.

A segmentação pelo método de Otsu, em conjunto com a fusão pela soma assimétrica de bandas, apresenta características que tornam viável sua aplicação em sistemas de monitoramento ambiental de prevenção de vazamentos de óleo.

Dentre as perspectivas futuras deste trabalho estão o desenvolvimento de algoritmos de avaliação dos resultados obtidos pelos novos segmentadores, de modo a identificar corretamente manchas reais de óleo na região do poço, com a finalidade de implementar um software de monitoramento ambiental de áreas petrolíferas terrestres, além de utilizar imagens de outros tipos, como as CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite).

Agradecimentos

Os autores agradecem a ANP-PRH-31 pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

BLOCH, I.. Information combination operators for data fusion: a comparative review with classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. v. 26, n. 1, p. 52–67, jan. 1996.

GONZALEZ, R.C.; WINTZ, P. *Digital Image Processing*. 2ª ed., New York, EUA: Addison-Wesley, 1987.

OTSU, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, v. 9, n. 1, p. 62-66, jan. 1979.

PETTA, R. A. et al. SIG Marisco - Um sistema ambiental para avaliação das vulnerabilidades em áreas de exploração de petróleo no semi-árido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 4., 2007, Campinas. *Anais do 4º PDPetro*.

SAHOO, P. K.; ARORA, G. A Thresholding Method based on two-dimensional Renyi. *Pattern Recognition*, v. 37, n. 6, p.1149-1161, jun. 2004.

SOUZA, C. F. de et al. Sistema de informações geográficas para o monitoramento de derrames de óleo no litoral norte do estado do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador. *Anais do 3º PDPetro*.