

Mapeamento de feições de base em águas costeiras rasas baseado em operadores direcionais

Ana Regina Lima Uchôa de Moura¹
Ana Lúcia Bezerra Candeias²
Núbia Chaves Guerra²

¹ Universidade de Pernambuco - UPE/POLI
R. Benfica, 455 - 50720-001 - Recife - PE, Brasil
aruchoa@gmail.com

² Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - 50640-901 - Recife - PE, Brasil
analucia@ufpe.br
nubiachavesguerra2@gmail.com

Abstract. The identification and mapping of the different coastal features can contribute to an understanding of sediment transport and deposition processes associated to local hydrodynamics. The techniques that exist for the detection of edges in image, act in the domain of the spatial frequency and they are sensitive to the abrupt variation of the intensity (image gradient). These changes of continuous functions that identify edges are usually described using derivatives. The hypothesis of applying derivative operators to monochromatic data of the visible spectrum, which covers the bands of blue (450-520 nm) and green (520-600 nm), can generate information about the characteristics of the submarine features, different from those collected by the active systems And by the analysis of multispectral data by passive sensors. This study tests and evaluates the use of prewitt, laplacian and directional Prewitt (Compass-gradient) directional operators to determine shallow water baseline features from SPOT5 / HRG and IKONOS satellite imagery. The results obtained from the Compass-gradient operator of Prewitt provided images with sedimentary features such as sand waves, swash-bar and formations, such as, marginal dam, transverse banks and flow channels, resulting from hydrodynamics, as well as algal reefs. A survey of the bathymetric dimensions was carried out in January 2007 with the objective of elaborating the digital elevation model (MDE), to support the interpretations of the background features generated by directional operators. This information is important subsidies for the navigation, planning of works of coast defense and modeling of coastal hydrodynamics.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, edge detection, directional operator Prewitt, Itamaracá, sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de bordas, operador direcional Prewitt, Itamaracá.

1 Introdução

Imagem de satélite de águas costeiras rasas pode fornecer informações qualitativas e quantitativas sobre as feições de base submersa, que são importantes para o acompanhamento e a compreensão da hidrodinâmica e dos processos de erosão e deposição de sedimentos. O conhecimento da batimetria é essencial para a navegação, planejamento de obras costeiras e portuárias, modelagem da hidrodinâmica, dentre outros. Contudo, sua estimativa por sistemas ópticos passivos está relacionada à qualidade do sinal que o sensor recebe das regiões submersas, e que varia em função do comprimento de onda, da profundidade, da claridade da água, dos componentes da coluna d'água, da reflectância da base. A região do espectro eletromagnético, entre 400nm e 500nm, onde ocorre maior penetração de luz na água e de maior interação com os componentes da coluna d'água, é profundamente afetada pela atmosfera (Novo, 2001), um dos motivos que torna a interpretação mais complexa, quando comparada com os demais alvos naturais.

Os sistemas ativos, que operam na faixa de microondas, também podem obter importantes informações sobre a configuração do assoalho do oceano em águas rasas, a partir da interpretação e análise do padrão de textura da superfície da água, tal como o fornecido pelo

sensor VIRR (radar imageador) do satélite SEASAT (*The Open University, Milton Keynes, UK, 1998*).

Uma imagem de satélite é uma função bidimensional, onde a intensidade da imagem varia em função de suas linhas e colunas. Como as técnicas que existem para a detecção de bordas em imagem, atuam no domínio da frequência espacial, estas, mostram-se sensíveis à variação abrupta da intensidade (gradiente da imagem), além de operarem diretamente sobre os *pixels* da imagem original, considerando uma vizinhança local. Essas mudanças de funções contínuas que identificam bordas são normalmente descritas usando derivadas.

A hipótese de aplicar operadores derivativos em dados monocromáticos do espectro visível, que abrange as faixas do azul (450 – 520 nm) e do verde (520-600 nm), pode gerar informações das características das feições submarinas, distintas daquelas coletadas pelos sistemas ativos e pela análise de dados multiespectrais por sensores passivos.

Este estudo teve como objetivo, testar e avaliar o uso de operadores direcionais para determinar as feições de base em águas rasas, a partir de imagens de satélite. Existe uma variedade de algoritmos para detecção de bordas, entretanto, neste estudo, foram utilizados os operadores derivativos de gradiente Prewitt, laplaciano e os direcionais Prewitt (*Compass-gradient*).

2 Detecção de Bordas por Derivadas

O operador de gradiente é o método de diferenciação mais comum em aplicações de processamento de imagem. Os operadores derivativos baseados na função gradiente, aproxima as derivadas de primeira ordem nas direções x e y , apresentando a vantagem de realçar as bordas nessas direções (Gonzalez & Woods, 2002). A magnitude do vetor gradiente ∇f , de uma função $f(x, y)$ é denotada por:

$$\nabla f = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

Onde: $\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)$ é a derivada parcial na direção x e $\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)$ é a derivada parcial na direção y .

As derivadas da função digital $f(x, y)$ são definidas por diferenças-finitas e a Equação 1 é a base de várias aproximações para diferenciação da imagem. O operador gradiente utiliza duas máscaras sensíveis à bordas, que atuam na direção vertical e na horizontal e gera imagens estimando a magnitude do gradiente e a orientação da borda da imagem original.

Os operadores baseados na função *laplaciano* aproximam as derivadas parciais de segunda ordem, nas direções dos eixos x e y da imagem. O laplaciano de uma função bidimensional $f(x, y)$ é isotrópico e denotado por:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2)$$

Assim como a função gradiente, a Equação 2 pode ser aproximada na forma digital, de diferentes maneiras. A exigência para a definição do laplaciano é que o coeficiente associado ao *pixel* central da máscara seja positivo e que os *pixels* externos sejam negativos.

Os operadores direcionais consistem em conjuntos de máscaras que representam aproximações discretas, em direções pré-determinadas. Estes operadores incluem as máscaras direcionais ou *Compass-Gradient*. Neste trabalho foram utilizadas as máscaras introduzidas por Prewitt (1970).

3 Metodologia

3.1 Área de Teste

O Método foi aplicado à área que compreende o segmento da zona costeira, ao sul da ilha de Itamaracá, destacada no canto inferior direito da Figura 1 e situa-se entre as coordenadas 7° 47' 50'' e 7° 51' 12'', de latitude Sul e 34° 51' 14'' e 34° 48' 30'', de longitude Oeste.

A escolha da área de teste foi motivada pelas transformações, a qual esse segmento de costa encontra-se submetido, nas escalas de tempo e espaço. Abrange as desembocaduras do braço sul do Canal de Santa Cruz (CSC) e do rio Timbó, cuja vazão intensifica a hidrodinâmica local e dificulta a caracterização do padrão de circulação costeira.

Os sedimentos atuais de praia na ilha de Itamaracá se caracterizam pelos depósitos quaternários costeiros, constituídos por areia fina a grossa, cascalhos, conchas de moluscos, ocorrendo ao longo da linha de costa (Martins, 1997). Ecossistema como o manguezal coexiste com áreas urbanas, pesca artesanal, intenso tráfego de embarcações motorizadas em função de atividades de lazer e turismo. A profundidade mínima na preamar, abaixo de 2m (medida durante o levantamento batimétrico) e, a rapidez com que ocorrem as mudanças das feições submersas nessa região, dificulta a navegação próximo à costa.

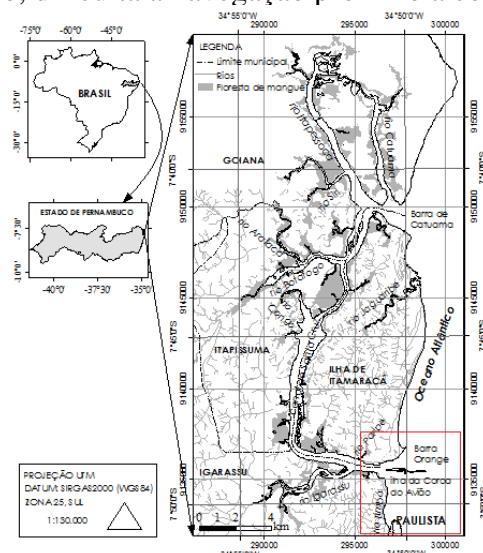


Figura 1 – Localização da área de teste, segmento de costa ao sul de Itamaracá, Nordeste do Brasil.

3.2 Dados de Sensoriamento Remoto

A análise baseou-se no uso de imagens dos satélites SPOT5/HRG, de 27/06/2003 e IKONOS, datada de 14/12/2005. Os operadores foram testados na banda verde do visível, que atua na faixa do espectro de 500-590 nm, do sensor HRG e na banda azul do visível (450-520 nm), do satélite IKONOS. As imagens IKONOS e SPOT5/HRG apresentam resolução espacial de 4m e 10m, respectivamente.

3.3 Detecção de Bordas Utilizando Operadores de Gradiente e Laplaciano

Considerando uma região 3×3 da imagem original (Figura 2a), onde as coordenadas (x, y) definem o *pixel* central, pode-se aproximar a Equação 1 por diferenças-finitas, resultando em:

$$\nabla f(x, y) \approx \left((f(x+1, y-1) + f(x+1, y) + f(x+1, y+1)) - (f(x-1, y-1) + f(x-1, y) + f(x-1, y+1)) \right) + \left((f(x-1, y-1) + f(x, y+1) + f(x+1, y+1)) - (f(x-1, y-1) + f(x, y-1) + f(x+1, y-1)) \right) \quad (3)$$

A diferença entre a terceira e a primeira linha da região 3×3 aproxima a derivada de primeira ordem na direção *x*, e a diferença entre a terceira e a primeira coluna aproxima a

derivada na direção y (Gonzalez & Woods, 2002). Os modelos das máscaras obtidas pela aproximação da diferenciação são mostrados nas Figuras 2(b) e 2(c).

A função laplaciano definida pela Equação 2, que utiliza derivadas parciais de segunda ordem, pode ser aproximada por diferenças finitas, resultando em:

$$\nabla^2 f(x, y) \approx 4f(x, y) - f(x-1, y) - f(x, y-1) - f(x, y+1) - f(x+1, y) \quad (4)$$

Essa aproximação, que considera a posição *pixel* (x, y) no centro da imagem (Figura 2a), leva ao modelo de máscara da Figura 2(d).

$f(x-1, y-1)$	$f(x-1, y)$	$f(x-1, y+1)$	-1	-1	-1	-1	0	1	0	-1	0			
$f(x, y-1)$	$f(x, y)$	$f(x, y+1)$	0	0	0	-1	0	1	-1	4	-1			
$f(x+1, y-1)$	$f(x+1, y)$	$f(x+1, y+1)$	1	1	1	-1	0	1	0	-1	-0			
			(a)			(b)			(c)			(d)		

Figura 2 – (a) Uma região 3×3 da imagem original; (b) modelo do operador de gradiente Prewitt, direção x ; (c) modelo do operador de gradiente Prewitt, direção y ; (d) modelo do operador laplaciano.

3.4 Operador Direcional Prewitt

Nesse estudo foi realizada a convolução direcional da banda azul do satélite SPOT5, utilizando as 8 (oito) máscaras do operador Prewitt, separadamente. Foi considerada uma vizinhança 3×3 , destacando as bordas ideais nas orientações discretas de 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° e 315° (Figura 3).

1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1			
1	-2	1	-1	-2	1	-1	-2	1	-1	-2	1	-1	-2	1	1	-2	-1	1	-2	-1	1	-2	-1			
-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1			
			0°			45°			90°			135°			180°			225°			270°			315°		

Figura 3 – Máscaras de detecção de bordas direcionais (Compass-gradient) Prewitt

O processamento fornece uma resposta máxima a partir da máscara, cuja orientação se dá na direção perpendicular à mudança de intensidade, detectada na imagem. Observa-se que a soma dos coeficientes das oito máscaras de Prewitt é zero, indicando uma resposta nula em regiões uniformes.

5 Resultados e Discussão

5.1 Respostas dos Operadores de Gradiente, Laplaciano e Direcional

A aplicação das máscaras de gradiente Prewitt nas direções x e y , Figura 4, apresentou efeitos realçando feições que aparecem como mudanças mais abruptas da intensidade na imagem e eliminam características que mudam mais lentamente. Como são máscaras não-isotrópicas, certas orientações de bordas são favorecidas sobre outras, o que resultou no surgimento de bordas perpendiculares, apenas a essas direções. Entretanto, o operador de gradiente Prewitt apresenta como desvantagem a susceptibilidade ao ruído, haja vista que é computada a diferença-finita entre cada *pixel* de suas vizinhanças imediatas, apenas nas direções horizontal e vertical, o que pode levar a uma resposta falsa.

O resultado da máscara laplaciano (Figura 2d) mostra como as informações, enfatizadas por filtros isotrópicos, podem destacar características de alta frequência da imagem. Por ser uma derivada de segunda ordem (*zero crossing*), o laplaciano é sensível a ruídos de maneira inaceitável, por produzir bordas duplas, sendo incapaz de detectar a direção da borda (Gonzalez e Woods, 2002).

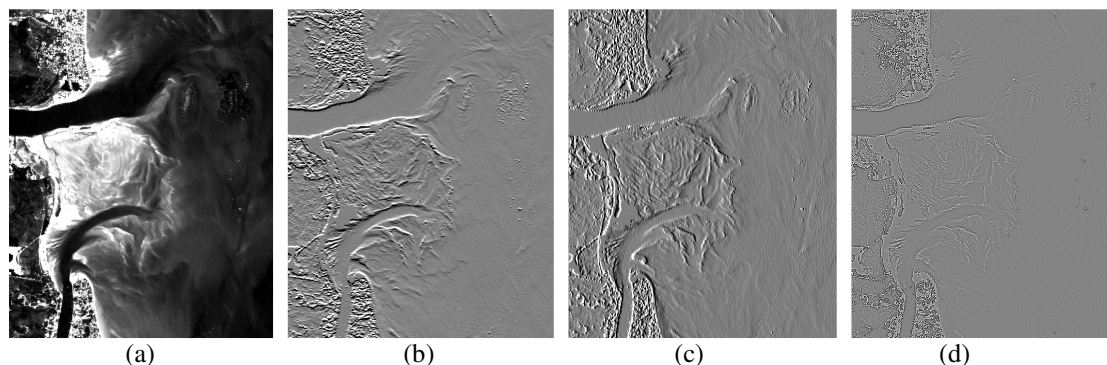


Figura 4 – (a) Imagem original do satélite SPOT5/HRG, banda verde do visível, de 27/07/2003. Resultados da aplicação das máscaras: (b) gradiente Prewitt na direção x (c) gradiente Prewitt na direção y ; (d) laplaciano.

A Figura 5 mostra a magnitude do gradiente direcional *Prewitt* a partir da aplicação das máscaras (Figura 3), cujas bordas detectadas representam as feições de base, perpendiculares a cada uma das 8 (oito) direções pré-estabelecidas. Os testes foram realizados com a banda verde do espectro do visível, do satélite SPOT5/HRG (27/06/2003).

Os testes também foram aplicados na banda azul do visível do satélite IKONOS (14/12/2005), com as máscaras 3×3 , destacando apenas as bordas nas orientações discretas de 0° , 45° , 90° . É importante ressaltar, que o nível das marés não era o mesmo no instante do rastreamento das imagens IKONOS e SPOT5. Essa análise foi feita baseando-se nas tábuas de maré, onde foi constatado que a imagem IKONOS foi tomada, no estágio de enchente da maré, com o nível do mar mais elevado que na imagem SPOT5. Dessa forma, diferentes regimes de maré e períodos sazonais de rastreamento de imagens de satélite, devem ser considerados nas análises, pois podem levar a identificação de possíveis diferenciações ou alterações ocorridas nas feições de fundo, quando comparadas.

Além da diferença de maré, a banda verde do HRG (500-590 nm) e a banda azul do IKONOS (450-520 nm), apresentam diferentes coeficientes de absorção e espalhamento¹ da água, que podem interferir na análise dos resultados. Estes coeficientes são conhecidos como 'propriedades ópticas inerentes', ou seja, que dependem apenas da composição do meio aquático (Novo, 2001).

Na região do azul do visível (400 a 500 nm), o coeficiente de atenuação da água apresenta-se menor, pois representa a região de maior penetração da luz na água (Novo, 2001). Entretanto, a presença de organismos vivos (fitoplâncton, zooplâncton e bacterioplâncton) afeta o comportamento espectral das águas e caracterizam-se por aumentar o coeficiente de absorção na região do azul do espectro. Isso pode levar a uma diminuição constante da reflectância da água na região do azul, principalmente, quando há um aumento da concentração de algas na água. Nesse caso, o máximo de reflectância da água passa gradativamente da região do azul para o verde (Novo, 2001). Possivelmente, uma maior reflectância da água na imagem HRG em relação à imagem IKONOS, possibilitou maiores detalhes das feições submersas, observadas nas imagens filtradas.

As partículas em suspensão e as substâncias orgânicas dissolvidas também caracterizam-se por aumentar o coeficiente de absorção da água na região do azul (Novo, 2001). Analisar previamente o impacto das diferenças de bandas espectrais em relação ao comportamento espectral da água é importante ao comparar os resultados das filtragens gerados por diferentes bandas e sensores.

¹ Coeficiente de espalhamento representa a integração da energia espalhada por volume unitário de água em todas as direções. Para o sensoriamento remoto o que mais interessa é o coeficiente de retroespalhamento, ou seja, a fração do coeficiente de espalhamento que representa a integração da energia espalhada na direção oposta à de incidência, pois essa fração vai ser responsável pela formação do fluxo de energia emergente, que será captado pelo sensor (Novo, 2001).

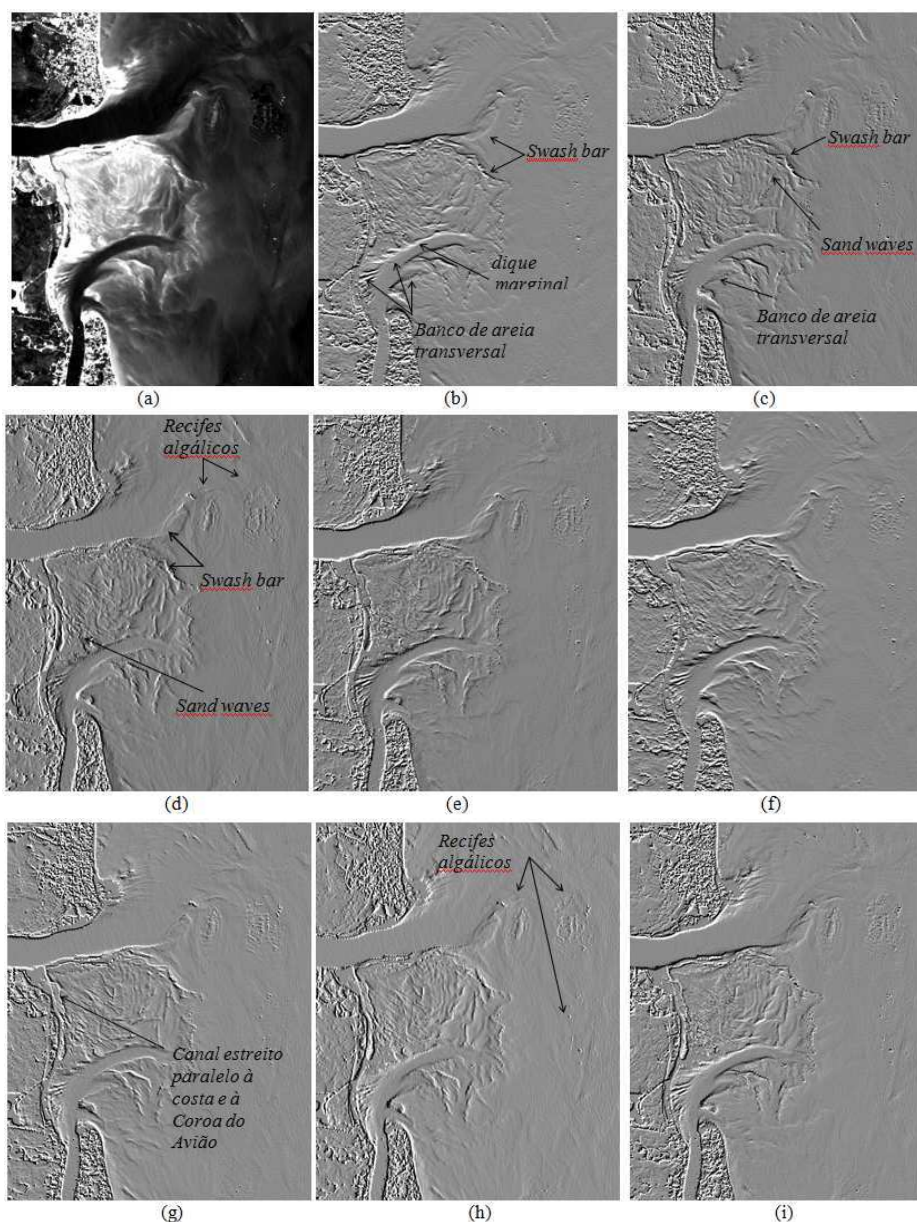


Figura 5 – (a) Imagem original do satélite SPOT5/HRG, banda verde do visível, de 27/06/2003. Resultados da aplicação das máscaras direcionais Prewitt: (b) 0°, (c) 45°, (d) 90°, (e) 135°; (f) 180°, (g) 225°; (h) 270°, (i) 315°.

5.2 Feições Depositionais obtidas por Operador Direcional

A imagem SPOT5/HRG original da Figura 5(a) foi “convoluída” para cada máscara de vizinhança 3x3, que representa uma direção em 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°. As bordas detectadas representam as feições de base, que podem ser feições sedimentares ou estruturas submersas, que se encontram perpendiculares à direção de cada máscara.

A imagem da Figura 5(b) forneceu as feições entrecortadas por dois canais bem definidos, que representam o CSC, ao norte e o rio Timbó, ao sul. A presença acentuada do dique marginal, na margem esquerda do rio Timbó, responde a direção do operador em questão (0° em relação ao eixo x , definido ao longo da vertical). O processo de migração de desembocadura fluvial é decorrente da presença de um trânsito litorâneo preferencial de sedimentos, associado à alteração das descargas fluviais. Os canais de fluxo do rio Timbó, resultante dessa migração, são identificados nas imagens filtradas ilustrada nas Figuras 5(b-i). O operador irá definir melhor, o canal que se encontra perpendicular a sua direção.

Estudos desenvolvidos por Amaral *et al.* (1990), sobre o padrão geomorfológico da área analisada, indicam que os sedimentos erodidos, a oeste da desembocadura do rio Timbó,

foram depositados ao norte, porém sem ultrapassar o molhe hidráulico formado pela desembocadura sul do CSC (Moura, 2010). Como resultado, gerou o acúmulo de sedimentos a barlar da embocadura do CSC (formação do banco de areia), onde possivelmente essa área se encontra submetida às condições hidrodinâmicas de considerável energia, que possibilitem o transporte de sedimentos de fundo mais grossos e a formação de feições deposicionais.

É possível visualizar um estreito canal de fluxo paralelo à costa (Figura 5g), no sentido norte, que, possivelmente, pode ser interpretado como um paleocanal, que representa o curso mais antigo do rio Timbó. Devido ao aumento do banco sedimentar ao sul da Coroa do Avião, o referido canal é o único meio para a passagem de pequenas embarcações na baixa-mar, que segue paralelo à costa (Figuras 5c,g,h,i), em direção ao norte e desvia em 90° para leste, margeando a Coroa do Avião (Figuras 5b, 5f).

Além disso, é identificada a grande variação de migração da foz do rio Timbó após o surgimento do efeito molhe do CSC. Na data de tomada da imagem SPOT5, a configuração do canal do rio Timbó se apresenta cerca de 90° para leste a partir de sua desembocadura. Além da formação do dique marginal, nota-se a presença bem definida de bancos transversais à costa (Figura 5b), em ambas as margens do referido rio, indicando o direcionamento de crescimento do canal de fluxo, no sentido leste.

Ao se alterar a direção do operador para 45° e 90° (Figuras 5c, 5d), a configuração do dique marginal do rio Timbó fica menos definida, mas as feições sedimentares tornaram-se mais evidentes. Foi possível observar os depósitos *sand waves* situados a barlar da Coroa do Avião, que ocorrem como corpos sedimentares lineares, paralelos e inclinados em relação à costa. Essas ondulações são produzidas como resultado da interação de correntes e ondas sobre a superfície sedimentar e sua forma e tamanho são variáveis (Reineck & Singh, 1980).

Nas imagens filtradas destacam-se claramente as cristas arenosas (*sand waves*) que se posicionam, em geral, paralelas umas as outras, reflexo do processo que rege a sua formação em águas marinhas rasas (Reineck & Singh, 1980). A Figura 5(c) apresenta descontinuidades nas cristas das *sand waves*, o que pode sugerir em migração do canal fluvial, causando o rompimento desses segmentos lineares, possivelmente associado aos regimes de maior intensidade da descarga fluvial.

Outra feição bem delimitada nesta máscara encontra-se na região posicionada mais a leste, na plataforma continental rasa. Trata-se da presença de bancos de recifes algálicos (Figura 5h), que foram identificados por Chaves (2000), ao mapear as estruturas recifais ao longo do litoral pernambucano.

Nas imagens das Figuras 5(b,c,d) ficaram evidentes a feição sedimentar *swash bar* (barra arenosa ou barra de desembocadura) a barlar da desembocadura do CSC. Nesse caso, atribui-se a sua formação, como resultante do processo de molhe hidráulico na desembocadura do CSC, que barra a deriva litorânea. As estruturas sedimentares *swash bar* e sua migração representam uma importante característica morfodinâmica, vista como um mecanismo de progradação, em curto prazo, próximo à desembocadura (Toldo e Dillenburg, 2001).

5.3 Modelo Batimétrico

Foi realizado o levantamento batimétrico do segmento de costa entre a Coroa do Avião e a foz do rio Timbó em janeiro de 2007, com o objetivo de elaborar o modelo digital de elevação (MDE), para fundamentar as interpretações das feições de fundo, geradas por operadores direcionais. Os 7.600 pontos amostrais foram levantados em profundidades variando entre 0,80 m e 5,0 m, utilizando-se uma ecossonda GPSMAP 298, durante o estágio de preamar, devido as melhores condições de navegabilidade.

Um MDE foi gerado utilizando o método de interpolação de *krigagem* ordinária. Os resultados da modelagem corroboraram não apenas os resultados extraídos das imagens filtradas, mas também forneceram dados das feições sedimentares, tais como, altura das ondulações (*sand waves*) e depósitos sedimentares e profundidade dos canais, extraídos de perfis batimétricos.

6 Conclusão

A técnica de processamento de imagens, que utiliza filtros direcionais baseados em derivadas parciais para detecção de bordas, possibilitou a identificação de feições deposicionais e estruturas submersas, em águas costeiras rasas. Entretanto, para a seleção de um determinado algoritmo, é necessário compreender a natureza da feição que será realçada.

As aplicações de máscaras direcionais de Prewitt, em direções pré-estabelecidas, forneceram feições sedimentares e de estruturas submersas que ocorrem perpendicularmente à direção especificada, que são importantes para o entendimento da hidrodinâmica. Dessa forma, é possível identificar a direção na qual a forçante, responsável por uma determinada formação sedimentar, está atuando. Ou seja, interpretar as feições submersas associadas à hidrodinâmica.

Entretanto, sabe-se que as feições, as quais não são perpendiculares a uma direção pré-estabelecida para a máscara, não se mostrarão bem definidas, podendo gerar imagens com ausência de relevos significativos relacionados à dinâmica de determinado fluxo hidráulico. Isso representaria um grave equívoco. Assim, é preciso realizar testes exaustivos para que fique evidenciada a morfologia da zona costeira estudada, sem dúvidas e interpretações dúbias.

Referências

- Amaral, R. F.; Lima, A. T.; Assis, H. M. B. de & Manso, V. A. V. Estudo do comportamento atual da linha de costa entre as desembocaduras do rio Timbó e do canal Santa Cruz. Boletim – Paulista-PE-II. In: **Congresso Brasileiro de Geologia** 36. Natal. V. (2), p. 676-689, 1989.
- Awcock, G. J. e Thomas, R. **Applied image processing**. New York: McGraw-Hill. ISBN: 0070014701, 1996.
- Chaves, N.S. **Mecanismo de cimentação em sedimentos marinhos recentes, exemplo beachrocks do litoral pernambucano**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Campus Júlio de Mesquita, Rio Claro, 216p., 2000.
- Gonzalez, R. C. e Woods, R. E. **Digital image processing**. 2nd ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall. ISBN: 0201180758, 2002.
- Maini, R. e Sohal, J. S. **Performance evaluation of Prewitt edge detector for noisy images**. GVIP Journal, Volume 6, Issue 3. www.icgst.com. 2006.
- Martins, M. H. A. **Caracterização morfológica e vulnerabilidade do litoral da Ilha de Itamaracá – PE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 104 p., 1997.
- Moura, A.R.L.U.de. **Hidrodinâmica e processos da zona costeira: integrando dados insitu e de sensoriamento remoto**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010. 147p.
- Novo, E. M. L. M. Comportamento espectral da água. In: MENESES, P. R. & NETTO, J. S. M. (Orgs.). Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais. Editora Universidade de Brasília – UnB. Embrapa Cerrados. 2001.
- Prewitt, J. M. S. **Object enhancement and extraction**. In: Picture Processing and sychopictorics, B. S. Lipkin and A. Rosenfeld, eds. New York: Academic Press, pp., 75-149, 1970.
- Reineck, H. E. & Singh, I. B. **Depositional sedimentary environments**. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1980.
- The Open University. **The Ocean Basins: Their Structure and Evolution**. Open University Course Team, 2nd edn. Milton Keynes, UK, p.192, 1998.
- Toldo, E. E., JR e Dillenburg, S. R. Swash bar Migration at the inlet of the Lagoa dos Patos, Brazil. Journal of Coastal Research Special Issue 34, (ICS 2000 New Zeland). ISSN 0749-0208, 2001.