

## **Modelagem de Ondas como Subsídio para a Gestão Ambiental das Praias da Costa do Descobrimento, sul do Estado da Bahia.**

Iracema Reimão Silva <sup>1</sup>  
Abílio Carlos da Silva Pinto Bittencourt <sup>2</sup>  
José Maria Landim Dominguez <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Católica do Salvador – Superintendência de Pesquisa e Pós-Graduação  
Av. Anita Garibaldi, 2981 – 41940-450 – Salvador – Ba, Brasil  
iracemars@ucsal.br / iracemars@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Laboratório de Estudos Costeiros/Instituto de Geociências/Universidade Federal da Bahia  
Rua Caetano Moura, 123 – Federação – 40210-340- Salvador – Ba, Brasil  
abílio@cpgg.ufba.br / landim@cpgg.ufba.br

**Abstract.** Beaches have been attracting a higher number of tourists because they are very pleasant places for recreational activities and human development. However, because they are unstable environments, highly sensitive to human induced impacts, its use not adequate can be hazardous for their aesthetic and touristic qualities. The beaches from the “Costa do Descobrimento”, studied in this work, are, today, the major attraction for tourists, in Brazil, because they offer an indigenous scenery rich in history and culture. Some beaches are still primitive, but others have been already heavily impacted due to human occupation. This diversity requires appropriated management plans that will develop activities compatible to their characteristics. Based on wave refraction diagrams, using the Mike-21 software, it was possible to map zones of higher energy waves along the whole studied area, identifying areas of tendencies of coastal erosion.

**Key words:** wave refraction, wave modeling, accumulation and erosion zones; coast management, Discovery Coast.

**Palavras chave:** refração de ondas, modelagem de ondas; zonas de acumulação e de erosão, manejo costeiro, Costa do Descobrimento.

### **1. Introdução**

As praias da Costa do Descobrimento, associadas com outros ecossistemas como restingas, terraços arenosos, recifes de corais e tabuleiros costeiros com falésias ativas, formam cenários de grande beleza natural que representa uma forte atração para a atividade turística. Dessa forma, o turismo e a ocupação urbana têm aí crescido bastante, o que pode ser constatado, por exemplo, na proliferação de diversificados equipamentos hoteleiros e de recreação e lazer e no aumento de condomínios costeiros e outras construções à beira-mar (Silva, 1996; Silva *et al.*, 2003).

Um dos problemas fundamentais do desenvolvimento ao longo da linha de costa é a construção de estruturas rígidas fixas em um ambiente de alta mobilidade (Terich, 1987; Smith & Jackson, 1990), o que está relacionado intrinsecamente ao grande valor que as praias têm para milhões de pessoas, que desejam construir tanto mais próximo da linha de costa quanto possível (Wicker, 1996; Hall, 2001).

O gerenciamento de praias requer o conhecimento dos processos costeiros atuantes na área, sua evolução e dinâmica, e deve levar em conta as limitações impostas pelas variações na configuração da linha de costa, bem como avaliar a sua susceptibilidade à erosão (Hooke *et al.*, 1996). Esta avaliação torna-se cada vez mais necessária, uma vez que o aumento da demanda para o uso costeiro aumenta também o valor das propriedades costeiras e as

modificações na posição da linha de costa geram um alto risco para estas construções (Camfield & Morang, 1996; Appendini & Fisher, 1998).

O estudo da dinâmica costeira envolve a avaliação da distribuição da energia das ondas, dos padrões de dispersão de sedimentos e do balanço de sedimentos ao longo da costa. A identificação dos principais padrões de dispersão de sedimentos possibilita, tentativamente, por exemplo, a previsão de possíveis mudanças na linha de costa, evitando ou minimizando, assim, as perdas físicas e econômicas. Tal estudo fornece uma compreensão da geologia e dos processos praias, o que é essencial para um adequado gerenciamento, que permita um desenvolvimento com um mínimo de alterações ou descompensações no balanço de sedimentos. Este conhecimento é muito importante também para a eventual instalação de obras de engenharia ao longo da costa, pois é fundamental identificar, por exemplo, se o local onde será construída a estrutura corresponde a uma região de convergência ou de divergência dos raios de onda, ou seja, respectivamente, de maior ou menor concentração de energia das ondas.

Desta forma, torna-se essencial avaliar a distribuição de energia das ondas ao longo da costa, já que estas são as principais responsáveis pelo transporte de sedimentos litorâneos e pelos processos erosivos e de acumulação (Goldsmith, 1976; Griggs & Trenhaile, 1994). Essa distribuição está, fundamentalmente, relacionada ao processo de refração, que constitui o principal mecanismo controlador das mudanças na altura das ondas ao longo da costa (Munk & Traylor, 1947).

Quando as ondas entram em águas plataformais, a uma profundidade de lâmina d'água correspondente à metade de seu comprimento de onda, elas passam a interagir com o fundo e começam a ser transformadas sob a influência das feições do fundo (Munk & Traylor, 1947). A refração das ondas ocorre devido às mudanças na velocidade de propagação das mesmas, causadas pela interação com o fundo. A porção da onda que viaja em águas mais profundas move-se mais rapidamente que a parte da onda que viaja em águas mais superficiais, o que resulta no curvamento das cristas das ondas, “buscando” o alinhamento aos contornos do fundo (Goldsmith, 1976).

A refração das ondas pode causar a concentração ou dispersão da sua energia ao longo da costa. Isto se dá através da convergência ou divergência dos raios-de-onda, que são linhas perpendiculares às cristas e que viajam no sentido do avanço da onda (Komar, 2000). Os raios-de-onda convergem sobre altos submarinos e divergem sobre vales submarinos. Quando as ortogonais convergem, as cristas são “comprimidas”, e a energia por unidade de comprimento de crista é aumentada. Inversamente, se as ortogonais divergem, as cristas são “estiradas”, e a energia por unidade de comprimento de crista é relativamente menor (Munk & Traylor, 1947).

A construção de diagramas de refração permite a visualização das variações no nível de energia das ondas e de seu poder de ataque ao longo de uma linha de costa. As ondas apresentam um maior poder erosivo nos locais de convergência dos raios de onda e uma menor capacidade erosional nos locais de divergência, onde ocorre, respectivamente, sobrelevação e diminuição na altura das mesmas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição de energia das principais frentes de onda que chegam ao litoral da Costa do Descobrimento, a partir de uma modelagem computacional, mapeando o seu poder erosivo e, desta forma, gerando dados que podem ser empregados na gestão desta faixa costeira.

## **2. Metodologia**

Para a construção dos diagramas de refração referentes às frentes de onda mais significativas que ocorrem ao longo da costa sul do Estado da Bahia (N90°, N45°, N135° e N157,5° com,

respectivamente, período de 5,0seg e altura de 1,0m para as duas primeiras, e período de 6,5seg e altura de 1,5m para as duas últimas), foram utilizados os dados batimétricos obtidos através de cartas náuticas da Marinha na escala aproximada de 1:300.000, consideradas válidas para a escala regional desta modelagem.

A partir destes dados, os diagramas de refração para a Costa do Descobrimento foram construídos através do Módulo de Ondas do *software* Mike 21 (desenvolvido pela DHI Water & Environment) e tratados em Sistema de Informações Geográficas através do *software* ArcView (desenvolvido pela ESRI). A utilização do SIG permitiu também a integração dos dados obtidos na modelagem com os dados de campo coletados ao longo das praias e georreferenciados através da utilização de um receptor GPS.

### 3. Resultados e Discussões

A **Figura 1** mostra as indicações de altura e direção das ondas vindas de E, NE, SE e SSE ao longo da curva batimétrica de 5m. Este limite foi estabelecido uma vez que não há dados batimétricos desta região para profundidades inferiores a 5m.

As ondas vindas de leste são as que apresentam um menor grau de refração. A figura mostra ainda fracas zonas de divergência nos raios-de-onda em Santo André, Porto Seguro e ao norte de Corumbau, bem como também fracas zonas de convergência em torno do Recife de Fora e dos Recifes Itacolomis. Ocorrem regiões de “sombra de onda” no trecho costeiro atrás dos Recifes de Araripe de Fora e de Coroa Alta.

As ondas vindas de nordeste refratam um pouco mais que as de leste. Isso ocorre porque, devido à direção com que estas ondas chegam de águas profundas (N045°), elas acabam por se refratar mais na “tentativa” de tornarem-se paralelas à linha de costa. Estas ondas apresentam fracas zonas de divergência em Santo André e ao norte de Corumbau, e zonas de convergência nos Recifes de Fora e Itacolomis. Ocorrem zonas de “sombra” para estas ondas em Santo Antônio, entre Porto Seguro e Ponta Grande e ao sul da Ponta do Corumbau.

A **Figura 1** mostra, para ondas vindas de sudeste e sul-sudeste, zonas fracas de divergência em Santa Cruz Cabrália e Porto Seguro, e convergência em torno dos Recifes de Fora e na parte sul dos Recifes dos Itacolumis. Ocorrem zonas de “sombra” para estas ondas em Santo Antônio e na porção norte da Ponta do Corumbau.

A altura média predominante das ondas de leste, na curva batimétrica de 5m é de 80cm. Ocorrem diminuições na energia destas ondas, apresentando alturas entre 50 e 70cm, em Santa Cruz Cabrália, norte de Porto Seguro, entre Caraíva e Cumuruxatiba e em Prado. As maiores alturas médias, por segmento, para ondas de leste são encontradas na porção norte e central da planície entre Belmonte e Mogiquiçaba. Contudo, localmente ocorrem pequenas zonas de alta energia, onde estas ondas apresentam alturas de até 1,20m, como nos Recifes de Fora e Itacolomis. As ondas de leste ocorrem praticamente durante todo o ano nesta faixa costeira, com um percentual anual de 35%; desta forma, a avaliação da sua distribuição de energia ao longo da costa é de grande importância para a compreensão dos processos costeiros e do uso das praias nesta região.

As ondas de nordeste chegam com menor energia que as de leste ao longo da Costa do Descobrimento, com alturas médias variando em geral de 60 a 80cm. Isso torna as praias ainda mais atrativas para o banho durante a primavera e o verão, quando estas ondas ocorrem com maior frequência e quando é maior a demanda por estas praias. Em alguns locais a sua energia diminui ainda mais devido à influência dos recifes de corais, como entre Santo Antônio e Santa Cruz Cabrália, ao norte de Porto Seguro e ao sul da Ponta do Corumbau, com alturas inferiores a 40cm. Ocorrem sobrelevações locais na energia destas ondas entre Belmonte e Mogiquiçaba, em Caraíva, no lado norte da Ponta do Corumbau, ao norte de

Prado e em torno dos Recifes de Fora e Itacolomis, onde podem ocorrer ondas com alturas de até 1,20m.

As ondas de sudeste são mais frequentes nos meses de outono e inverno e são as que chegam à costa com maior energia. Apresentam, em geral, alturas entre 1,0 e 1,5m. As maiores alturas normalmente variam entre 1,40 e 1,50m e ocorrem entre Belmonte e Mogiquiçaba, ao norte de Porto Seguro e ao sul da Ponta do Corumbau. A energia destas ondas diminui entre Santo Antônio e Coroa Vermelha, entre Caraíva e a Ponta do Corumbau e entre Cumuruxatiba e Prado; em geral, nestes locais, as alturas variam de 60 a 90cm, chegando praticamente sem ondas na porção norte da Ponta do Corumbau.

As ondas de SSE são as menos frequentes nesta faixa costeira (13%) e sua ocorrência está associada à chegada eventual de frentes-frias, mais comuns nos meses de outono-inverno. Apesar de apresentarem, como as ondas de sudeste, alturas em alto-mar em torno de 1,5m, estas ondas chegam na maior parte desta faixa costeira com alturas inferiores a 90cm. Isso se deve principalmente, à semelhança do já constatado por Bittencourt et al. (2000) e Silva et al. (2001), à grande dispersão e atenuação sofrida por estas ondas ao passarem pelos recifes de corais da região de Abrolhos, ao sul da Costa do Descobrimento, cujas presenças foram consideradas para a geração dos diagramas de refração no presente trabalho. As maiores alturas variam de 1,0 a 1,20 m e são observadas entre Belmonte e Mogiquiçaba, ao norte de Porto Seguro e ao sul da Ponta do Corumbau. Estas ondas chegam com alturas inferiores a 60cm entre Santa Cruz Cabrália e Ponta Grande, entre Itaquena e a Ponta do Corumbau e de Cumuruxatiba a Prado.

Uma análise integrada para estas quatro principais frentes de onda que alcançam o litoral da Costa do Descobrimento mostra que a porção central entre Belmonte e Mogiquiçaba é o trecho de maior energia para todas as frentes-de-onda estudadas e que as praias da baía de Santa Cruz Cabrália apresentam baixa energia para estas quatro frentes de onda.

Alguns trechos deste litoral mostram condições opostas de direções de onda entre situações de primavera-verão, com predominância de ondas de nordeste, e condições de outono-inverno, com predominância de ondas de sudeste e sul-sudeste. Isso ocorre, por exemplo, entre Ponta Grande e Arraial D'Ajuda e entre a Ponta do Corumbau e Cumuruxatiba, onde ocorre baixa energia das ondas de nordeste e alta energia das ondas de sudeste e sul-sudeste; e entre Caraíva e a Ponta do Corumbau e em Prado, onde as ondas de sudeste e sul-sudeste apresentam baixa energia e as ondas de nordeste são relativamente mais intensas.

A modelagem numérica realizada nesta pesquisa apresenta algumas limitações, que devem aqui ser consideradas. Uma destas limitações é que os raios-de-onda dos diagramas de refração param nos recifes de coral, assumindo-se assim que em condições normais essa é a situação que acontece. Todavia, é bastante provável que, em situações eventuais de coincidência de preamares equinociais de sizígia com frentes-frias, as ondas, ultrapassando os recifes, consigam exercer uma significativa influência na dinâmica costeira na retaguarda dos mesmos. Uma outra limitação refere-se ao fato de que foram desconsiderados os processos de difração das ondas, por exemplo, aqueles provocados pelos recifes de corais existentes na área. Uma terceira limitação refere-se ao fato de as estimativas de altura e de ângulo de incidência das ondas se aterem à isóbata de 5m, em alguns locais, distantes quase 5km da linha de costa. Além disso, deve ser também considerado que foram adotadas, dentro de um amplo espectro, direções médias das frentes de onda, bem como dos períodos e alturas das mesmas em alto-mar.

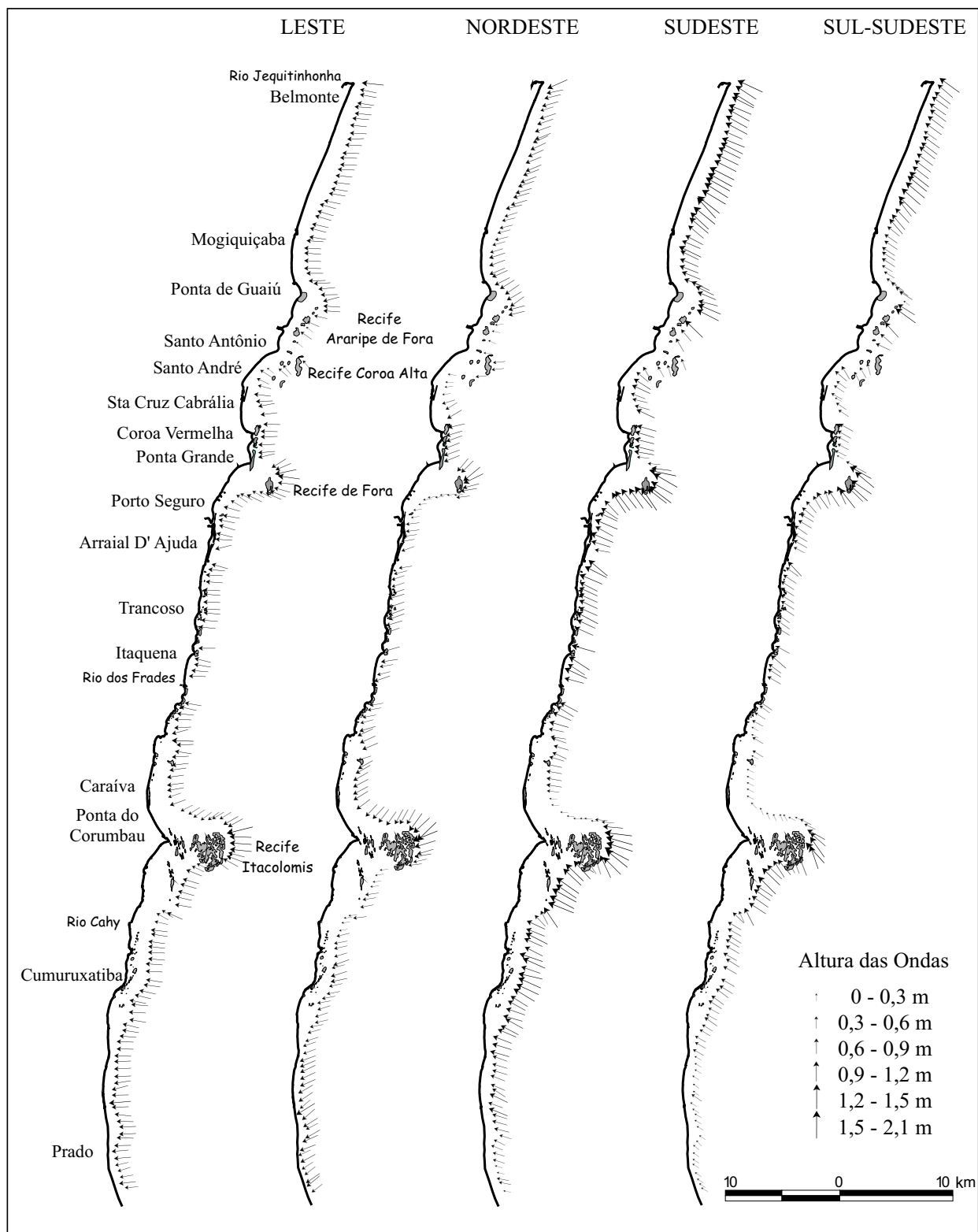


Figura 1 - Direção e altura das ondas vindas de leste, nordeste, sudeste e sul-sudeste ao longo da curva batimétrica de 5m.

## 4. Conclusões

A partir da construção dos diagramas de refração, através do Módulo de Ondas do *software* Mike-21, foi possível mapear zonas de alta energia, de focos de convergência de ondas ao longo da Costa do Descobrimento. A identificação destas zonas é de grande importância na gestão costeira uma vez que estas representam locais de risco para construções próximas à praia. Esta modelagem indicou a existência de zonas de alta energia para ondas vindas de leste localizadas na porção norte e central da planície entre Belmonte e Mogiquiçaba e nos Recifes de Fora e Itacolomis. As ondas vindas de nordeste, que predominam durante os meses de verão, apresentam focos de convergência, com aumento local de sua energia, na porção central da planície entre Belmonte e Mogiquiçaba, em Caraíva, no lado norte da Ponta do Corumbau, ao norte de Prado e em torno dos Recifes de Fora e Itacolomis. Já as ondas vindas de sudeste, mais comuns durante os meses de inverno, são as que apresentam maiores energias ao longo da costa, especialmente ao longo da planície entre Belmonte e Mogiquiçaba, ao norte de Porto Seguro e ao sul da Ponta do Corumbau. As ondas de sul-sudeste, associadas à chegada eventual de frentes-frias, apresentam suas maiores alturas entre Belmonte e Mogiquiçaba, ao norte de Porto Seguro, ao sul da Ponta do Corumbau. A análise integrada para estas quatro principais direções médias de ondas mostra que o trecho costeiro entre Belmonte e Mogiquiçaba, especialmente a sua porção central, apresenta um aumento da energia das ondas para as estas quatro direções modeladas.

## 5. Referências Bibliográficas Citadas

- APPENDINI, C.M. & FISCHER, D. W. Hazard Management Planning for Severe Storm Erosion. **Shore & Beach**, v. 66, n. 4, p. 5 – 8, 1998.
- BITTENCOURT A.C.S.P., DOMINGUEZ J.M.L, MARTIN L., SILVA I.R. Patterns of Sediment Dispersion Coastwise the State of Bahia – Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 72, n. 2, p. 271-287, 2000.
- CAMFIELD, F. E. & MORANG, A. Defining and Interpreting Shoreline Change. **Ocean & Coastal Management**, v. 32, n.3, p. 129-151, 1996.
- GOLDSMITH, V. Wave climate for models for the continental shelf: Critical links between shelf hydraulics and shoreline processes. In: DAVIS, R. A., Jr. (Eds.), **Beach and Nearshore Sedimentation** (SEPM Spec. Publ.), v. 24, p. 39-69, 1976.
- GRIGGS, G. B. & TRENHAILE, A. S., **Coastal cliffs and plataforms**. In: Coastal Evolution - Late Quaternary shoreline morphodynamics, R.W.G. Carter e C.D. Wooddroffe (eds.). Great Britain: Cambridge University Press. Cambridge, 1994. 450 p.
- HALL, C. M. Trends in ocean and coastal tourism: the end of the last frontier? **Ocean & Coastal Management**, v. 44, p. 601 – 618, 2001.
- HOOKE, J. M.; BRAY, M. J.; CARTER, D. J. Sediment transport analysis as a component of coastal management – a UK example. **Environmental Geology**, v. 27, p. 347-357, 1996.
- KOMAR, P. D. Coastal Erosion – Underlying Factors and Human Impacts. **Shore & Beach**, v. 68, n. 1, p. 3-16, 2000.

MUNK, W. H. & TRAYLOR, M. A. Refraction of ocean waves: a process linking underwater topography to beach erosion. **The Journal of Geology**, LV, v.1, p. 1-34, 1947.

SILVA, I. R. **Praias da Costa do Descobrimento: uma contribuição para a gestão ambiental**. 2004. 227 p. Tese (Doutorado em Geologia Costeira e Sedimentar). Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

SILVA I. R., BITTENCOURT A.C.S.P., DOMINGUEZ J.M.L, SILVA, S. B. M. Uma Contribuição à Gestão Ambiental da Costa do Descobrimento (Litoral Sul do Estado da Bahia): Avaliação da Qualidade Recreacional das Praias. **Geografia**, v. 28, n. 3, p. 397 – 414, 2003.

SILVA I. R., BITTENCOURT A.C.S.P., DOMINGUEZ J.M.L, MARTIN L. Principais Padrões de Dispersão de Sedimentos ao Longo da Costa do Descobrimento – Sul do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 3, p. 335-340, 2001.

SILVA, S. B. M. **Geografia, Turismo e Crescimento: o exemplo do Estado da Bahia**. In: Rodrigues, A.A.B. (org.) Turismo e Geografia: Reflexões Teóricas e Enfoques Regionais. São Paulo: Editora HUCITEC, 1996. 126p.

SMITH, A. W. S. & JACKSON, L. A. A. An Application of Coastal Management Tactics Gold Coast, Queensland, Australia. **Shore & Beach**, v. 58, n. 3, p. 3 – 8, 1990.

TERICH, T. A. 1987. **Living with the shore of Puget Sound and the Georgia Strait**. In: PILKEY, O. H.& NEAL, W. J. (eds) Living with the shore. North Carolina, U.S.A.: Duke University Press, 1987, 255p.

WICKER, C. F. Problems of the New Jersey Beaches. **Shore & Beach**, v. 34, n. 1, p. 3 - 8, 1996.