

Impactos de Barramentos na Morfodinâmica da Foz do Rio Malcozinhado, Cascavel-Ceará - Brasil.

Lidriana de Souza PINHEIRO – UECE – lidriana@uece.br, Jader Onofre de MORAIS – UECE – jader@uece.br; Gustavo Henrique Macedo ROCHA¹ - UECE – gustavoghm@gmail.com; Mariana Monteiro Navarro de OLIVEIRA – UECE – marizinha.navarro@hotmail.com

Resumo

O estuário do rio Malcozinhado é um sistema estuarino-lagunar localizado a 70 km de Fortaleza, Costa leste do Estado do Ceará. Com uma área de aproximadamente 5 km² está numa região de planície de acumulação de sedimentos areno-argilosos do Quaternário. Os processos morfodinâmicos na foz são controlados pela interação dos processos como migração de dunas, construção de barragens e transporte em deriva litorânea. A partir de estudos de sensoriamento remoto e caminhamentos com uso de GPS foi possível avaliar as transformações e quantificar as taxas de erosão e progradação da linha de costa estuarina e praial entre 2004 e 2008 e suas correlações com a redução da vazão afluyente devido a construção do Açude Público Malcozinhado em 2002. A taxa de erosão da margem oeste de Águas Belas foi na ordem de 7,5 m/ano. Na faixa de praia adjacente foi verificado recuo de 230 m. Na margem leste foi verificado assoreamento com contribuições dos sedimentos predominantemente marinhos. As taxas de progradação variaram de 33 e 60 m/ano, conferindo ao mesmo um ambiente de elevado risco e instabilidade para ampliação da rede urbana.

Palavras-chave: Erosão costeira, Morfodinâmica, Barramento.

Abstract

The estuary of the Malcozinhado River is a estuary-lagoon system located at 70 km from Fortaleza, Ceará's coastal eastern state. With an area of approximately 5 km² which is a plains of sandy-clay sediments accumulation of the Quaternary. The processes morfodinamics the mouth are controlled by the interaction of processes such as migration of dunes, construction of dams and transport in coastal drift. From studies of remote sensing and trackpoints using GPS was possible to evaluate the changes and quantify the rates of erosion and progradation of the coastline of estuary and beach between 2004 and 2008 and their correlation with the reduction of tributary flow due to construction of Malcozinhado's Public Dam in 2002. The rate of erosion of the margin west of Águas Belas Beach was in the order of 7.5 m / year. In the strip of beach adjacent was verified retreat of 230 m. In the east margin was established with contributions from silting predominantly marine sediments. The rates of progradation ranged from 33 and 60 m / year, giving the same environment of a high risk for instability and expansion of the urban net.

Keywords: Coastal Erosion, Morfodinamic, Dam.

1. INTRODUÇÃO

A costa cearense é marcada por um grande número de drenagens barradas pelos campos de dunas e/ou cordões arenosos que isolam de forma parcial ou total, a comunicação dos estuários com o mar. Em geral esses sistemas formam amplas planícies de inundação, que posteriormente evoluem para sistemas lagunares e/ou lacustres (PINHEIRO, 2003). Em se tratando de regiões no semi-árido, como é o caso cearense, o regime de rios é intermitente, limitando o efeito de molhe hidráulico na quadra chuvosa, que no Estado do Ceará é

concentrada em apenas três meses do ano. A construção de barramentos, para minimizar os impactos sócio-econômicos do estio prolongado modifica e controla os processos morfodinâmicos na foz e os ciclos biogeoquímicos, em função do tempo de detenção das águas. É importante considerar o produto das transformações sócio-espaciais no interior da bacia hidrográfica, motivadas por ciclos produtivos e/ou expansão das cidades no equilíbrio dinâmico das áreas de transição, os estuários e outros ambientes costeiros propriamente ditos.

O resultado disto é o surgimento de processos de erosão das margens estuarinas e das praias a sotamar, assoreamento de manguezais e da calha fluvial, eutrofização das águas, perda da biodiversidade, salinização dos aluviões, dentre outros. Estudos pertinentes a estas questões foram desenvolvidos por Pinheiro et al (2004).

Considerando o histórico de ocupação das margens fluviais e estuarinas por comunidades tradicionais, a posterior apropriação do espaço pelo capital e a instabilidade natural desses ambientes é urgente a realização de estudos em escala temporal em curto prazo, considerando a dinâmica dessas transformações e o surgimento de áreas de riscos ambientais. Neste contexto se insere o estuário do Rio Malcozinhado localizado na costa leste do Estado do Ceará, a 70 km de Fortaleza. No ano de 2002 foi construído um barramento a 11 km de distância do estuário, que representou uma redução de 65 % da vazão na quadra chuvosa. Por isso o objetivo deste trabalho é acompanhar mudanças nos processos de morfodinâmica da foz e ciclos erosivos em curto prazo (2004-2008) e sua relação com o funcionamento do Açude Público Malcozinhado.

1.1 Caracterização da Área de Estudo:

O sistema estuarino-lagunar do Rio Malcozinhado está localizado no nordeste do Brasil, a 75 km a sudeste de Fortaleza, CE. Esse sistema tropical consiste em um vale alongado na forma de U e que no encontro com as dunas móveis formou uma laguna com largura média de 0,38 km e 7 km de extensão (Figura 01). A única comunicação desse sistema com o Oceano Atlântico é feito através do canal de Águas Belas, onde deságua no distrito homônimo com uma extensão média de 2,3 km. O aporte de água doce no sistema é feito pelo Rio Malcozinhado e por 6 pequenos riachos, todos de regime intermitente sazonal entre eles Tijuca e Camurim.

A bacia hidrográfica está sobre as unidades geológicas representada por um empilhamento estratigráfico composto por embasamento cristalino, sedimentos da Formação

Barreiras, e sedimentos arenosos Quaternários. O abastecimento de água para o consumo da comunidade é ainda deficitário. O município conta com um total de 2.275 ligações reais, que abastece uma população de 8.092 pessoas, correspondendo apenas 16,49% do total. Por isto foi construído um reservatório com a capacidade de 3,8 milhões de m³, finalizado em setembro de 2002 localizado a 7 km do sistema estuarino para amenizar os problemas de falta d'água em Caponga e Pindoretama com vazão regularizada de 0,426 m³/s. As praias de Águas Belas e Barra Velha são adjacentes a desembocadura e bastante exploradas pelo turismo de veraneio, tendo em seus distritos litorâneos, uma forte malha urbana interligada, chegando a uma taxa de 83,06%. Águas Belas representa 15% do total, tendo apenas 5% de área com características naturais preservadas.

Partindo de Fortaleza, o acesso à Cascavel é feito seguindo a rodovia federal BR-116 e pela rodovia estadual CE-040, a chamada “Rota do Sol Poente”, totalizando um percurso de 74 km. Até Águas Belas o acesso é feito pela CE-253.

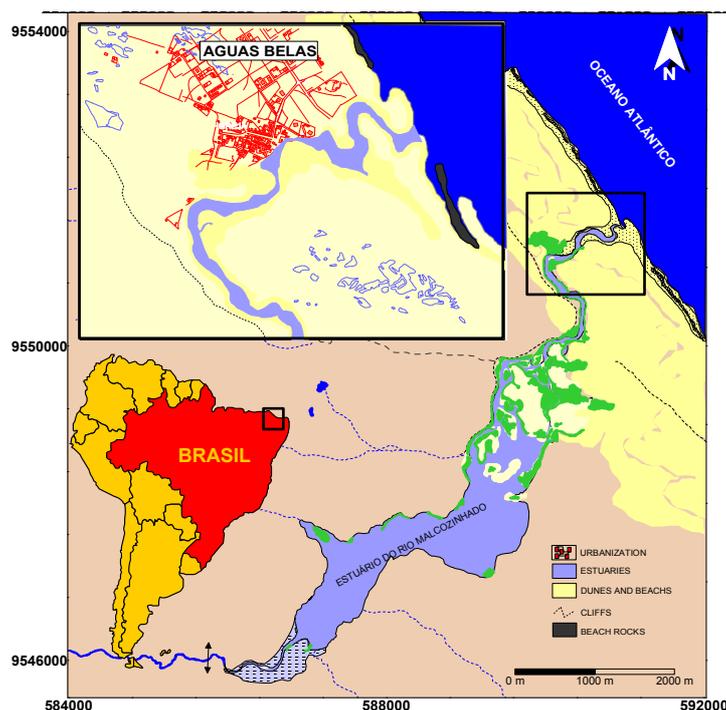


Figura 01: Localização da área.

A Bacia Hidrográfica tem sua nascente no Distrito Industrial de Horizonte, banhando os municípios de Horizonte, Pacajus e Cascavel, onde deságua no Oceano Atlântico na localidade de Águas Belas. O estuário tem cerca de 5 km² de área e com 11,2 km de extensão com áreas de manguezais de pequeno e de médio porte (PINHEIRO, 2003). A

sazonalidade climática, especulação imobiliária e os desmatamentos no médio e baixo cursos promoveram nos últimos no período de 1993 a 1994 uma migração lateral de 111 m do canal estuarino na direção do núcleo urbano de águas Belas, correspondendo uma taxa de 12,44 m/ano (PINHEIRO,2003).

2. METODOLOGIA:

A primeira etapa consistiu no trabalho de Sensoriamento remoto no qual foram utilizadas imagens TMLANDSAT 5 órbita 216.063-A (Bandas TM 2; TM 4 e TM 5) datadas de 2004 gentilmente cedidas pela FUNCEME, Imagens QUICKBIRD (2004) cedidas pela SEMACE. A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto possibilitou o conhecimento do arranjo espacial das principais feições morfológicas, delineamento da hidrografia, estrutura dos bosques de manguezal (distribuição espacial), interação dos processos costeiros e estuarinos, identificação da forma de uso e ocupação do solo.

O *overlay* foi elaborado em programas de CAD e importado para o programa SPRING/INPE onde foram adicionados os produtos da interpretação das imagens de satélite e fotografias aéreas. Após o reconhecimento da realidade terrestre foi delimitada a bacia hidráulica e hidrográfica com as principais contribuições dos afluentes para localizar pontos de derivação das águas e mistura salina.

A estimativa da descarga fluvial da bacia de drenagem para o sistema estuarino (Q_f) foi realizada considerando-se duas hipóteses: ausência e presença do barramento. Devido ao fato de que não há monitoramento e estações fluviométricas na bacia estudada foram utilizadas equações semi-empíricas para estimar a contribuição da bacia de drenagem para o sistema estuarino. Esse método foi aplicado satisfatoriamente por Medeiros & Kjerfve (1993), Kjerfve *et al.* (1996) e Pinheiro (2003) em estudos hidrológicos de sistemas estuarinos tropicais. O balanço de água é um dos principais processos que condicionam a hidrodinâmica de estuários. Na área estudada optou-se por utilizar o mesmo método aplicado por Kjerfve *et al.* (1996) na Lagoa Costeira de Araruama e por Pinheiro (2003) no estuário do rio Malcozinhado, para estimar o volume de água que entra e sai da bacia estuarina através da seguinte equação:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_f + Q_P + Q_E + Q_{as} + Q_r + Q_c + Q_o$$

Essa equação expressa a variação de volume do estuário (ΔV) de acordo com os fluxos de entrada e saída de água no sistema em um espaço de tempo Δt . Q_f representa a descarga de água doce que escoar da bacia de drenagem para o estuário; Q_P e Q_E a precipitação

pluviométrica e a evaporação; Q_{as} o fluxo de água da drenagem subterrânea; Q_r a vazão regularizada do reservatório; Q_c a contribuição de água do mar e Q_o o fluxo de água resultante de oscilações discretas da maré. Todos os fluxos foram expressos em $m^3 s^{-1}$ com notação positiva significando entrada de água e negativa perda.

Para a atualização da linha de costa no ano de 2008 foi realizado caminhamento com GPS III- Plus da Garmin demarcando a linha de preamar de sizígia. As correções do RN (referencial de Nível) do dia da coleta foi realizada em função da cota dermacada na Igreja de Nossa senhora do Ó e pela cota da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) utilizada por Pinheiro et al (2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

3.1. Modificações na dinâmica fluvial

A bacia hidrográfica do Rio Malcozinhado tem uma configuração longilínea, drenando uma área total de aproximadamente $380 km^2$ nos terrenos da Formação Barreiras. Apresenta característica de drenagem intermitente sazonal e exorréica dividida em nove sub-bacias com um baixo potencial de escoamento superficial. Os aquíferos são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região. Ainda no contexto hidrogeológico sedimentar, as dunas nessa área destacam-se como unidade geológica de alta potencialidade aquífera, produzindo vazões da ordem de 5 a $10 m^3/h$.

A descarga da bacia (Q_r), considerando o período anterior ao barramento e a média histórica das precipitações, foi de $76 m^3.s^{-1}$, com 99,10% do escoamento restrito ao primeiro semestre do ano, perfazendo uma média de $6 m^3.s^{-1}$. Os valores máximos registrados foram de $33 m^3.s^{-1}$ nos mês de abril. A contribuição total do Rio Malcozinhado e seus afluentes no sistema estuarino foram de aproximadamente $57,95 m^3.s^{-1}$, responsável por 78% de toda a água doce que entrava no sistema. A segunda maior contribuição vem do Riacho Tijuca ($4,6 m^3.s^{-1}$) e Sub-bacia do litoral ($6 m^3.s^{-1}$), sendo esta última, predominantemente, pelo escoamento difuso (*overland flow*), tendo em vista as características da topografia e cobertura vegetal.

No segundo semestre do ano, o valor do escoamento estimado foi de $0,29 m^3.s^{-1}$, com uma média de $0,04 m^3.s^{-1}$ em virtude dos altos valores de evapotranspiração responsável

por *déficit* anual de 668 mm, que implica na perda de um volume de $2,54 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A descarga fluvial estimada após o projeto foi de vazão regularizada na cota 24 m (90% de garantia) de $0,426 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mês}$. O que implica na redução de 78% da contribuição desse curso d'água no sistema estuarino, passando a contribuição anual da bacia de $76 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para aproximadamente $28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

No período de monitoramento (2004-2008) as precipitações foram aproximadamente de 30% acima da média histórica dos últimos 20 anos. Os totais precipitados na área de influência direta do estuário foram de 1.633 mm, o que representa uma média anual de 136 mm. A contribuição de água para o sistema neste período foi de aproximadamente $44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, cerca de 80% acima das vazões estimadas com as médias históricas (Figura 2). No período de estiagem a contribuição foi de $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Considerando a quadra invernal atípica, a existência do Açude Público Malcozinhado foi imprescindível na contenção das inundações das áreas agricultáveis a jusante. A descarga afluenta média ao estuário para este período, considerando a ausência do reservatório, seria de aproximadamente de $17,55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

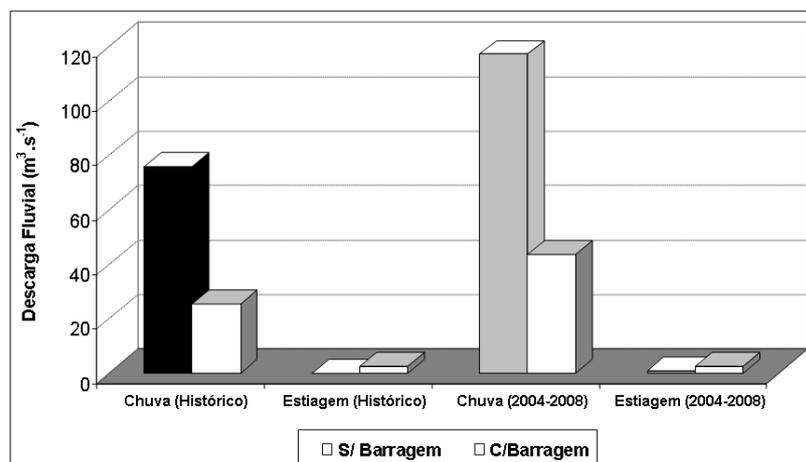


Figura 2: Descarga fluvial do rio Malcozinhado, considerando as hipóteses de ausência (SR) e presença (CR) de barramento.

O comportamento histórico demonstra nitidamente que as variações sazonais da descarga fluvial governam a hidrodinâmica do sistema estuarino. Considerando as médias históricas e o não funcionamento do reservatório observa-se a supremacia das massas salinas no interior do sistema no período de estiagem (0,22). No período chuvoso ocorre o equilíbrio entre as águas salinas (12,89) e continental (13). No período chuvoso, com o funcionamento

do reservatório, foi identificada uma sutil supremacia das massas de água doce (0,13) na composição do volume total do estuário. Sob essas condições, a interação entre as massas d'água tende a formar um suave gradiente de densidade que favorece os processos de mistura de natureza baroclínica. A presença do açude Malcozinhado suaviza os efeitos desses processos através da redução da componente de força relacionada à descarga fluvial.

Para os anos de 2004 e 2008 foram observadas algumas variações no regime hídrico do estuário do rio Malcozinhado relacionadas principalmente às condições de descarga fluvial atípicas. Assim como para a análise dos dados históricos, constatou-se uma forte variação sazonal entre as contribuições da descarga fluvial e da maré, sendo a primeira predominante durante o período chuvoso e a segunda durante a estiagem. Durante o período de estiagem, o déficit hídrico favoreceu o acúmulo da massa d'água marinha no interior do sistema com efeitos atenuados pela vazão regularizada do reservatório. Ou seja, apesar do fechamento da foz, não foi verificado processo de hipersalinização verificado no mesmo sistema por Pinheiro (2003) nos anos de 2001 e 2002.

O volume residual médio de água no estuário do rio Malcozinhado em um ciclo completo de maré é de aproximadamente $7,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. O tempo de residência no período de estiagem é de aproximadamente 35 dias e no período chuvoso é de 21 dias. Como pode ser observada, a capacidade de diluição do estuário do rio Malcozinhado é baixa e a descarga fluvial associado a largura da foz, tem um papel importante na diminuição do tempo de residência de substâncias no interior do sistema.

3.2. Evolução da Linha de Costa

O sistema estuarino em Águas Belas está subordinado, sobretudo, ao regime sazonal das precipitações onde se somam os processos de sedimentação e remobilização pela deriva litorânea, deflação eólica e oscilações das marés. Estes processos apresentam comportamento cíclico decorrente da sazonalidade bem marcada de regiões tropicais semi-áridas. A presença dos cordões litorâneos e barras arenosas submersas constata tal evolução, sendo estas feições retrabalhadas a cada subida de maré. O avanço do canal estuarino na direção de Águas Belas foi de 180 m no período de 43 anos com uma taxa aproximada de 4,18 m/ano (Pinheiro et al., 2004). Entre os anos de 1993 e 2002, houve um incremento do processo com um avanço de 111 m correspondendo uma taxa de 12,44 m/ano. No período de 2004 a 2008 o avanço do canal na direção de Águas Belas foi de 30 m, o que representa uma

taxa de 7,5 m/ano. Considerando a diminuição da vazão no período chuvoso, mesmo com chuvas acima da média, houve migração e assoreamento da margem leste, com contribuições predominantemente dos sedimentos de origem marinha e fluvial. Na margem estuarina foi verificado avanço de 133 m e na faixa de Praia adjacente de 240 m, o que corresponde as taxas de 33 e 60 m/ano, respectivamente. Isto promoveu o completo assoreamento de uma restinga localizado na margem leste.

Corroborando com dados obtidos por Dominguez et al (1993) na foz do rio São Francisco e por Pinheiro (2003) e Morais e Pinheiro (1999) na foz do rio Jaguaribe, a sedimentação de material arenoso na foz, obstrui o transporte em deriva, o que favoreceu o recuo da linha de costa a oeste da foz nos últimos 4 anos de aproximadamente 240 m, a uma taxa de 60 m/ ano. Considerando que as estruturas urbanas estão fixadas após o cordão de dunas frontais, este setor ainda não constitui área de risco geológico. No entanto se os processos erosivos associados à sedimentação na foz do rio Malcozinhado continuar no mesmo ritmo no prazo de dois anos, as estruturas hoteleiras e residenciais ali instaladas sofreram o impacto da abrasão marinha.

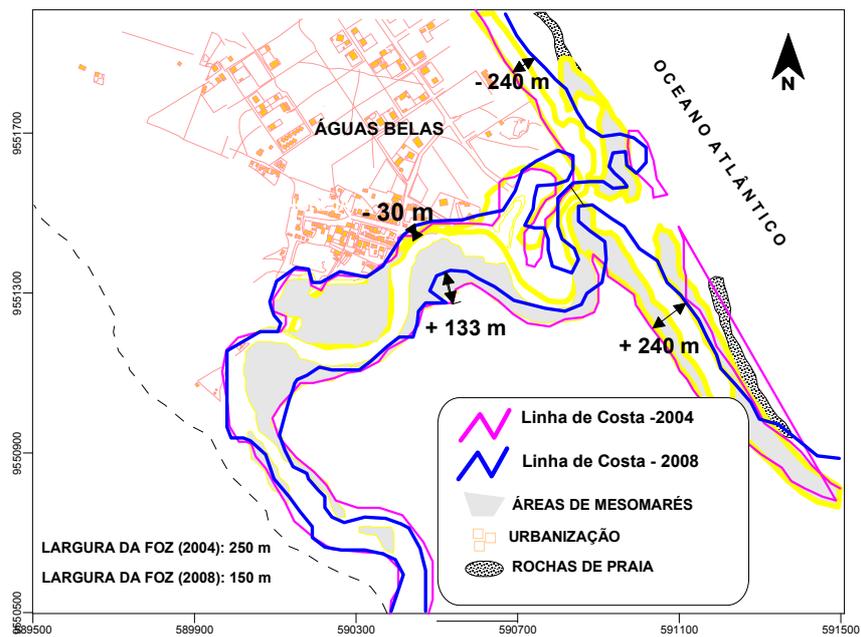


Figura 3: Evolução da Linha de Costa

No que se refere ao tempo de detenção das águas estuarinas, a comunicação com o oceano é fundamental. A largura da foz reduziu de 250 m a 150 m nos últimos anos, favorecendo o surgimento de uma zona de turbidez máxima no estuário inferior. O resultado

disto pode ser observado na perda da balneabilidade das águas estuarinas, considerando que na área a principal vocação deste ambiente é as atividades associadas ao lazer e turismo.

Como pode ser observado na região, a velocidade de sedimentação pelo transporte eólico e deriva litorânea se sobrepõe à força do rio de remobilizar os bancos arenosos e manter a configuração do canal estuarino. Dessa forma, à medida que o cordão arenoso migra em direção a Águas Belas, a foz do rio passa a ocupar áreas cada vez mais próximas da ocupação, gerando áreas de risco. Com o surgimento dessas áreas, o ambiente passa a ficar instável, e o corpo hídrico, que migra naturalmente, segue em direção à zona de ocupação, sendo necessária a construção de obras de contenção (Figura 4). As atividades de banho, esportes náuticos como kite surf, passeios de caiaque e wind surf hoje estão comprometidos pela dificuldade no acesso ao recurso hídrico.



Figura 4: Pequenas obras de contenção no Malcozinhado, abril 2008 – Fonte: ROCHA

4. CONCLUSÃO

O Rio Malcozinhado é um ambiente estuarino-lagunar, com a foz numa planície de acumulação de Campos de Dunas, com drenagem barrada por cordões arenosos do quaternário, que, por transporte eólico, promoveram a migração da margem leste do rio em cerca de 130 metros entre os anos de 2004 a 2008. Com a diminuição da largura da foz, criou-se uma zona de turbidez máxima, que prejudica a balneabilidade do local, bem como o turismo, como leva a um cenário tendencioso de evolução para laguna. Além disso, as praias

adjacentes têm sofrido erosão com perdas consideráveis de sedimentos, tornando-se num ambiente instável, com forte ocupação e construção de obras de proteção costeira.

5. BIBLIOGRAFIA

- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blucher, 2 ed. 1980.
- DOMINGUEZ, J.M.L. 1993. **As Coberturas do Cráton do São Francisco: Uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias**. In: J.M.L.Dominguez & A. Misi (eds.), O Cráton do São Francisco. SBG-SGM-CNPq. Edição Especial, 137-159.
<http://www.funceme.br/DEPAM/download/postos/36.txt> (acesso em 13/06/2008)
- KJERFVE, B., SCHETTINI, C.A., KNOPPER, B., LESSA, G., FERREIRA, H.O. **Hidrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Aruarama, Brazil**. Estuarine Coastal and Shelf Science, 1996.
- KJERVE, B. *Estuarine characteristics, circulation and physical processes*. In: Estuarine Ecology J.W.Day Jr. et al. Jonh Wiley and Sons Inc, New York, NY, 1990.
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. *Geological history of coastal lagoons*. In: KJERVE, B. Coastal Lagoon Processes. London: Elsevier Oceanography Series, 1994. p. 41-66.
- MIRANDA, L. B. de; CASTRO, B. M. & Kjerfve. (2002) **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- PINHEIRO, L. S. ; MEDEIROS, Carmen ; MORAIS, Jader Onofre de . **Erosive processes monitoring linked to the estuarine evolution systems nearby Aguas Belas, Cascavel, Ceará, Brazil**. Journal of Coastal Research, Itajaí, v. 39, n. 1, p. 1403-1406, 2006.
- PINHEIRO, L.S. *Riscos e Impactos Ambientais no Estuário do Rio Malcozinhado, Cascavel-CE*. 2003. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- WAN DER WAL, D.; PYE, K.; NEAL, A. 2002. *Long-term morphological change in the Ribble Estuary, northwest England*. Marine Geology, 182 (1), 249-266