

## Análise sobre as Metodologias de Evolução da Linha de Costa a partir de Imagens de Satélite

Samyrian F. Utida\*, Patrícia Dalsoglio Garcia  
Universidade Estadual de Campinas

### Resumo

As regiões costeiras são caracterizadas por áreas de grande dinamismo, sendo zonas altamente sensíveis a ações antrópicas e naturais, como o processo de erosão costeira. Usualmente, a maioria das praias de todo o mundo são afetadas por este processo, descrito sinteticamente como o resultado do fenômeno de transporte de sedimentos, quando a taxa de remoção dos sedimentos é superior à de deposição. A erosão costeira causa a minoração da extensão da faixa de areia das praias, resultando na redução da dissipação de energia das ondas, que podem atingir e até mesmo inundar áreas urbanas acerca das praias. Em larga escala, as linhas de costa variam pois movem-se na busca de alcançar um equilíbrio dinâmico com as forças atuantes sobre ela. Deste modo, faz-se importante o estudo da evolução das linhas de costa ao decorrer dos anos a fim de avaliar processos erosivos contínuos que podem afetar as estruturas urbanas, e servir como ferramenta para tomada de decisão acerca das possíveis intervenções necessárias para conter seu avanço. Usualmente para a análise de mobilidade praial são utilizados métodos a partir de imagens de satélite. O método de LEATHERMAN (2003) analisa a mobilidade praial por meio da comparação entre as linhas seca e úmida da praia. VENÂNCIO (2018), por sua vez, faz uso da linha d'água corrigindo o efeito de maré correspondente ao horário em que a imagem georreferenciada foi obtida. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o processo de evolução da linha de costa de praias em geral, comparando a metodologia tradicional de análise pelo método de LEATHERMAN (2003) e outras metodologias tais como a proposta por VENÂNCIO (2018), onde o efeito de maré é levado em consideração, a fim de verificar se parâmetros como declividade da praia, amplitude de maré, época do ano que a imagem foi obtida, entre outros, interferem na análise quantitativa de curto e longo período. Com isso, antes da interrupção da presente pesquisa, pretendia-se estabelecer parâmetros que possibilitassem a utilização deste tipo de análise de forma quantitativa em estudos de impacto ambiental.

**Palavras-chave:** ambientes costeiros; erosão costeira; evolução da linha de costa.

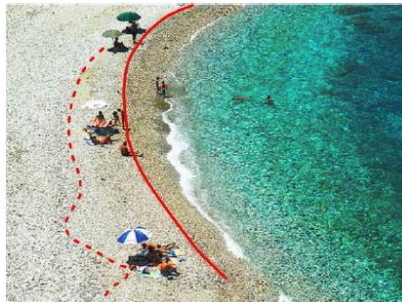
### Introdução

As zonas costeiras são áreas diretamente influenciadas por diversos processos antrópicos e naturais, permanecendo em regime incessante de variação. As linhas de costa, definidas por MUEHE e KLUMB-OLIVEIRA (2014) como a interseção entre o nível do mar e a terra firme, são zonas de alto dinamismo espacial, variando de posição devido às alterações do nível do mar, bem como o balanço sedimentar e movimentos tectônicos, segundo CAMFIELD & MORANG (1996, apud MARINO, 2013, p. 115). Ademais, as zonas costeiras estão em constante processo de desenvolvimento, além de apresentarem altas taxas de ocupação. Deste modo, devido a ocupação antrópica e expansão urbana desordenada, além da ação de agentes naturais como ondas, marés, correntes, ventos e aporte fluvial, os litorais ao redor do mundo mostram-se vulneráveis a erosão costeira (VENÂNCIO, 2018), processo que desequilibra o balanço sedimentar das praias e é considerado um grande problema para estas regiões. A erosão costeira pode ser definida por uma situação em que, no balanço sedimentar da praia, a taxa de remoção dos sedimentos é superior à de deposição.

Segundo SOUZA et al. (2005), com o balanço sedimentar negativo, a faixa de areia das praias diminui consideravelmente, reduzindo a dissipação de energia das ondas que podem atingir e até mesmo inundar áreas próximas, desequilibrando e até mesmo destruindo habitats naturais. Os prejuízos também se estendem as áreas urbanas próximas, com a previsão atual de aumento da ocorrência de ressacas, depredando obras e prejudicando as atividades e atrativos turísticos da região (apud VENÂNCIO, 2018, p. 35).

A metodologia de LEATHERMAN (2003) para o estudo das variações das linhas de costa baseia-se na interpretação de imagens de satélite avaliando apenas a variação das linhas seca-úmida, delimitadas pela mudança de cor entre a superfície seca e úmida da praia, resultante da posição do alcance das ondas na preamar previamente à obtenção da imagem georreferenciada (MUEHE e KLUMB-OLIVEIRA, 2014).

No entanto, MUEHE e KLUMB-OLIVEIRA (2014) apontam a imprecisão para a delimitação das linhas seca e úmida como um problema do método de LEATHERMAN (2003), como ilustrada na Figura (1), na qual é possível identificar uma segunda faixa menos úmida, de contraste menos acentuado. Sendo assim, dependendo da linha escolhida para a análise, a diferença é métrica, podendo causar erros significativos nos resultados.



**Figura (1):** Linha de contato entre a superfície úmida e seca. Fonte: Adaptado de MUEHE e KLUMB-OLIVEIRA (2014)

MUEHE e KLUMB-OLIVEIRA (2014) também apontam o fato que, a variação nas linhas de costa apresentada entre duas imagens tiradas em momentos distintos pode ser devida, em alguns casos, somente ao estado morfodinâmico praias no instante em que a imagem foi obtida pelo satélite, e não por conta de processos erosivos na região, além do método desconsiderar que as imagens georreferenciadas foram tiradas em condições de maré distintas.

Na metodologia apresentada por VENÂNCIO (2018), a partir das linhas d'água é feita uma translação para o marco zero de referência da Marinha do Brasil (Zero DHN), corrigindo a maré e considerando, ainda, o horário em que a foto foi tirada. Efetua-se a translação horizontal das linhas iniciais com base na declividade da praia analisada, obtida a partir de referências bibliográficas, para a correção da maré. Deste modo, as linhas d'água são transladadas para o zero DHN, para traçar uma estimativa da curva representativa da variação do nível d'água e, assim, obter o nível d'água correspondente ao horário em que a imagem foi capturada.

No método de VENÂNCIO (2018), as imagens utilizadas são obtidas pelo software Google Earth (©2015 Google Inc.) e, por isso, não apresentam o horário em que foram capturadas, sendo necessário portanto utilizar a sombra de pontos fixos para a determinação do horário da imagem analisada e, a partir dos registros de maré, obter o nível d'água para o horário correspondente. Apesar deste método levar em conta a variação de marés, é necessário possuir o registro de marés ou reconstituir o maregrama a partir das componentes harmônicas e de um modelo de previsão. No Brasil, no entanto, estas informações nem sempre estão disponíveis, dificultando a aplicação do método. Outro problema desta metodologia é de que as imagens de satélite precisam ter uma qualidade maior, de forma que o objeto a ser utilizado para obter a sombra esteja nítido. Além disso, a escolha do objeto também pode se tornar um problema pois, ele precisa ser afastado de outros pontos que podem interferir na observação da sombra.

Neste sentido, MENDES (2018) propôs uma adaptação do método de LEATHERMAN (2013), porém com a correção de marés, utilizando-se da ideia de que a linha seca/úmida corresponde à condição de preamar do dia da imagem. A informação da altura de preamar é bem mais simples de ser obtida e facilita a análise. Para a correção das linhas é necessário também conhecer a declividade da praia, de forma que, todas as linhas traçadas possam ser transladas para um mesmo referencial.

A partir destas considerações, MENDES (2018) realizou o estudo sobre a evolução da linha de costa na região de Massaguaçu em Caraguatatuba (SP), praia que vem sofrendo com o processo erosivo decorrente do avanço da linha de costa no decorrer dos anos, aplicando e comparando os métodos de LEATHERMAN (2003) adaptado e VENÂNCIO (2018) supracitados. No entanto, ele pontua que faltam análises mais detalhadas, com um maior número de praias, de forma que as conclusões acerca dos métodos possam ser apresentadas com maior precisão.

Deste modo, no presente projeto foi iniciada uma proposta para extensão do estudo apresentado por MENDES (2018), com a ampliação da análise das metodologias e sua aplicação em demais praias brasileiras selecionadas que apresentam características interessantes para um estudo mais aprofundado, a fim de estimar a magnitude das mudanças nas regiões costeiras, tendo como base as metodologias supracitadas, a utilização de imagens de satélite em alta resolução obtidas pelo software Google Earth® ou outras bases gratuitas, além do auxílio de softwares de georreferenciamento tais como AutoCAD® e/ou ArcGis®, programas de geração de marés a partir de componentes harmônicas e dados de variação de marés (componentes harmônicas) e declividade das praias analisadas, com a pretensão de efetuar uma análise acurada de possíveis recuos das faixas de areia devido a erosão costeira, além de avaliar riscos ambientais e a depredação da região, incluindo a área urbana, a longo prazo, de forma a complementar os resultados obtidos por MENDES (2018). No entanto, a pesquisa foi interrompida num estágio preliminar, deixando o tema proposto como perspectiva de continuidade e desdobramento de trabalho para demais pesquisadores da área.

## Resultados e Discussões

Neste estágio preliminar da pesquisa, os resultados obtidos dizem respeito à seleção das praias para o estudo. Foram pré-selecionadas praias com diferentes características de variação de marés, declividades e dinâmica costeira, com objetivo de verificar quais parâmetros são mais relevantes nas metodologias propostas de análise. Além disso, foram avaliadas localidades em que:

- Havia um conjunto de imagens aéreas de boa resolução, de forma que a análise pudesse ser realizada;
- Fossem praias próximas a terminais portuários, visto que nestes locais há dados tanto de registros maregráficos quanto das componentes harmônicas necessárias para reconstituir o registro de marés histórico;
- Estivessem preferencialmente em processo erosivo, mas sem intervenções rígidas, pois as análises das linhas de costa poderiam ficar comprometidas;
- Já apresentassem algum estudo de variação de linha de costa e dados de perfis praiais, de forma que dados de granulometria dos sedimentos e declividade da praia pudessem ser utilizados.

Considerados os parâmetros listados, selecionou-se para o projeto, praias nacionais cujas características são melhores descritas nos itens I a IV.

### I. Praia de São Marcos (MA)

Localizada na Região Costeira Norte do estado do Maranhão, pertencente a Ilha do Maranhão no município de São Luís, a Praia de São Marcos apresenta orla com aproximadamente 4,0 km de extensão, compreendendo desde o Farol de São Marcos até a embocadura do rio Calhau.

Segundo a obra “Panorama da Erosão Costeira no Brasil”, a praia de São Marcos encontra-se em desequilíbrio com as condições morfodinâmicas locais, o que resulta em um processo de intensa erosão costeira. Trata-se de uma área caracterizada por crescente densidade demográfica devido à expansão e melhoria da malha viária além de seu elevado potencial para urbanização e atividades turísticas, conforme apontado por SANTOS e XAVIER DA SILVA (1997 apud MASULLO, 2016, p. 576).

De acordo com MASULLO (2010), em meados da década de 70, a região era quase inabitada devido à dificuldade de acesso, tornando-se dinamizada somente a partir da década de 80 com a implantação da Avenida Litorânea, que contribuiu diretamente com o aumento da urbanização e modificação da paisagem local (apud MASULLO, 2016, p. 576).

Ademais, a construção da avenida provocou alterações na morfodinâmica costeira da praia de São Marcos, por meio da construção de taludes, terraplenagem, bueiros e outras obras próximas às áreas de dunas e encostas, causando dentre vários problemas, a interrupção da troca de sedimentos do sistema dunar com o ambiente praiial, minimizando a faixa de amortecimento do ataque de ondas devido aos efeitos erosivos na localidade. Deste modo, com a remoção das dunas e, ainda, o desmatamento da vegetação local devido a grandes construções, a praia de São Marcos apresenta áreas descontínuas com materiais heterogêneos, acarretando em processos erosivos ou deposicionais em diversos pontos (MASULLO, 2016).

## II. Praia de Cabeçudas (SC)

A praia de Cabeçudas está localizada no município de Itajaí, litoral centro-norte de Santa Catarina, Sul do Brasil e apresenta aproximadamente 700 metros de extensão e 20 metros de largura (BERRIBILLI, 2020).

Conforme apresentado pelo “Panorama da Erosão Costeira no Brasil”, o município de Itajaí é considerado como local de registro de foco erosivo no litoral de Santa Catarina, apresentando processo erosivo de origem natural intensificado pela influência antrópica. A praia de Cabeçudas encontra-se numa região na qual as orlas costeiras apresentam alto grau de urbanização na faixa de dunas e, por isso, há ocorrência de fortes evidências erosivas.

Ademais, dos registros da avaliação de danos na orla disponibilizados pelo Sistema Integrado de Informação da Defesa Civil entre os anos de 1940 a 2014, 55,6% dos 27 eventos erosivos que atingiram diretamente a orla e infraestrutura disposta sobre a mesma ocorreram no setor centro-norte do litoral de Santa Catarina, caracterizando a Praia de Cabeçudas como um dos principais focos erosivos da região.

## III. Praia da Macumba (RJ)

Localizada no bairro Recreio dos Bandeirantes, zona Oeste do Rio de Janeiro, a praia da Macumba é uma praia de orla extensa que, apesar de possuir muitas qualidades, vem sofrendo com processos erosivos expressivos que prejudicam desde os comerciantes locais, moradores até turistas da região.

O processo erosivo na região é responsável pela ocorrência de desmoronamentos, causados pela força das ondas devido a diminuição da faixa de areia que amortece as ondas incidentes. Os desmoronamentos já provocaram a destruição de obras próximas a orla como o calçadão, ciclovia, além do derrubamento de postes, gerando a necessidade de execução de obras de emergência e interdição (RODRIGUES, 2017).

Além da escassez sedimentar causada por processos erosivos, a expressiva diminuição dos sedimentos da praia da Macumba foi causada devido a retirada da areia local para uso em construção civil, intensificando o encurtamento da faixa de areia provocando a incidência direta das ondas no calçadão (RESENDE; GOULART, 2017).

A urbanização e ocupação desordenada na região da praia da Macumba acentuam o problema da erosão costeira, uma vez que combinadas ao grande dinamismo característico do ambiente costeiro, causam a incidência de maior desequilíbrio no balanço sedimentar, quando há ocupação da faixa de resposta dinâmica da praia às tempestades, esta área tende a ser invadida pelo mar.

## VI. Praia do Pecém (CE)

A praia do Pecém, localizada no Município de São Gonçalo do Amarante, litoral Oeste do Ceará, é considerada uma praia de grande importância no cenário nacional e internacional devido a instalação do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), inaugurado em 2002, acarretando em mudanças expressivas do ambiente costeiro da região (FILHO et al., 2008).

No entanto, segundo VIEIRA et al. (2007), um terminal portuário como o TPP resulta, com sua implantação, a ocorrência de uma área de amortecimento energético ondulatório, causando a acumulação de sedimentos no local. Com o aprisionamento da areia num ponto específico, um desequilíbrio sedimentar ao longo da costa é iniciado, com a incidência de assoreamento a barlar do molhe construído e erosões a sotamar (apud DE SOUZA MEDEIROS et al., 2014, p. 478).

As expressivas perdas sedimentares na região do Pecém também são relacionadas diretamente a eventos de tempestades, momento em que o trem de ondas entra na direção frontal da costa, provocando a retirada de sedimentos e acometendo um déficit sedimentar do perfil praiado (FILHO et al., 2008).

Com a implantação do TPP, MAGINI et al. (2012) aponta que a praia do Pecém sofreu engordamento na ordem de 60 m devido a diminuição das forças de fatores ambientais como ondas, correntes e marés, que são responsáveis por modelar a costa (apud DE SOUZA MEDEIROS et al., 2014, p. 478).

A partir do estudo de perfis praiados na localidade do TPP realizado por MAGINI et al. (2011), observou-se a crescente progradação da linha de costa da região, além da intensificação da erosão costeira, eventos que promovem impactos diretos no setor socioeconômico local, ao tratar-se de um local predominantemente turístico.

## Conclusões

Ao realizar a revisão da literatura acerca do tema proposto foi possível compreender a importância do estudo da dinâmica costeira e a variação das linhas de costas para o entendimento do grau de susceptibilidade das praias em geral aos processos resultantes do balanço sedimentar: erosão, engorda, ou até mesmo a ausência de instabilidade, de forma a adaptar o desenvolvimento humano aos processos naturais. As praias selecionadas para a pesquisa apresentam características interessantes para o estudo da evolução das linhas de costa, a fim de estimar os processos de erosão e a magnitude das mudanças nas regiões costeiras visto que, no Brasil, há grande escassez de dados de levantamento remoto e a análise das imagens de satélite é geralmente realizada de forma somente qualitativa, sem dados quantitativos pertinentes para uma análise acurada dos resultados. Deste modo, ainda que a pesquisa tenha sido interrompida em estágios preliminares do cronograma, sugere-se aos interessados a continuação dos estudos iniciados.

## Apoio e Agradecimentos

Este projeto foi fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, o CNPq. Agradeço à Profa. Dra. Patrícia Dalsoglio Garcia, pela orientação, apoio e compreensão nos momentos mais complicados e ao CNPq por apoiar a pesquisa.

## Referências Bibliográficas

- LEATHERMAN, Stephen P.** Shoreline change mapping and management along the US East Coast. *Journal of Coastal Research*, p. 5-13, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25736596?seq=1>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- MUEHE, Dieter; KLUMB-OLIVEIRA, Leonardo.** Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 5, n. 2, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/35884>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- VENÂNCIO, Kelly Kawai et al.** Evolução hidromorfodinâmica da região da Ponta da Praia em Santos-SP, no período entre 2009 e 2017. 2018. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/331424>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- MARINO, Márcia Thelma Rios Donato; FREIRE, George Satander Sá.** Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 13, n. 1, p. 113-129, 2013. Disponível em: [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1646-88722013000100009](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1646-88722013000100009). Acesso em: 1 mar. 2021.
- MUEHE, D. (Org).** "Panorama da Erosão Costeira no Brasil". Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Territorial. Brasília, Brasil, 2018. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80342/Panorama\\_erosao\\_costeira\\_Brasil.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80342/Panorama_erosao_costeira_Brasil.pdf). Acesso em: 3 mar. 2021.
- MENDES, Marcelo; GARCIA, Patrícia.** Comparação dos métodos de análise da evolução da linha de costa propostos por Leatherman (2003) e Venâncio (2018), aplicados nas praias de Massaguaçu-SP e Santos-SP. *Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP*, n. 27, p. 1-1, 2019. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/eventos/index.php/pibic/article/view/1798>. Acesso em: 3 mar. 2021.
- MUEHE, D. C. E. H. et al.** Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 1, p. 475, 2006. Disponível em: [https://gaigerco.furg.br/images/Arquivos-PDF/Livro\\_ersao\\_Dieter\\_RS.pdf](https://gaigerco.furg.br/images/Arquivos-PDF/Livro_ersao_Dieter_RS.pdf). Acesso em: 1 mar. 2021.
- MASULLO, Yata Anderson Gonzaga.** Evolução do processo de urbanização e alterações ambientais na praia de São Marcos, São Luís-MA. *Revista Espaço e Geografia*, v. 19, n. 2, 2016. Disponível em: <http://lsie.unb.br/espacoegografia/index.php/espacoegografia/article/view/415>. Acesso em: 2 mar. 2021.
- BERRIBILLI, Marcos Paulo.** Morfodinâmica e correntes de retorno das praias do Atalaia e Cabeçadas, Itajaí-SC. 2020. Tese de Doutorado. Disponível em: [https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1673/Dissertacao\\_Marcos\\_Berribilli\\_FINAL%20\(1\).pdf?sequence=1](https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1673/Dissertacao_Marcos_Berribilli_FINAL%20(1).pdf?sequence=1). Acesso em: 3 mar. 2021.
- RODRIGUES, R.** A lenta retomada da vida normal na praia da Macumba, 2017. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&u=capes&id=GALE|A525044998&v=2.1&it=r&sid=AONE&asid=0faedaae>. Acesso em: 28 fev. 2021.
- PRAIAS.** Praia da Macumba. Disponível em: <https://www.praias.com.br/estado-rio-de-janeiro/praias-do-rio-de-janeiro/20-praia-da-macumba.html>. Acesso em: 24 set. 2020.
- RESENDE, D.; GOULART, G.** Força do mar destrói calçadão da Praia da Macumba, 2017. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/forca-do-mar-destrui-calçadão-da-praia-da-macumba-21909737>. Acesso em: 1 mar. 2021.
- FILHO, Silvio Roberto de Oliveira et al.** Levantamentos Morfodinâmicos Para Análise do Equilíbrio Sedimentar da Praia do Pecém, São Gonçalo do Amarante – CE, Brasil, 2008. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinago/7/0388.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2021.
- DE SOUZA MEDEIROS, Elana Carolina et al.** Percepção ambiental da erosão costeira em uma praia no litoral do Nordeste do Brasil (Praia da Taíba, CE). *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 14, n. 3, p. 471-482, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3883/388340108010.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2021.
- MAGINI, Christiano et al.** A influência da estrutura portuária na dinâmica costeira da Vila do Pecém, Ceará, Brasil. 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/14829>. Acesso em: 5 mar. 2021.