



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA**

IAGGO OLIVEIRA CORREIA

**A influência da refração de ondas e da deriva litorânea na dinâmica do
pontal arenoso de Sítio do Conde e Siribinha, Bahia, Brasil.**

SALVADOR

2017

IAGGO OLIVEIRA CORREIA

**A influência da refração de ondas e da deriva litorânea na dinâmica do
pontal arenoso do rio Itapicuru, imediações de Sítio do Conde e Siribinha,
Bahia, Brasil.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação em Oceanografia, Instituto de
Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Prof^a Dra. Junia Kacenenbogen Guimarães.

Salvador

2017

RESUMO

A crescente densidade demográfica presente na zona costeira intensifica a necessidade de estudos que integram o processo de urbanização e gerenciamento costeiro. A formação do pontal arenoso do rio Itapicuru através da migração do curso fluvial interfere no cenário geológico-fisiográfico e no cotidiano da população da região. A base de dados do SMC- Brasil, de 1948 a 2008, permitiu a análise da propagação de ondas, além da deriva litorânea para a região de Barra do Itariri, ao sul, até Mangue Seco, ao norte, no litoral do estado da Bahia. Estes dados evidenciaram o transporte sedimentar médio anual predominante para NE e constatações de pontos nodais de divergência de deriva litorânea. A dominância do transporte sentido NE se deve à ação de ondas provenientes de SE e SSE. Este sentido de transporte não foi visto na região de Poças, onde a angulação da linha de costa intensifica a vazão volumétrica das correntes geradas por ondas de E e ENE, causando inversão do sentido de transporte longitudinal sedimentar para SW. A sazonalidade interfere na propagação de ondas e deriva litorânea da região. Ondas de SE e SSE predominam no outono contribuindo para o transporte sentido NE, enquanto na primavera mostram menor frequência dessas ondas, processo que, aliado a cava batimétrica presente na região de Sítio do Conde, promove uma divergência sazonal na área contando com a intensificação da vazão volumétrica das correntes geradas por ondas de E e ENE . O déficit crônico sedimentar causado pelas divergências de deriva litorânea ocorrentes nas imediações das localidades de Poças e Sítio do Conde evidencia o estado de erosão da linha de costa no trecho entre a desembocadura do rio Itapicuru e Barra do Itariri.

Palavras-chave: SMC-Brasil, pontal arenoso, Sítio do Conde, deriva litorânea, refração, ondas e batimetria.

ABSTRACT

The increasing population density in the coastal zone intensifies the need for studies that integrate the process of urbanization and coastal management. The formation of the sandy basin of the Itapicuru river through the migration of the fluvial course interferes in the geological-physiographic scenario and in the daily life of the population of the region. The SMC-Brazil database, from 1948 to 2008, allowed the analysis of wave propagation, as well as the coastal drift to the region of Barra do Itariri in the south, to Mangue Seco in the north, on the coast of the state of Bahia. These data evidenced the average annual sedimentary transport prevailing for NE and findings of nodal points of divergence of coastal drift. The dominance of NE direction transport is due to the action of waves from SE and SSE. This coastal drift trend for NE was not seen in the Poças region, where the angulation of the coastline intensifies the volumetric flow of the currents generated by waves of E and ENE, causing inversion of the longitudinal sedimentary transport direction to SW. Seasonality interferes with the propagation of waves and the coastal drift of the region. SE and SSE waves predominate in the autumn contributing to NE transport, whereas spring shows a lower frequency of these waves, a process that, together with the bathymetric cava present in the Sítio do Conde region, promotes a seasonal divergence in the area counting with the intensification of the volumetric flow of currents generated by waves of E and ENE. The chronic sedimentary deficit caused by coastal drift divergences occurring in the vicinity of the Poças and Sítio do Conde localities shows the erosion of the coastline in the stretch between the Itapicuru and Barra do Itariri discharges.

Keywords: SMC-Brazil, sandy basin, Sítio do Conde, coastal drift, refraction, waves and bathymetry.

COPLA. Modelos de Correntes Geradas pela Arrebentação das Ondas em Praias

Dir. Direção

DOW. *Downscaled Ocean Waves*

E. Leste

ESE. Leste-sudeste

GEBCO. *General Bathymetric Chart of the Oceans*

GOW. *Global Ocean Waves*

Hs. Altura de onda

km. Quilômetro

km². Quilômetro quadrado

m³. Metros cúbicos

m³/s. Metros cúbicos por segundo

MOPLA. Programa de Morfodinâmica de Praias

N. Norte

NE. Nordeste

OLUCA. Modelo Parabólico de Propagação de Ondas

SE. Sudeste

SMC. Sistema de monitoramento costeiro

SSE. Sul- sudeste

SW. Sudoeste

Tp. Período de onda

ρ_w . Densidade da água.

ρ Densidade da areia.

Fluxo de energia de onda.

Taxa de transporte longitudinal.

\bar{c} . Velocidade longitudinal média na zona de surf

Índice de porosidade.

Força gravitacional.

☒☒ Coeficiente adimensional que representa a eficiência das ondas em manter o sedimento em suspensão.

☒ ☒☒ Velocidade de queda do grão.

Lista de tabelas

Tabela 01. Coordenadas e angulação da linha de costa (θ) ao longo dos 14 perfis.

Tabela 02. Caracterização do clima de ondas identificado pelo Ponto DOW. Variável- Altura de onda.

Tabela 03. Caracterização do clima de ondas identificado pelo Ponto DOW. Variável- Período de onda.

Tabela 04. Sentidos de propagações e percentual de ocorrência das ondas no ponto DOW.

Tabela 05. Casos de ondas representativas para área de estudo.

Tabela 06. Análise numérica de dispersão sedimentar, através dos 14 perfis, para transporte médio anual entre 1948 e 2008.

Tabela 07. Análise numérica de dispersão sedimentar, através dos 14 perfis, para os meses de março, abril e maio de 1948 a 2008.

Tabela 08. Análise numérica de dispersão sedimentar, através dos 14 perfis, para os meses de setembro, outubro e novembro de 1948 a 2008.

Lista de figuras

Figura 01. Área de estudo com limite norte na região de Mangue Seco e sul na região de Barra do Itariri.

Figura 02. Foz do rio Itapicuru e limite norte do Pontal arenoso de Sítio do Conde e Siribinha.

Figura 03. Foz do rio Itariri

Figura 04. Mapa geológico da área de estudo.

Figura 05. Exumação de arenitos de praia (linha vermelha) que se iniciam na região de Sítio do Conde até as imediações de Poças.

Figura 06. Ponto DOW selecionado.

Figura 07. Malha de propagação de ondas de leste.

Figura 08. Malha de propagação de ondas de sudeste.

Figura 09. Malhas de propagação com ponto DOW.

Figura 10.1. Perfis para cálculo de arrebentação de onda, posicionados perpendicularmente à costa.

Figura 10.2. Marcação de perfis para cálculo de arrebentação de onda, posicionados perpendicularmente à costa.

Figura 11. Rosas direcionais de propagação de onda indicados pelo ponto DOW. Variável- Altura de onda.

Figura 12. Rosas direcionais de propagação de onda indicados pelo ponto DOW. Variável- Período de onda.

Figura 13. Propagação de ondas de leste (caso 07) associada à batimetria.

Figura 14. Propagação de ondas de “leste-nordeste” (caso 90) associada à batimetria.

Figura 15. Propagação de ondas de sudeste (caso 62) associada à batimetria.

Figura 16. Propagação de ondas de sul-sudeste (caso 70) associada à batimetria.

Figura 17. Propagação de ondas de leste-sudeste (caso 60) associada à batimetria.

Figura 18. Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de leste (caso 07).

Figura 19. Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de “leste-nordeste” (caso 90).

Figura 20. Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de sudeste (caso 62).

Figura 21. Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de sul-sudeste (caso 70).

Figura 22. Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de leste-sudeste (caso 60).

Figura 23. Transporte médio anual sedimentar desde 1948 a 2008.

Figura 24. Estreitamento da linha de costa nas imediações da localidade de Poças, perfis 06 e 07.

Figura 25. Transporte médio de sedimentos referente aos meses de março, abril e maio ao longo dos anos 1948 a 2008.

Figura 26. Rosas direcionais de direção e altura de propagação de ondas nos meses de Março, Abril e Maio de 1948 a 2008.

Figura 27. Transporte médio de sedimentos referente aos meses de setembro, outubro e novembro ao longo dos anos 1948 a 2008.

Figura 28. Rosa direcional e altura de propagação de ondas para os meses de setembro, outubro e novembro ao longo dos anos de 1948 a 2008.

Índice

1	Introdução.....	11
2	Objetivo.....	13
3	Justificativa.....	14
4	Área de estudo.....	15
4.1	Localização.....	15
4.2	Caracterização climática.....	15
4.3	Circulação atmosférica local.....	16
4.4	Ondas.....	16
4.5	Deriva litorânea.....	17

4.6	Marés.....	18
4.7	Hidrografia.....	18
4.8	Cenário Geológico-Fisiográfico.....	20
4.9	Depósitos de antigos pontais arenosos holocênicos.....	22
4.10	Depósitos litorâneos atuais e arenitos de praia.....	22
4.11	Risco de erosão costeira e fluvial.....	23
5	Metodologia.....	25
5.1	Levantamentos bibliográficos.....	25
5.2	Modelagens do espectro de ondas e cálculo da deriva litorânea....	25
6	Resultados e discussão.....	33
6.1	Resultados do ponto DOW.....	33
6.2	Propagações de ondas.....	35
6.3	Correntes geradas por ondas.....	41
6.4	Resultados da deriva litorânea.....	47
6.4.1	Transporte sedimentar médio anual.....	47
6.4.2	Transporte sedimentar médio sazonal.....	52
7	Conclusão.....	60
8	Referências.....	63

1- Introdução

A zona costeira sempre esteve dentre as regiões mais requisitadas para a sobrevivência humana. Aliando moradias às diversas fontes de recursos naturais presentes nessa região, essa área enfrenta a alta urbanização, e, se tratando de um ambiente bastante dinâmico e sensível, tende a interferir e sofrer influência por esse gradativo aumento populacional.

A região litorânea engloba esferas ambientais como atmosfera, geosfera, hidrosfera e biosfera, tornando-se um sistema complexo e passível a alterações de curto, médio e longo prazo. A alta densidade demográfica costeira resulta numa série de problemas ecológicos, bem como, nas modificações das estruturas geológicas pré-existentes, evidenciando, segundo Dominguez et al. (1999), a importância do estudo e mapeamento geológico da região com a finalidade de oferecer bases científicas para a prática do gerenciamento costeiro.

As medidas de gestão na área costeira visam adaptação e minimização dos efeitos de mudanças sujeitas a variáveis climáticas, ondas, correntes, marés, modificações morfodinâmicas, ações antrópicas, dentre outros processos.

A morfodinâmica litorânea atual é resultante de uma herança evolutiva geológica, climática e condições atuais das ações antrópicas, processos que geram um sistema de retroalimentação que modelam e definem a área. Segundo Carter & Woodroffe (1994), mudanças na topografia alteram as condições de contorno para a dinâmica da região, produzindo mudanças nos padrões de dispersão de sedimentos e seus produtos deposicionais.

Associadas à ação do vento, a propagação de ondas tem função importante na modelagem da linha de costa de acordo com as suas características ao interagir com a mesma. Altura, período e comprimento de onda são fatores relevantes na determinação da influência desta forçante na dinâmica costeira. Além disso, fenômenos físicos como a refração, processo onde a onda se propaga de um meio para outro em angulação oblíqua, alterando sua velocidade e direção, pode vir a acentuar a interação do clima de ondas com a costa. Outro fator importante na modelagem costeira é a deriva litorânea, processo resultante do ângulo de incidência de ondas na região litorânea, formando um fluxo, paralelo à costa, proporcionando transporte de sedimentos, atuando na deposição ou erosão em determinadas feições na costa.

Os pontais arenosos, estruturas alongadas que apresentam contato com o continente por uma extremidade, representam uma feição geológica recente na linha de costa, formada, segundo Petersen et al. (2008), através da ação construtiva de ondas agindo sobre um fundo inclinado gerando um transporte ao longo da costa que resulta em um perfil costeiro semelhante a uma barreira. Ainda de acordo com Petersen et al. (2008), outra explicação para formação de pontais arenosos se dá pelo fato de correntes levarem sedimentos para ocorrentes feições deposicionais subaéreas mais ou menos paralelas à linha de costa, formando estruturas alongadas onde pode existir deposição sedimentar nas suas extremidades.

Por serem estruturas alongadas, pouco consolidadas e expostas à alta energia da zona de surfe, os pontais são ambientes susceptíveis à erosão.

Este trabalho objetivou analisar a dinâmica costeira por meio da propagação de ondas e comportamento da deriva litorânea utilizando o Sistema de Monitoramento Costeiro (SMC-Brasil), que disponibiliza uma base de dados de ondas para o período de 1948 a 2008. A área de estudo é limitada ao norte pela localidade de Mangue Seco, passando pelo pontal de Sítio do Conde, até o município de Barra do Itariri, limite sul da área de estudo.

2- Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo analisar a evolução do pontal arenoso do rio Itapicuru localizado entre a região de Sítio do Conde, ao sul, e a localidade de Siribinha, ao norte, além de correlacionar com a refração de ondas e a deriva litorânea da área de estudo. Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Reconhecimento do clima de ondas da região.
- Realizar as modelagens de refração de ondas, utilizando o Sistema de Modelagem Costeira – SMC- Brasil na área do Pontal de Sítio do Conde e adjacências.
- Simular os padrões da corrente de deriva litorânea de sedimentos utilizando o SMC- Brasil na área do Pontal de Sítio do Conde e adjacências.
- Apresentar áreas vulneráveis à erosão associadas à dinâmica do pontal arenoso.

3- Justificativa

A ocupação demográfica na zona costeira acentua a importância de estudos em que são correlacionados o processo de urbanismo e o meio ambiente. A migração do curso fluvial e a formação do pontal influenciam diretamente o cenário geológico-fisiográfico da área de estudo, interferindo no cotidiano da população da região. O pontal do município de Conde abriga dois povoados em processo crescente de urbanização.

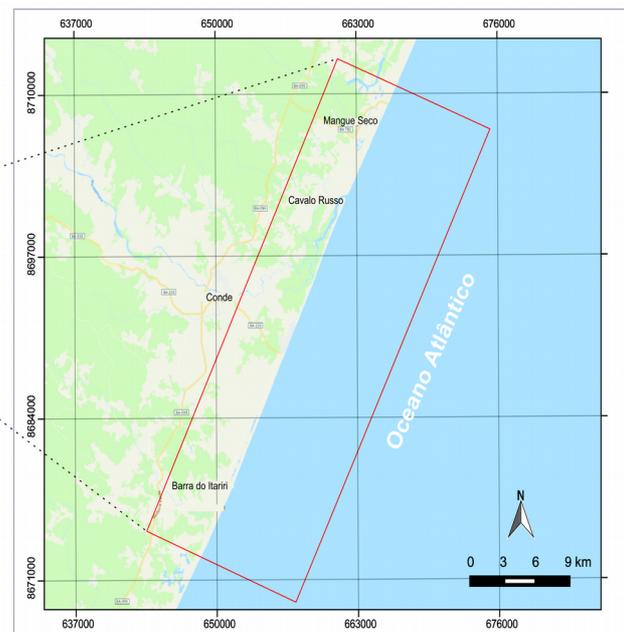
As simulações e previsões de mudanças na morfodinâmica costeira em escala de tempo são indispensáveis ao gerenciamento costeiro, uma vez que elas permitem reconhecer as tendências nos movimentos e na morfologia litorânea que têm importância nas escalas de tempo do gerenciamento (10 a 100 anos), segundo Cowell et al. (2003). Mostra-se importante conhecer os processos e fatores atualmente atuantes ao longo da linha de costa e também aqueles que têm sido ativos no passado geológico recente, de acordo com Phillips & Jones (2006).

4- Área de estudo

4.1- Localização

A área de estudo (Figura 01) deste trabalho estende-se desde o rio Itariri (8672816m; 648479m) ao Sul, passando pela Praia de Sítio do Conde (Município do Conde), setor costeiro da bacia hidrográfica do rio Itapicuru, chegando à localidade de Mangue Seco (8710653m; 666669m), completando aproximadamente 33,49 quilômetros de zona costeira, que está contida no litoral norte da Bahia.

Figura 01- Área de estudo com limite norte na região de Mangue Seco e sul na região de Barra do Itariri. Imagem modificada *Google Maps*.



4.2- Caracterização climática

Encontrando-se na zona intertropical, marcada por altos índices de radiação, o clima da zona costeira no nordeste do Estado da Bahia é úmido a subúmido e seco a subúmido, apresentando médias térmicas elevadas de

25⁰C, amplitudes térmicas anuais variando entre 3⁰C a 6⁰C, e altos índices

pluviométricos, os quais ficam entre 1200 mm a 2000 mm, crescente no sentido norte-sul. A maior intensidade dessas chuvas está no período de outono-inverno e a menor no período de primavera-verão. Este cenário se deve pela atuação das chegadas de frentes-frias, mais efetivas durante os períodos de outono-inverno no Hemisfério Sul. Normalmente os meses de abril, maio, junho apresentam médias pluviométricas superiores a 300 mm, de acordo com Dominguez et al. (1999). Este processo de intensificação da pluviosidade influencia a dispersão de sedimentos ao longo da região costeira, pois está diretamente relacionado com a circulação atmosférica local, que será discutida no item posterior.

4.3- Circulação atmosférica local

Apontado por Dominguez et al. (1992) e Bittencourt et al. (2005, 2007), atuais padrão de ventos e propagação de ondas têm permanecido com a mesma característica desde do Quaternário Tardio (120.000 A.P.). Com a área localizada dentro do cinturão de ventos alísios do Atlântico Sul, Bigarella (1972) afirma que tal persistência se deve à estabilidade da célula de alta pressão do Atlântico Sul, a qual determina a padronização dos ventos alísios nesta região contribuir para a pouca variação de direção e velocidade desses ventos e, conseqüentemente, na dispersão de sedimentos ao longo da região costeira do norte do Estado, como foi explicitado por Dominguez et al. (1992).

Dominguez et al. (1999) apontam que cerca de 75% dos ventos incidentes na área de estudo são originados nos quadrantes NE-E-SE, sobretudo da Célula de Alta Pressão do Atlântico Sul, sendo este percentual dividido em 18% de NE e 47% de E, principalmente durante a primavera-verão, e 35% de SE durante os períodos de outono e inverno. Em relação aos ventos do quadrante SE, apenas 5% são provenientes de SSE, relacionados à Frente Polar Atlântica. Outras direções de vento deste quadrante fazem parte do conjunto de ventos alísios de sudeste e nordeste.

Dominguez et al. (1992) e Martin et al. (1992) apresentam outro aspecto importante da circulação atmosférica da área, as frentes-frias episódicas provenientes de SSE, durante o outono e inverno. Este evento é responsável por ventos de E e SE no outono e inverno.

4.4- Ondas

O padrão de ventos encontrado no litoral norte é responsável pela formação e manutenção do regime de ondas na plataforma continental.

Bittencourt et al. (2000) afirmam que a área de estudo é afetada pelas ondas vindas do quadrante N-NE, as quais estão presentes o ano todo, porém são mais efetivas no período entre setembro e fevereiro, possuindo altura média de 1 metro e período de 5 segundos ou menos. Durante os meses de abril até agosto, ondas provenientes de E-SE com altura média de 1,5 metros e período de 6-7 segundos são bastante significativas compreendendo uma percentagem importante dos trens de ondas que alcançam à linha de costa.

Através de estudos utilizando diagramas de refração de onda, Bittencourt et al. (2000 e 2010) demonstraram que as frentes de onda provenientes de NE e E começam a interferir no fundo marinho na profundidade aproximadamente de 20 metros, já as ondas de SE e SSE a cerca de 35 metros de profundidade, concluindo que grande parte da plataforma continental, a qual atinge profundidades médias de até 50 metros, é influenciada pela ação das ondas.

As ondas sofrem diversas transformações desde que são geradas até que atinjam a costa condicionando as características morfológicas da costa, especialmente das praias. Nestes ambientes existe uma relação entre as ondas (dinâmica marinha) e a forma (morfologia) da praia, denominada "morfodinâmica de praias". Assim a morfologia da praia corresponde às condições da dinâmica, mas também a dinâmica depende das condições morfológicas. Por estas razões é essencial o conhecimento da dinâmica de propagações de ondas, as quais interferirão diretamente nas feições geológicas encontradas na costa.

4.5- Deriva Litorânea

Segundo Dominguez et al. (1996) a costa norte do estado da Bahia é um ambiente dominado por ondas. A dispersão de sedimentos é resultante da angulação aguda formada entre a direção de propagação das ondas e a linha de costa, processo que gera uma corrente que se desloca paralelamente à linha de costa, denominada deriva litorânea.

Ao sul da área de estudo, Bittencourt et al. (2000, 2005) identificaram três grandes células de deriva efetiva de sedimentos, a partir de modelagem numérica de diagramas de refração de onda confeccionados numa escala aproximada de 1:300.000, onde foi verificado um ponto nodal de divergência localizado em Baixio.

Dominguez et al. (1996) afirma que a orientação NE/SW da linha de costa do litoral norte da Bahia contribui para que as ondas de N-NE, que se aproximam de forma diagonal à linha de costa, produzam uma deriva litorânea de sedimentos orientada para SW. Bittencourt et al. (2000) aponta que a deriva

longitudinal efetiva de sedimentos, determinada pelas ondas de E e NE, é direcionada para SW, a sudoeste da foz do rio Itariri.

Em relação às ondas de SE e SSE presentes na área de estudo, Netto (2002) afirma que o transporte longitudinal de sedimentos é em direção NE, sendo mais significativo na foz do rio Itariri pelo fato de existir uma pequena mudança na direção da linha de costa, devido a uma ligeira deflexão para norte na direção do litoral.

4.6- Marés

Segundo Hayes (1979), o regime de marés é determinante para a geomorfologia costeira, bem como, contribui para o retrabalhamento dos sedimentos da porção rasa da plataforma continental.

Não existem dados de maré específicos para a região entre Barra do Itariri, ao sul, e Mangue Seco, ao norte, porém o resultado tende a ser entre os valores de nível médio do Porto de Salvador (1,32 metros) e a Capitania dos Portos de Sergipe (1,16 metros), ao sul e ao norte da área de estudo respectivamente, para o mês de Janeiro de 2017, fornecidos pelo site oficial da Marinha do Brasil.

Ainda de acordo com Hayes (1979), a maré da área de estudo é classificada como mesomaré alta.

4.7-Hidrografia

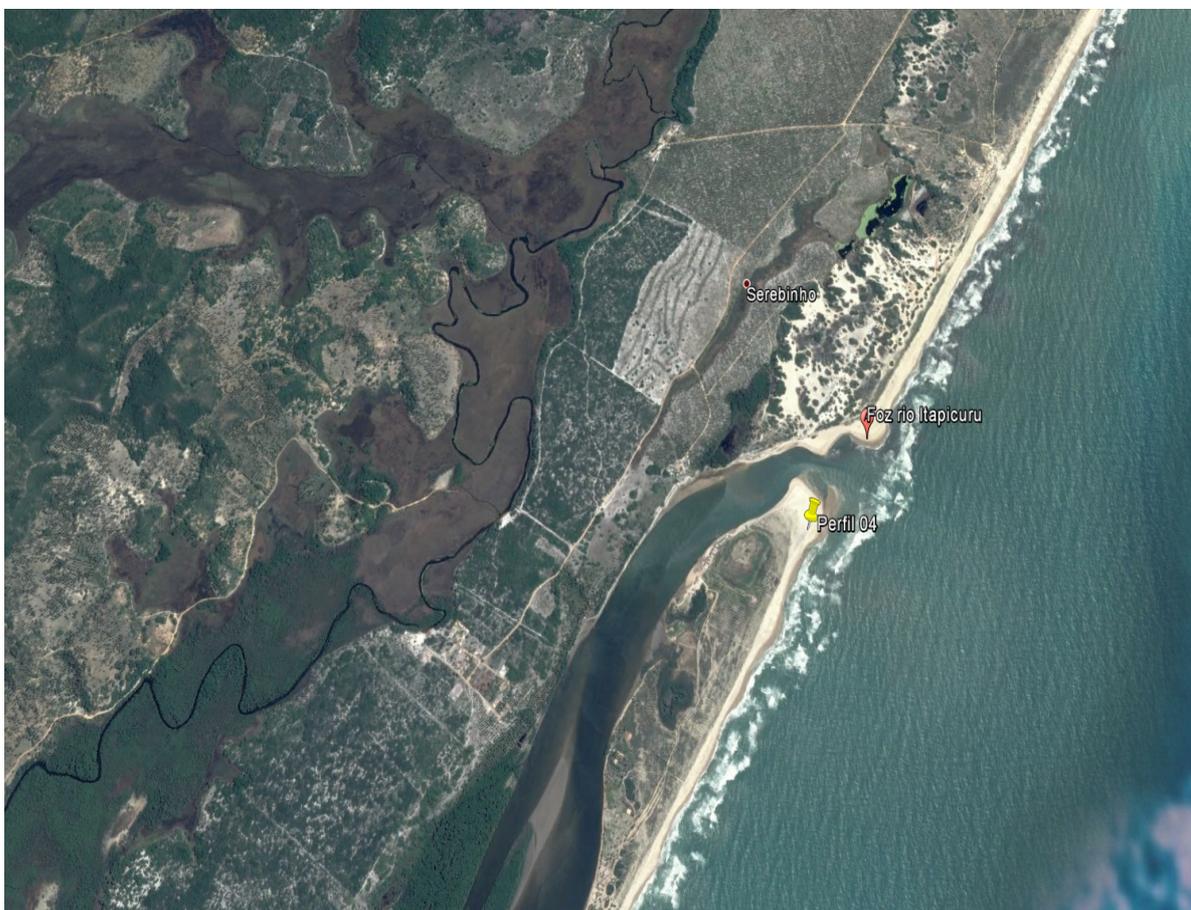
A região do Litoral Norte do Estado da Bahia encontra-se inserida na Região Hidrográfica do Atlântico Leste Brasileiro (ANA, 2004), abrangendo um total de 4 sub-bacias: Recôncavo Norte (11.336 km²), rio Real (2.578 km²) e as que compreendem a área de estudo: rio Itapicuru (36.168 km²) e rio Inhambupe (5.247 km²).

O rio Real apresenta vazão considerável na região, localizado a 40 km ao norte do rio Itapicuru, exercendo influência sobre a plataforma continental neste trecho do litoral.

Na bacia hidrográfica do rio Itapicuru, formador do pontal de Sítio do Conde e Siribinha (Figura 02), se inserem cerca de 24 municípios de forma integral e de forma parcial cerca de 31, segundo Esquivel (2006). Barbosa et al.

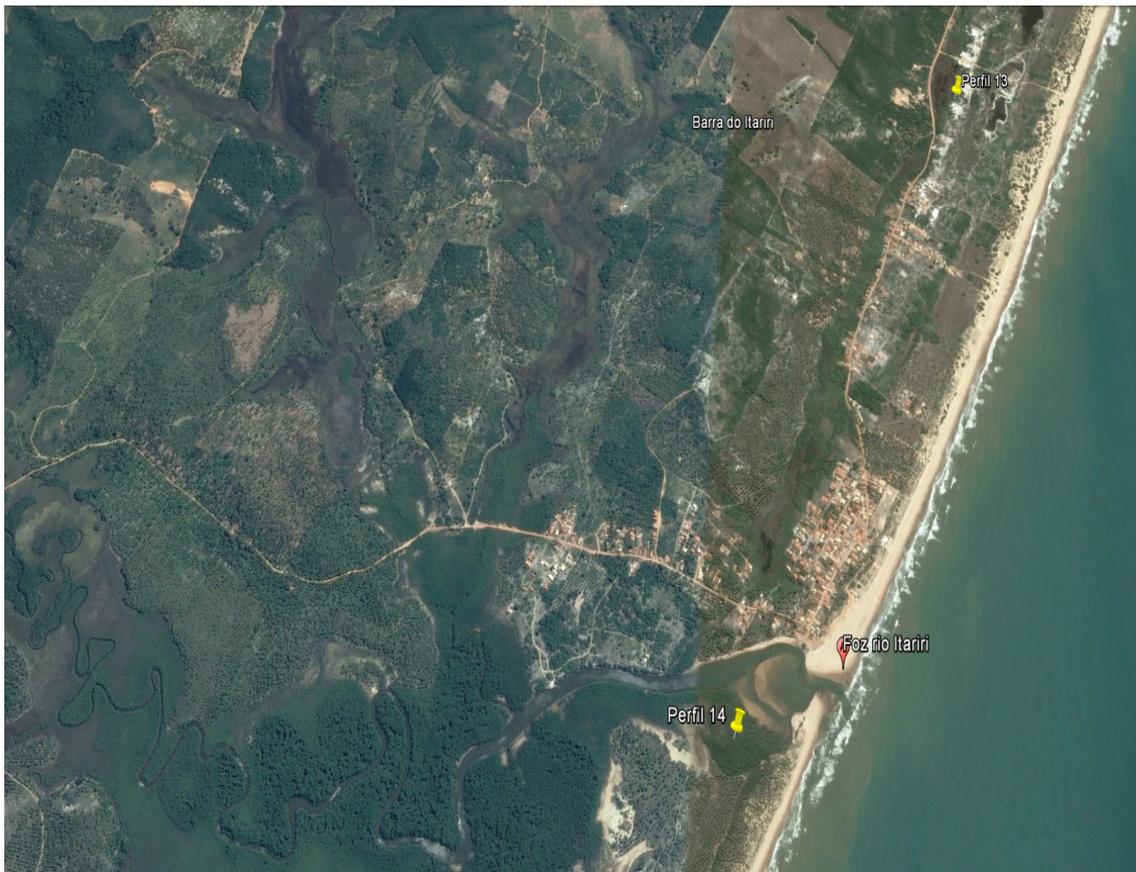
(2012) ressalta que o aporte de sedimento total final é relativamente baixo, contabilizando $27\text{m}^3/\text{s}$.

Figura 02- Foz do rio Itapirucu e limite norte do Pontal arenoso de Sítio do Conde e Siribinha. Imagem Google *Earth Pro*.



Em relação ao rio Itariri, localizado mais ao sul da área de estudo, poucos estudos foram realizados. Netto (2002) afirma que esta é uma bacia hidrográfica de pequenas dimensões (apenas 1000 km^2), apresentando baixa vazão. Além disso, o autor sugere que a atual dinâmica de transporte de sedimentos, ao longo do trecho da faixa de praia, é responsável pelo assoreamento da desembocadura do rio Itariri (Figura 03). A hidrografia local, além de determinar as atuais feições geomorfológicas, apresenta correlação direta com a evolução das feições costeiras da região ao longo do tempo geológico. Algumas características de relevância para a atual estrutura costeira da área serão elucidadas no item seguinte.

Figura 03- Foz do rio Itariri. Imagem Google *Earth Pro*.



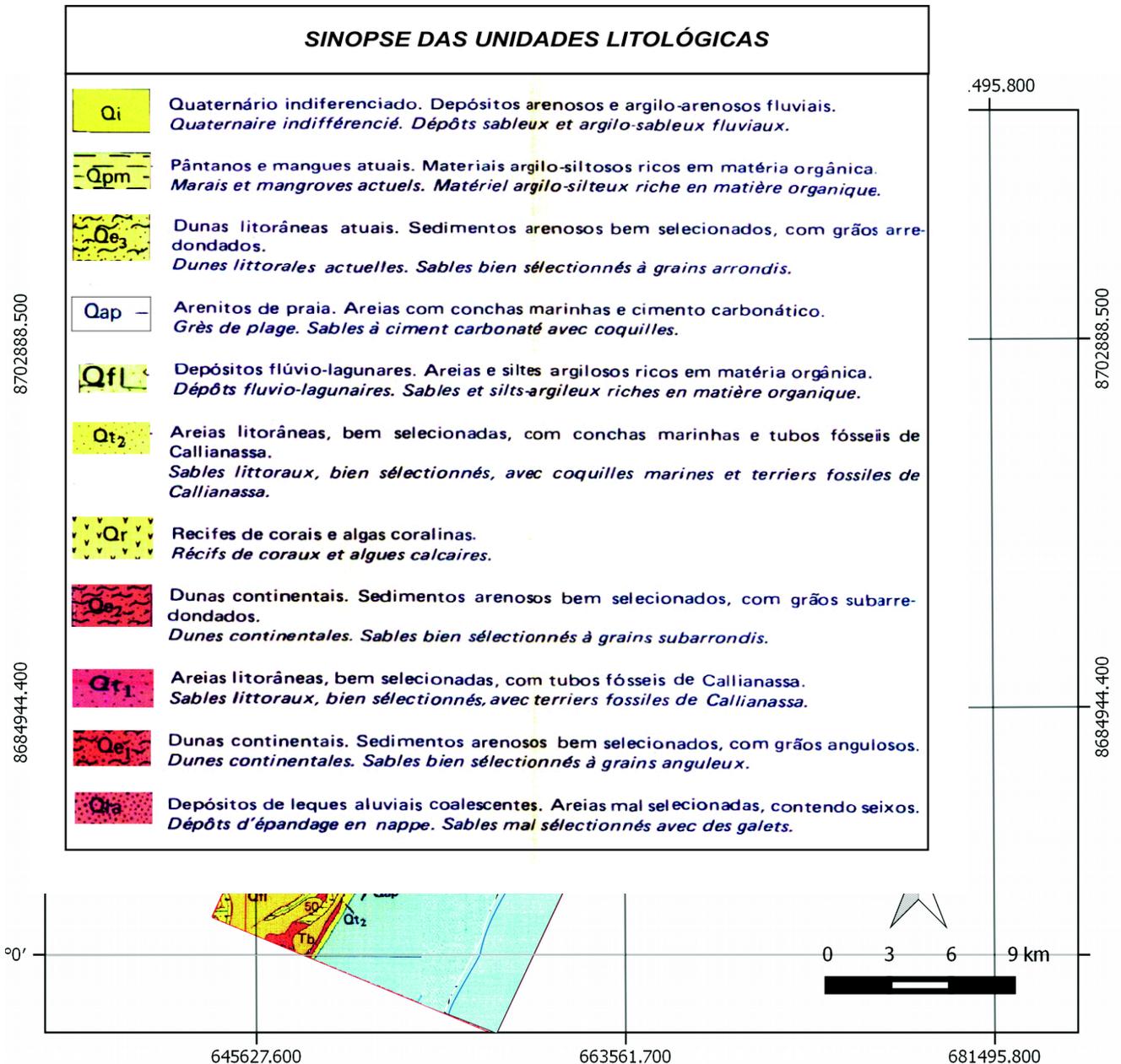
4.8- Cenário Geológico-Fisiográfico

Apresentando idade Miocênica, segundo Suguio & Nogueira (1999), depósitos semi-consolidados da Formação Barreiras são identificados na parte interna da região costeira. De acordo com Martin (1980) e Dominguez (2009), os depósitos quaternários da área de estudo são representados por a) dunas e depósitos flúvio-lagunares (Quaternário Indiferenciado) e b) terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, sendo encontrados bancos de arenito de praia na região do Conde, indicados na figura 04.

Como característica da região do litoral norte da Bahia, a planície quaternária é estreita em toda sua extensão, sendo encontrada largura máxima de alguns quilômetros justamente na região da zona costeira do Conde e mínimas, de poucas centenas de metros, em Poças e Barra do Itariri. Bittencourt et al. (2000, 2005) explicam esta condição pela presença do ponto nodal de divergência localizado em Baixo, sugerindo que o déficit crônico de sedimentos causado pela divergência da deriva longitudinal pode ser fator

preponderante para o fato de a planície quaternária ser estreita ao longo da costa norte do Estado da Bahia.

Figura 04- Mapa geológico da área de estudo. Rio Itapicuru ao norte e rio Itariri ao sul indicados



por setas. Presença de depósitos quaternários indiferenciados, depósitos flúvio-lagunares e arenitos de praia. Imagem modificada Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Estado da Bahia.

4.9- Depósitos de antigos pontais arenosos holocênicos

Na região que se estende do norte da localidade de Sítio do Conde até a região da foz do rio Itapicuru é decorrente a presença de diversas ilhas arenosas que apresentam tamanho variado e formas que lembram pontais

arenosos. Esquivel (2006) lança a hipótese de essas ilhas serem formadas através da migração lateral da desembocadura do rio durante o Holoceno, atualmente encontrando-se posicionadas no manguezal que está atrelado à foz do rio Itapicuru. O mesmo autor, por meio de fotografias aéreas, sugere que a geometrias dos antigos pontais arenosos indica mudança no sentido da deriva litorânea durante os últimos 5.100 anos.

4.10- Depósitos litorâneos atuais e arenitos de praia

Netto (2002) identifica a face praial como sendo formada por areias quartzosas de granulometria média a fina, sendo que em alguns trechos do prisma praial ocorrem sedimentos biodetríticos formados por rodolitos e conchas de bivalves oriundos da zona sublitoral, chegando à praia pela ação de ondas e marés.

Bittencourt et al. (2010) apresentam a linha de costa como retilínea, sendo bastante regular e com características gerais de trânsito livre de sedimentos. Os mesmos autores identificam as praias como, quase em sua totalidade, arenosas e extensas na área de estudo.

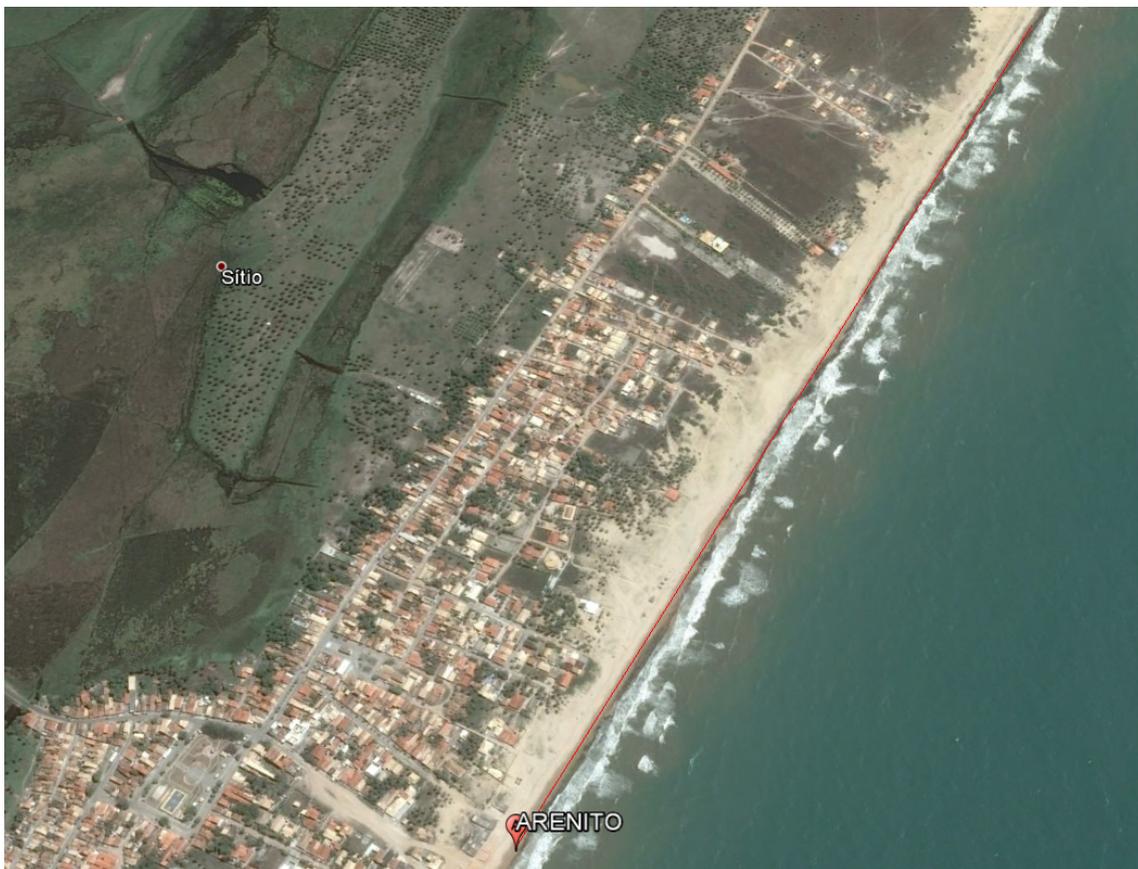
Entre as localidades de Sítio do Conde e Poças é encontrada uma unidade formada pela litificação de areias quartzosas e conchas fragmentadas de alta resistência, chamada de arenito de praia. Essa formação é caracterizada por corpos rochosos tabulares estratificados, posicionados na região intermaré, e funcionam como proteção contra a ação de ondas e tempestades. Segundo Dominguez et al. (1996 e 1999), a presença desta feição geológica apoia a ideia de que a linha de costa passou ou está passando pelo processo de erosão, haja visto que o autor seguiu a linha de pensamento contestada por alguns pesquisadores de que o arenito de praia é formado em sub-superfície, na área de mistura de águas subterrâneas marinhas e continentais.

4.11- Risco de erosão Costeira e fluvial

Esquivel (2006), com base em interpretações visuais de imagens de satélites e aerofotos verticais, entre 1993 e 2005, constatou erosão da linha de costa no trecho entre a desembocadura do rio Itapicuru (Nordeste) e Barra do Itariri (Sudoeste), sendo este processo evidenciado pela exumação de arenitos

de praia (Figura 05) e escarpas de erosão em dunas frontais. Além disso, outro fator importante a ser considerado para o estado erosivo da região é a migração lateral do fluxo fluvial, processo que aumenta o potencial erosivo das áreas das margens associadas ao canal do rio Itapicuru, colocando em risco construções que se encontram na localidade de Siribinha e Poças, no reverso do pontal arenoso, onde a erosão se mostra mais intensa.

Figura 05- Exumação de arenitos de praia (linha vermelha) que se iniciam na região de Sítio do Conde até as imediações de Poças. Imagem Google *Earth Pro*.



5- Metodologia

A metodologia deste trabalho se deu em três etapas:

- i) Levantamento bibliográfico;
- ii) Modelagem da refração de ondas e cálculo da deriva litorânea de sedimentos utilizando o SMC- Brasil;
- iii) Interpretação dos resultados e redação do trabalho final de graduação.

5.1- Levantamentos bibliográficos

Essa etapa consistiu no levantamento de artigos científicos, teses de doutorado, dissertações de mestrado e livros referentes ao tema principal e correlatos, além de informações sobre a área de estudo e sobre a metodologia utilizada.

5.2- Modelagens do espectro de ondas e cálculo da deriva litorânea

A simulação de propagação de ondas e análise de transporte de sedimentos através da deriva litorânea, contidas neste trabalho para a área de estudo, foram possibilitadas por meio do Sistema de Monitoramento Costeiro (SMC-Brasil).

Segundo Gonzáles et al. (2014), o SMC, utilizando forças atmosféricas globais, apresenta simulações numéricas (realizadas com o modelo *Wave Watch III*, versão 2.2) das condições das ondas durante um longo período sobre a superfície oceânica. Esta etapa, chamada GOW (*Global Ocean Waves*), tem ênfase na zona oceânica adjacente à costa brasileira, onde malhas de maior resolução e batimetria, obtidas a partir das bases de dados “*General Bathymetric Chart of the Oceans*” (GEBCO), foram direcionadas a esta zona, resultando em séries de estado de mar, em cada um dos nós da malha, de

longa duração em intervalos de 1 hora e obtida uma série temporal a cada

$0,25^0 \times 0,25^0$.

Ainda de acordo com Gonzáles et al. (2014), a finalidade de apresentar características regionais ao banco de dados do SMC, complementando a etapa GOW, levou à realização da etapa *downscaling*, onde foi realizada uma série de simulações numéricas e utilizadas batimetrias de cartas náuticas com maior detalhe e ventos regionais. Através das simulações de estado de mar, realizadas nesta etapa, foram reconstruídas as séries nos nós das malhas. Estas séries são denominadas DOW (*Downscaled Ocean Waves*).

Aproveitando-se deste maior nível de detalhamento, o presente trabalho utilizou-se da batimetria disponível no banco de dados do programa SMC. A resolução da linha de costa da área de estudo foi ampliada através do uso de imagens de satélite do *Google Earth*, processo que foi possibilitado através da ferramenta SMC 3.0 com o módulo de regeneração do terreno.

Para a configuração das malhas utilizadas para a propagação de ondas foi selecionado um ponto DOW (Figura 06), responsável pela identificação das ondas que atingem a costa da área de estudo, pela análise estatística no módulo AMEVA, fornecendo informações necessárias para o desenho e orientação das malhas, a partir das quais se fará as propagações de ondas até a linha de costa. Com base nesses resultados foram feitas duas malhas, uma de leste franco (Figura 07) e outra de sudeste franco (Figura 08), haja visto que

as malhas aceitam frentes de ondas de 45^0 acima e abaixo do seu eixo normal,

recebendo ondas de outros quadrantes, ou seja, a malha de leste franco alcança imediações de ondas de nordeste e a malha de sudeste alcança imediações de ondas de sul, abarcando todas as ondas incidentes na região. A

configuração da malha foi possibilitada através do programa MOPLA (Programa de Morfodinâmica de Praias) no SMC 3.0 sendo utilizada a resolução em Δx e Δy de 50 metros.

Figura 06- Ponto DOW selecionado indicado pela cor vermelha. Imagem modificada SMC-Brasil.

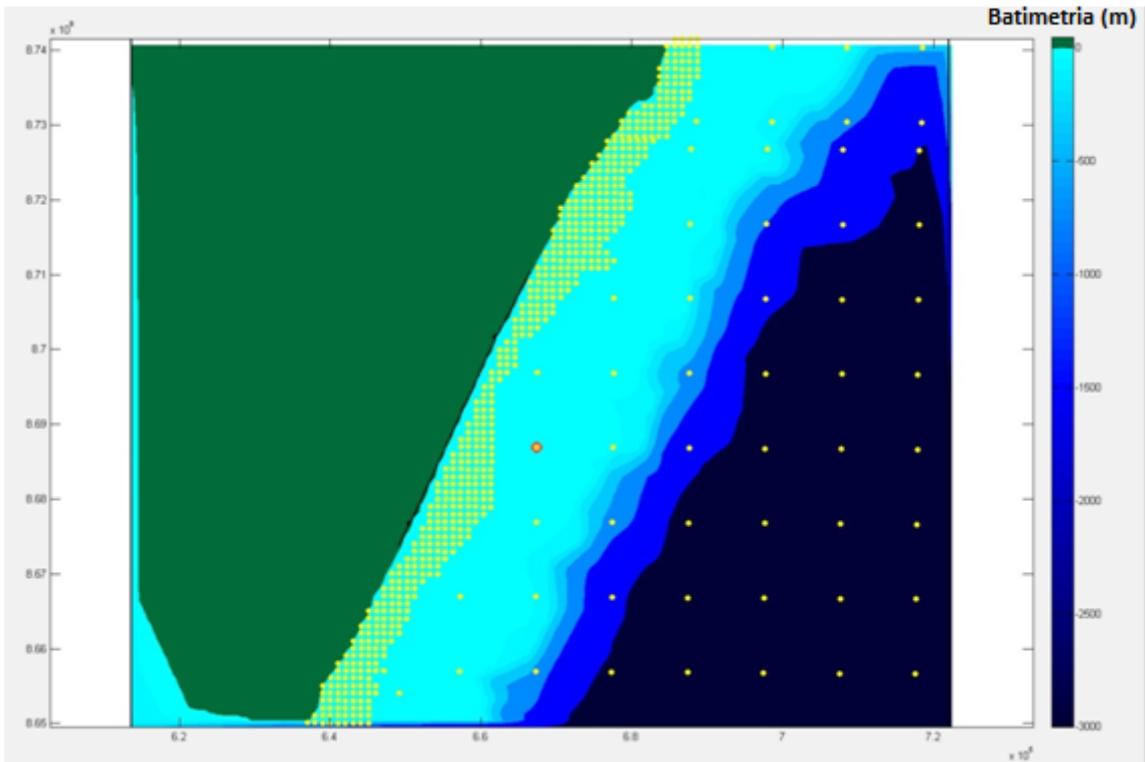


Figura 07- Malha de propagação de ondas de leste. Imagem modificada SMC- Brasil.

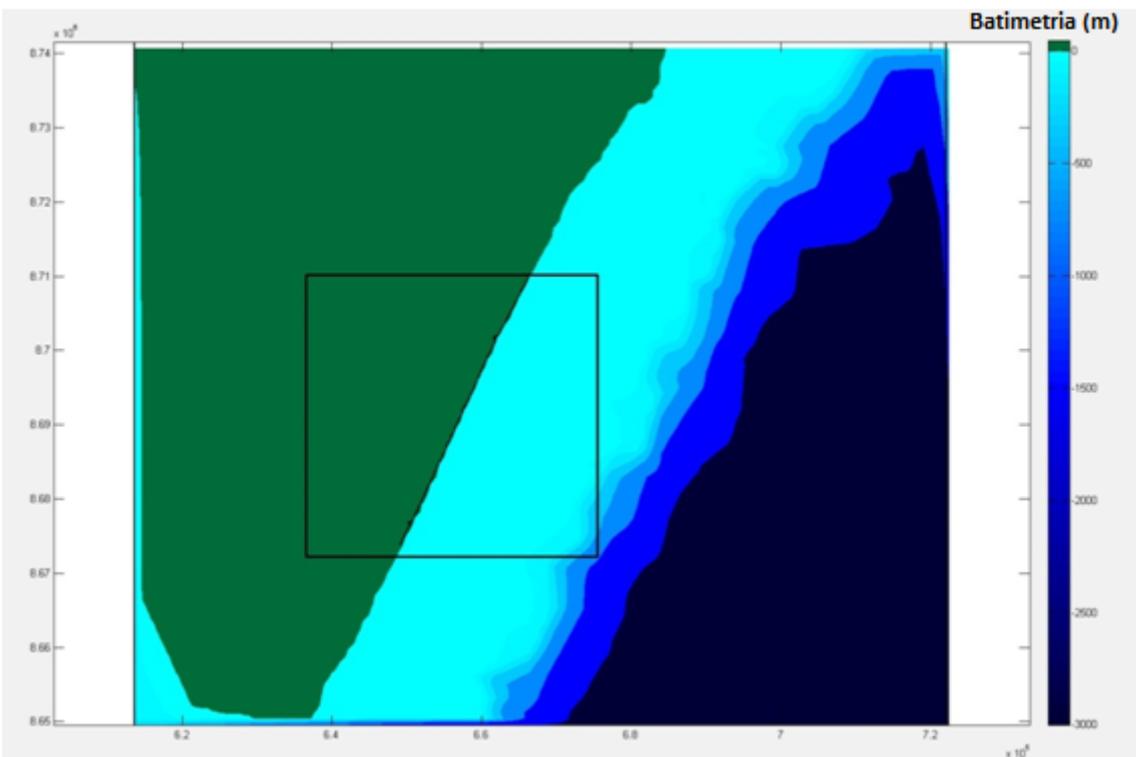
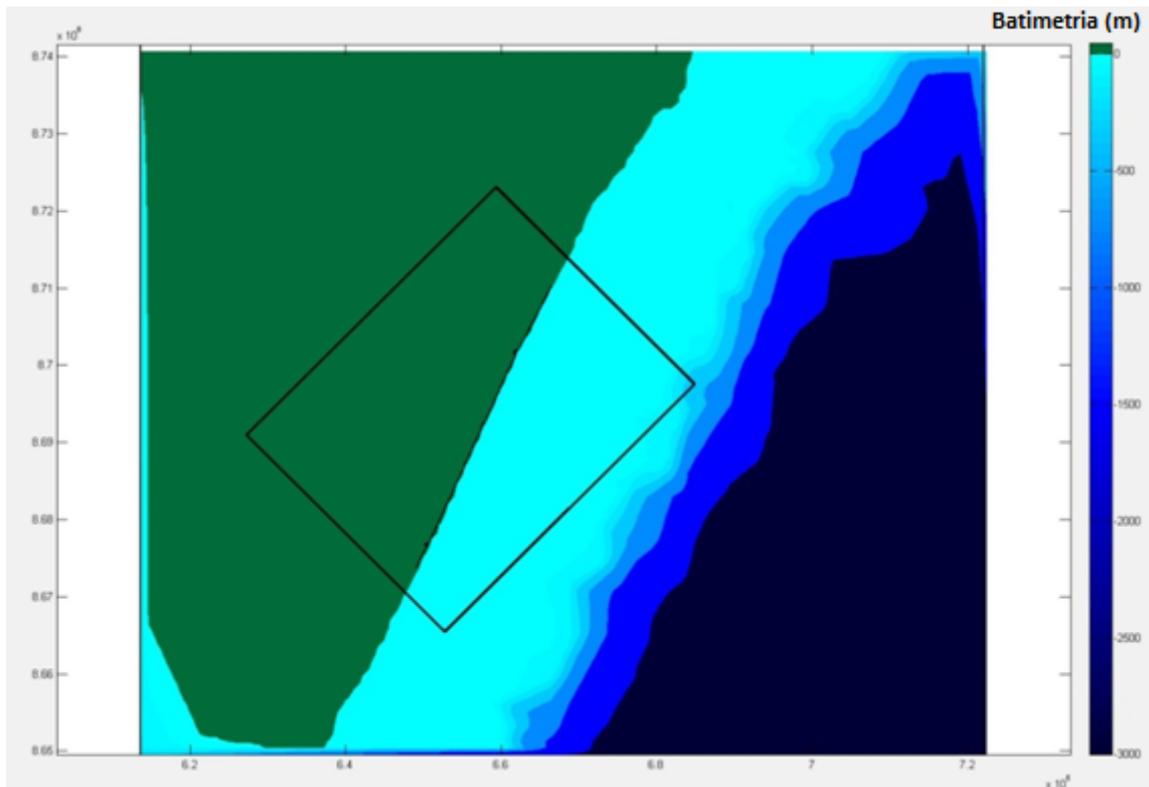
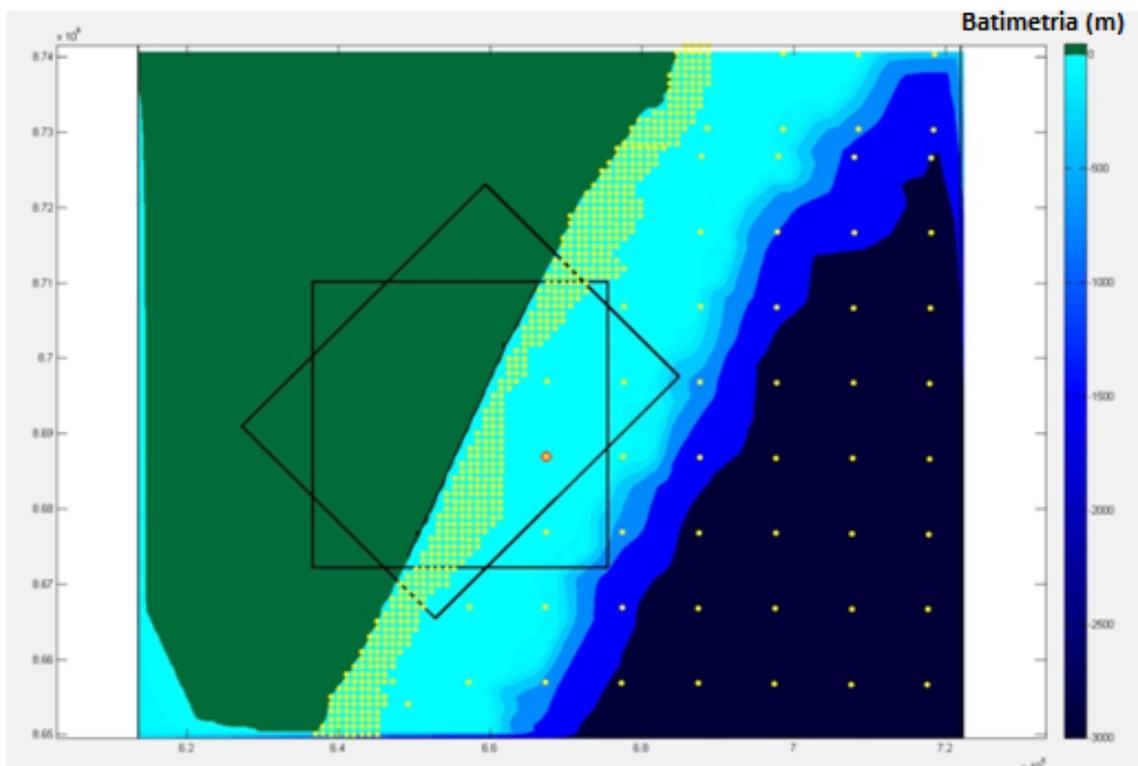


Figura 08- Malha de propagação de ondas de sudeste. Imagem modificada SMC- Brasil.



Após a configuração da malha foi escolhido um ponto DOW (Figura 09) que estivesse contido na intersecção das duas malhas e que fosse o mais próximo possível do segmento inicial das malhas, com a finalidade de obter uma área maior para propagação de ondas. O ponto escolhido acabou sendo o mesmo utilizado para a identificação de direções de ondas que atingem a costa.

Figura 09- Malhas de propagação com Ponto DOW. Imagem SMC- Brasil.



Após a criação das malhas e definição do ponto DOW foram selecionados os casos a serem propagados. Dentro da impossibilidade de propagar os 500.000 estados de mar contidos no ponto DOW, foram escolhidos 100 casos em estado de mar de meia maré para propagação, a qual é realizada através do modelo numérico OLUCA (Modelo Parabólico de Propagação de Ondas) sendo caracterizado por Gonzáles et al. (2014) como modelo de propagação de ondas espectral não dispersivo, sendo ideal para águas rasas pois é capaz de resolver os processos de refração, difração, empinamento e arrebentação de ondas.

O modelo COPLA (Modelos de Correntes Geradas pela Arrebentação das Ondas em Praias) foi utilizado para o cálculo de correntes costeiras originadas pelas ondas.

Após o cálculo do modelo espectral de ondas foi calculado o transporte litorâneo. Foram desenhados 14 perfis de praia de forma perpendicular à costa para o cálculo de arrebentação para cada perfil, possibilitando o cálculo de transporte de sedimentos para a área de estudo (Figura 10). Este cálculo foi realizado utilizando a fórmula de Bayram et al.(2007):

$$Q_{long} = \frac{1}{2} \rho_w (1 - \alpha) \int_{-\infty}^{\infty} H^2 \omega^2 d\omega$$
 Onde:

Q_{long} - Taxa de transporte longitudinal.

α - Coeficiente adimensional que representa a eficiência das ondas em manter o sedimento em suspensão.

ρ_w - Densidade da areia.

ρ_w - Densidade da água.

α - Índice de porosidade.

10.1- Força gravitacional.

10.2- Velocidade de queda do grão.

10.3- Fluxo de energia de onda.

10.4 – Velocidade longitudinal média na zona de surf

Figura 10.1- Perfis para cálculos de arrebatção de ondas posicionados perpendicularmente à costa (em detalhe preto). Imagem SMC- Brasil.

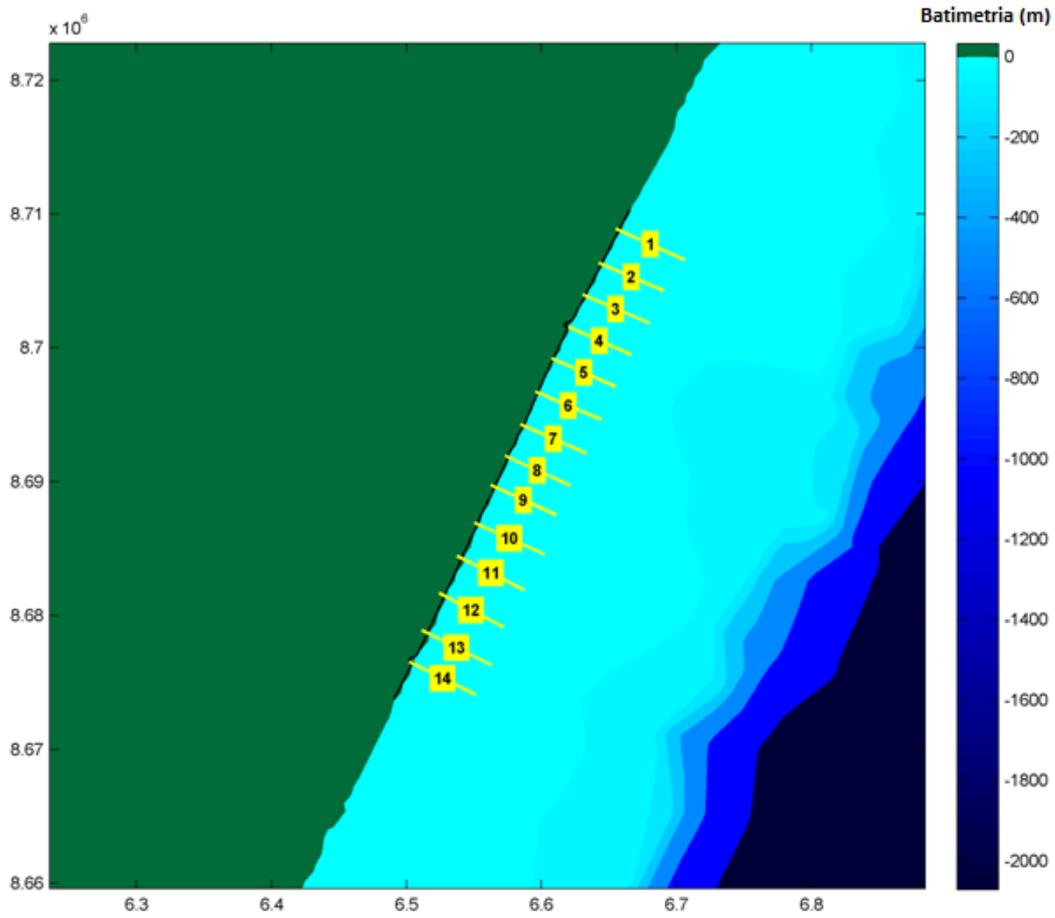


Figura 10.2- Marcação de perfis para cálculos de arrebentação de ondas posicionados perpendicularmente à costa. Imagem Google *Earth Pro*.



As localizações dos 14 perfis realizados bem como a direção de linha de costa em cada perfil são apresentadas na tabela 01.

Tabela 01- Coordenadas e angulação da linha de costa (θ) ao longo dos 14 perfis. Tabela modificada SMC- Brasil.

Perfil	X₀(m)	Y₀(m)	θ_{costa}(°)
01	665484,29	8708887,60	114,25
02	664241,55	8706356,10	113,40
03	663044,84	8703962,69	113,26
04	661986,22	8701569,27	114,23
05	660743,48	8699221,88	114,07
06	659546,77	8696736,41	113,20
07	658442,12	8694296,97	114,11
08	657291,44	8691949,58	114,78
09	656232,81	8689740,28	114,57
10	655036,11	8686932,62	114,48
11	653747,34	8684447,15	116,99
12	652412,56	8681685,51	118,10
13	651123,79	8678923,88	116,97
14	650203,25	8676530,47	116,57

6- Resultados e discussão

6.1- Resultados do Ponto DOW

De acordo com a análise feita no Ponto DOW foi possível descrever as ondas incidentes na área de estudo. As tabelas 02, 03 e 04 mostram que as

ondas mais prováveis de atingir a costa são de leste (E), leste-sudeste (E-SE), sudeste (SE) e sul-sudeste (SSE), indicadas nas rosas direcionais de propagação de ondas das figuras 11 e 12. Neste ponto vemos a limitação do SMC Brasil ao não relatar a incidência de ondas vindas do quadrante N-NE, as quais, segundo Bittencourt et al. (2000), são presentes o ano todo, sendo mais efetivas no período entre setembro e fevereiro.

Tabela 02- Caracterização do clima de ondas identificado pelo Ponto DOW. Variável- Altura de onda. Imagem modificada SMC- Brasil.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS

Variável medida:Hs

direções(Nº)	prob.direção	Hs _{30%}	Hs _{50%}	Hs _{90%}	Hs ₁₂
E	0.0162	1.3799	1.7457	2.1122	2.3207
ESE	0.5803	1.5530	2.0648	2.5747	2.9205
SE	0.3889	1.6058	2.1384	2.6399	2.9373
SSE	0.0146	1.6118	2.0481	2.5234	2.7952

Tabela 03- Caracterização do clima de ondas identificado pelo Ponto DOW. Variável- Período de onda. Imagem modificada SMC- Brasil.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS

Variável medida:Tp

direções(Nº)	prob.direção	TP _{30%}	TP _{50%}	TP _{90%}	TP ₁₂
E	0.0162	7.4728	8.8951	9.7635	10.7790
ESE	0.5803	7.2052	8.7885	10.3032	11.8604
SE	0.3889	6.7085	9.0337	12.1333	13.8168
SSE	0.0146	8.6418	11.8049	14.2301	14.8893

Tabela 04- Sentidos de propagações e percentual de ocorrência de ondas no ponto DOW. Imagem modificada SMC-Brasil.

Setor	%

E	1,62
ESE	58,03
SE	38,89
SSE	1,46

Figura 11- Rosas direcionais de propagação de onda indicados pelo ponto DOW. Variável- Altura de onda em metros. Imagem modificada SMC- Brasil.

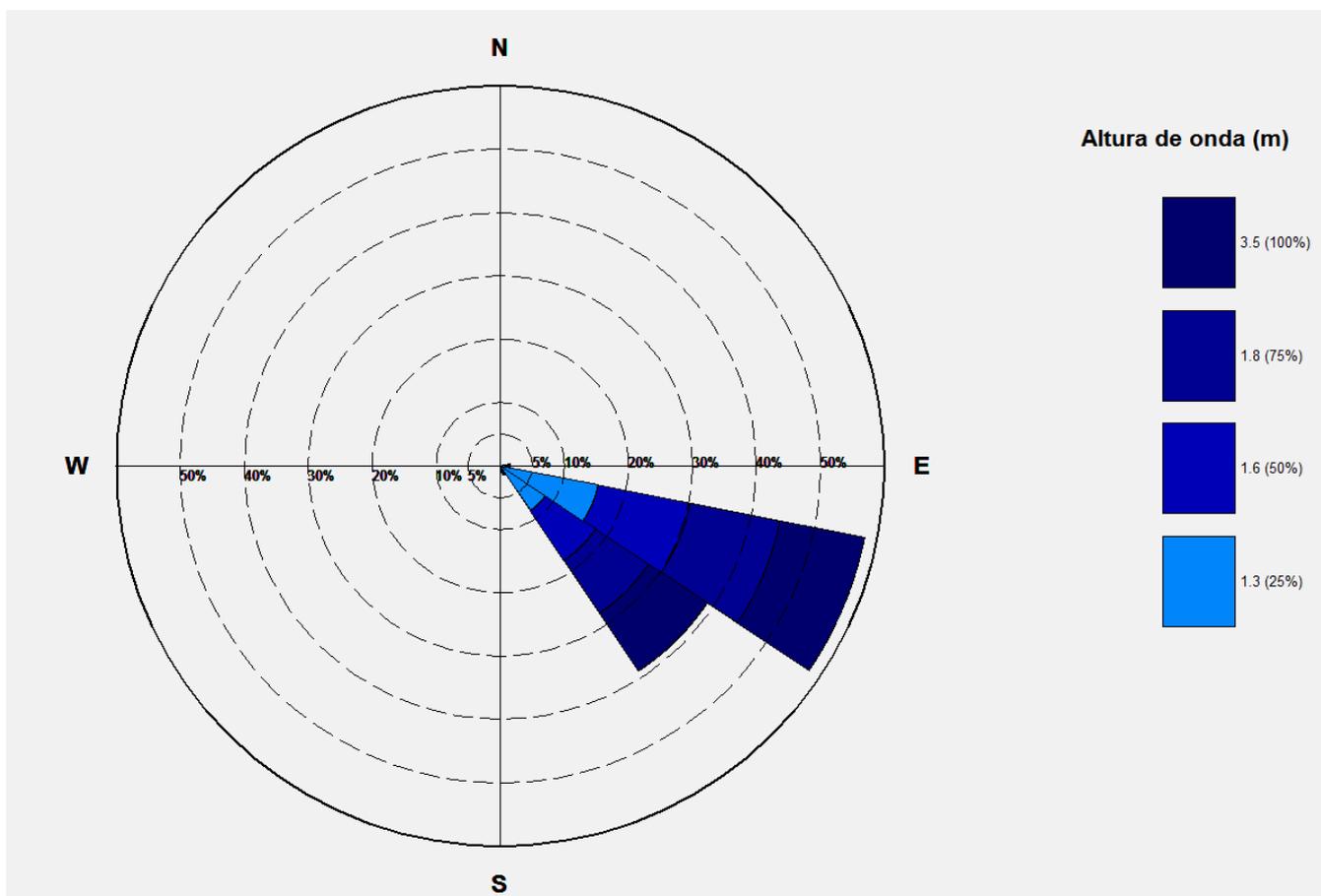
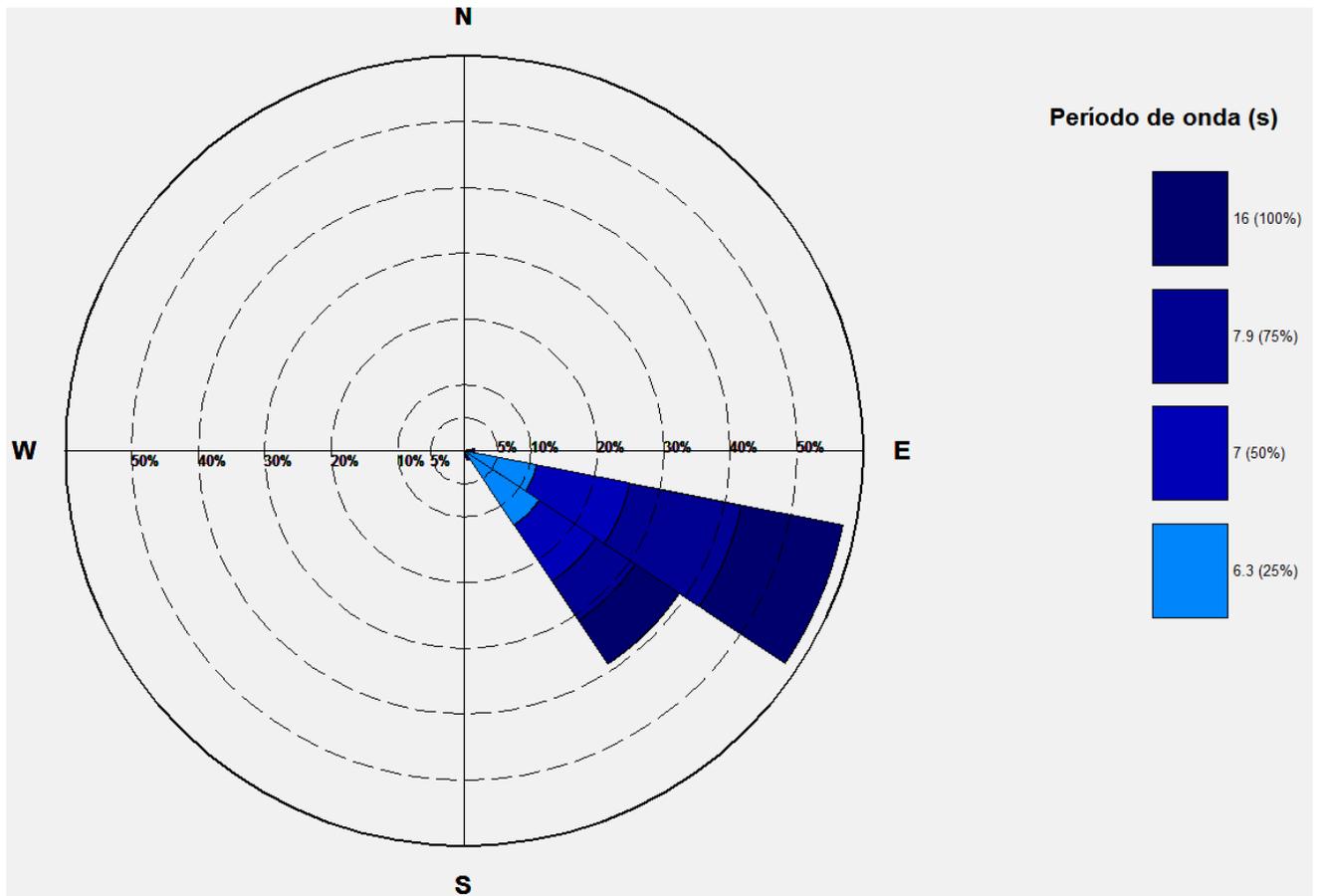


Figura 12- Rosas direcionais de propagação de onda indicados pelo ponto DOW. Variável- Período de onda em segundos. Imagem modificada SMC-Brasil.



6.2- Propagações de ondas

Para a apresentação dos resultados das propagações dos espectros de ondas na área de estudo foram selecionados casos representativos (Tabela 05) referentes às malhas de leste e sudeste.

Tabela 05- Casos de ondas representativas para área de estudo. Altura de onda (H_s) apresentada em metros, período de onda (T_p) em segundos e direções (Dir) em graus.

MOPLAS	$H_s(m)$	$T_p(s)$	$Dir(^{\circ})$
07	1,43	7,42	87,00
60	0,91	4,19	119,01
62	1,68	8,92	136,41
70	1,28	14,44	157,32
90	0,92	6,02	81,31

O caso 07 e o caso 62 foram escolhidos por apresentarem valores bem próximos das médias de altura de onda (H_s) e período de onda (T_p) vistas nas tabelas 02 e 03, formadas a partir do ponto DOW. O caso 60 indica ondas de direção entre as ondas de leste e sudeste, representando o caso mais

completo para explicar o comportamento das ondas de ESE ($119,01^\circ$). Além

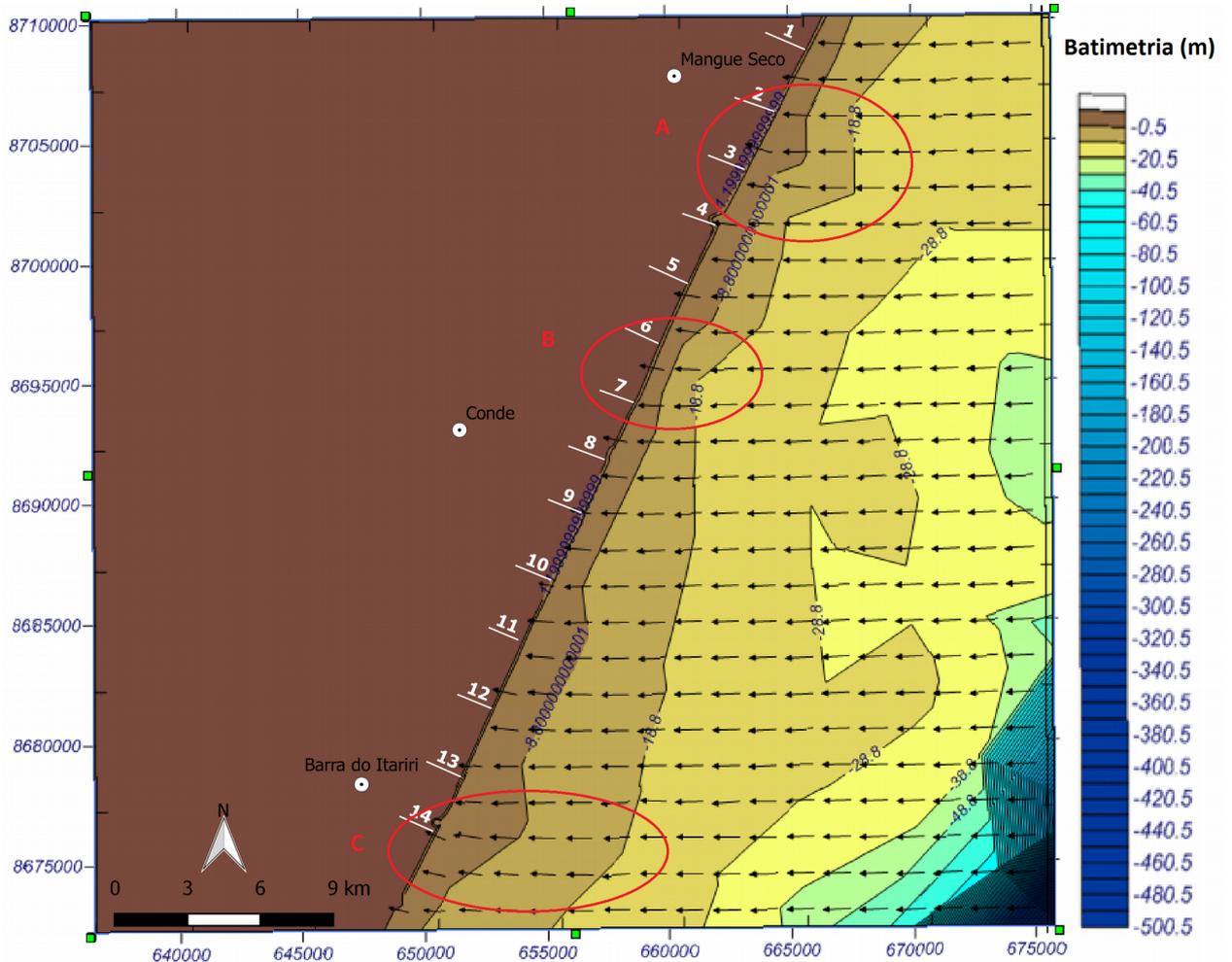
disso, o caso 70 foi selecionado por representar as ondas de direção mais a sul dentre os 100 casos propagados, fato constatado pelo valor de sua angulação ($157,32^\circ$) enquanto o caso 90 retrata as ondas de direção mais a nordeste identificadas pelo SMC-Brasil na área de estudo, com angulação de $81,31^\circ$.

A partir de cada um dos casos selecionados podem ser desenvolvidas diversas análises referentes à propagação dessas ondas de características tão diferentes.

A batimetria associada à propagação de ondas permite analisar aspectos que influenciam diretamente na morfologia e dinâmica costeira. O fenômeno da refração interfere na direção e velocidade de propagação do trem de ondas, alterando sua altura e angulação de incidência na costa, bem como, o transporte longitudinal de sedimentos na região.

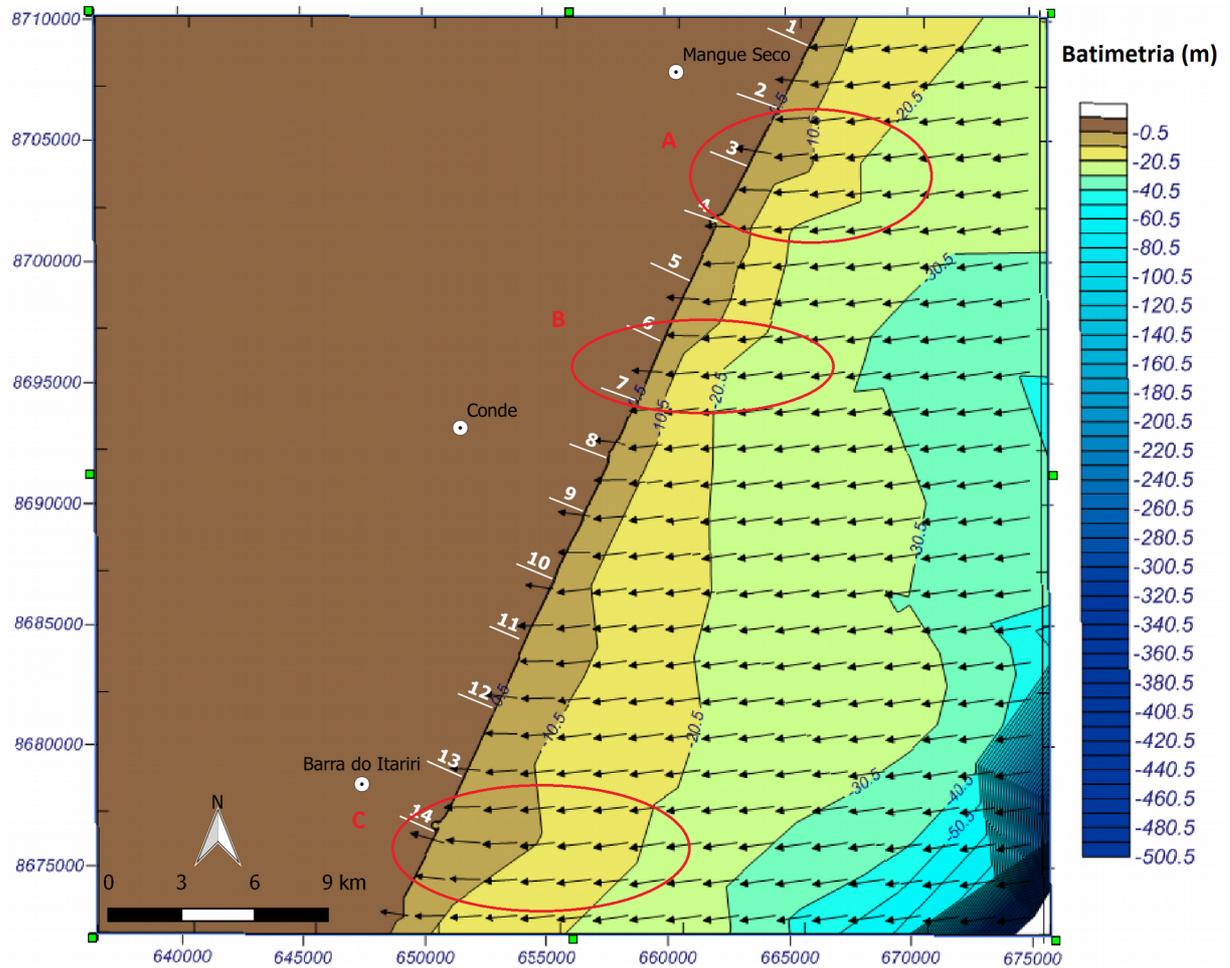
O caso 07 representado junto com as linhas batimétricas (Figura 13) apresenta a propagação de ondas de leste com altura média de 1,4 metros, período de 7,42 segundos e direção de 87° , quase o leste franco.

Figura 13- Propagação de ondas de leste (caso 07) associada à batimetria. Imagem modificada SMC- Brasil.



O caso 90 em conjunto às cotas batimétricas (Figura 14) representa a propagação das ondas mais próximas à direção nordeste identificadas pelo SMC- Brasil. Com altura média de 0,92 metros e período de 6,02 segundos, essas ondas se destacam pela sua direção (81,31°).

Figura 14- Propagação de ondas de “leste-nordeste” (caso 90) associada à batimetria. Imagem modificada SMC- Brasil.



Estas imagens de propagação de ondas de leste permitem analisar diferentes formações batimétricas que influenciam a ação de ondas na costa. A região “A”, indicada nas figuras 13 e 14, apresenta uma “crista batimétrica” que proporciona convergência de ondas, além de aumento de altura de ondas incidentes na costa próximas aos perfis 03 e 04, nas imediações da foz do rio Itapicuru e localidade de Siribinha. O mesmo ocorre na região “C” associada à outra crista batimétrica, afetando as ondas que alcançam a linha de costa próxima ao perfil 14, região da foz do rio Itariri.

Na região “B”, ocorre uma “cava batimétrica” que é responsável pela divergência de ondas refratadas e proporciona diminuição das alturas de ondas incidentes na costa próximas aos perfis 06 e 07, imediações de Poças.

O caso 62 associado à batimetria (Figura 15) caracteriza ondas de sudeste através da sua angulação ($136,41^\circ$), próxima ao sudeste franco, com altura de onda de 1,68 metros e período de 8,92 segundos. A mesma situação é vista no caso 70 com cotas batimétricas (Figura 16), onde são observadas as ondas de direção mais a sul, identificadas pelo programa, com angulação de $157,32^\circ$, altura de onda média de 1,28 metros e período de 14,44 segundos, representando as ondas de SSE.

Figura 15- Propagação de ondas de sudeste (caso 62) associada à batimetria. Imagem modificada SMC- Brasil.

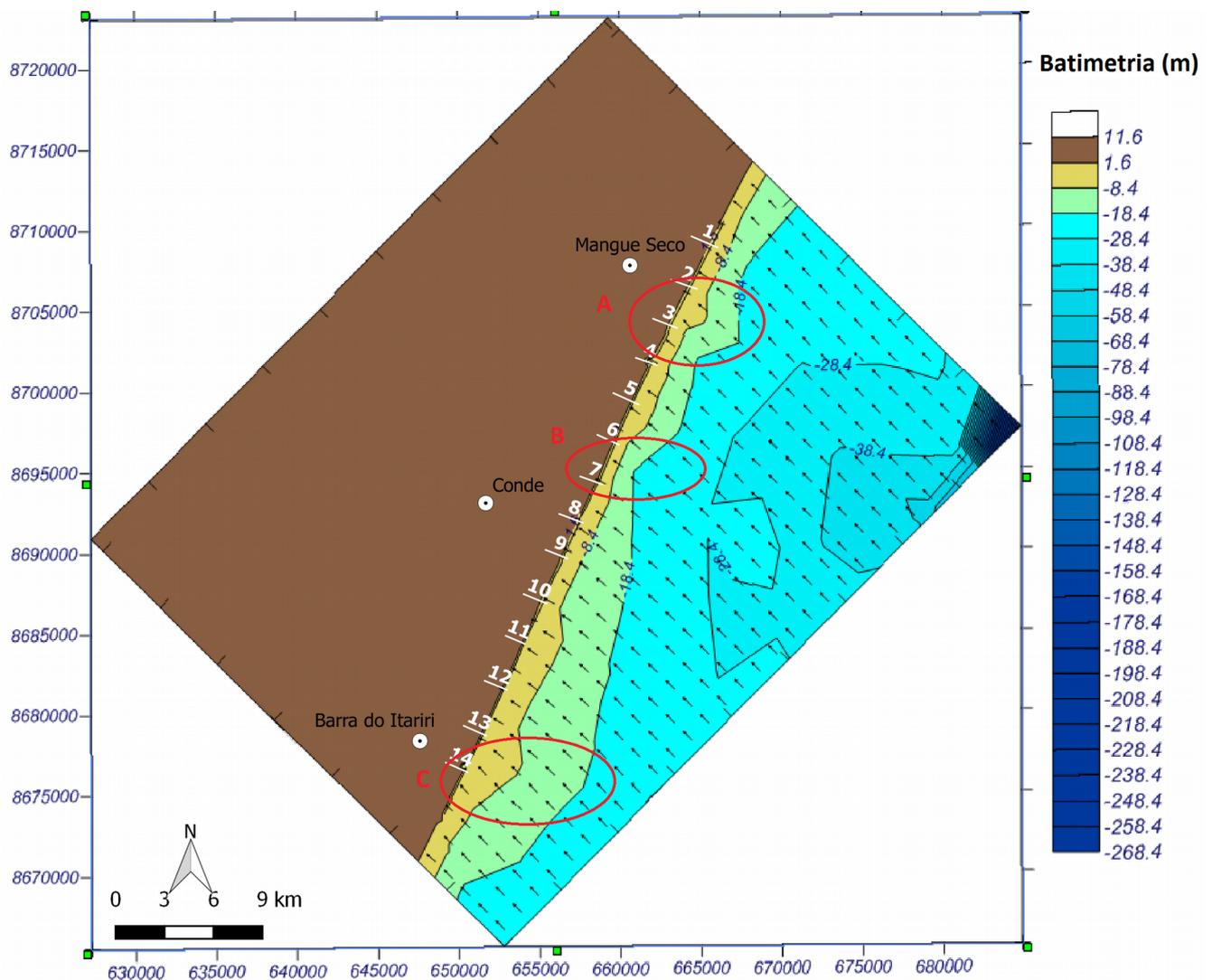
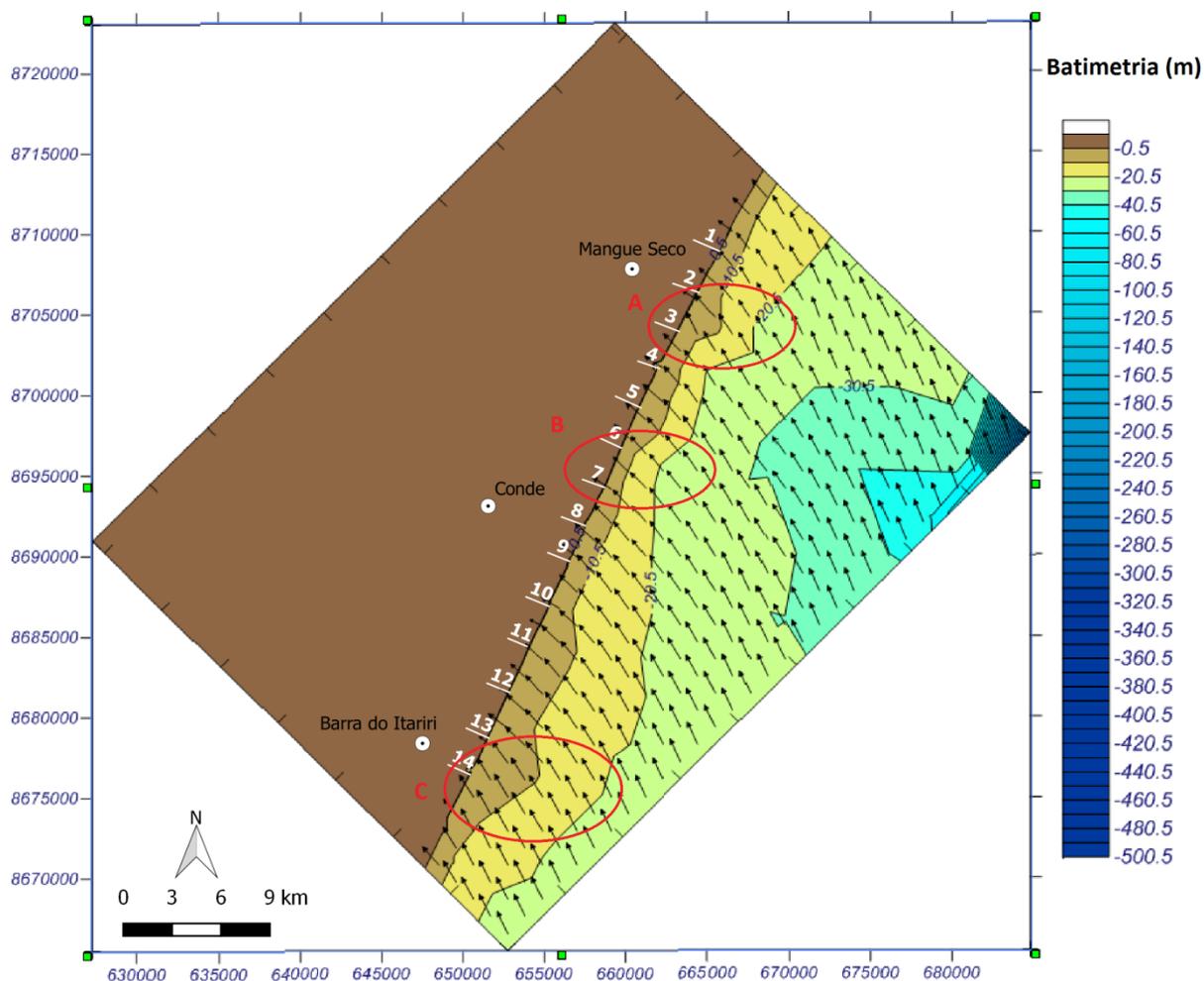


Figura 16- Propagação de ondas de sul-sudeste (caso 70) associada à batimetria. Imagem modificada SMC- Brasil.



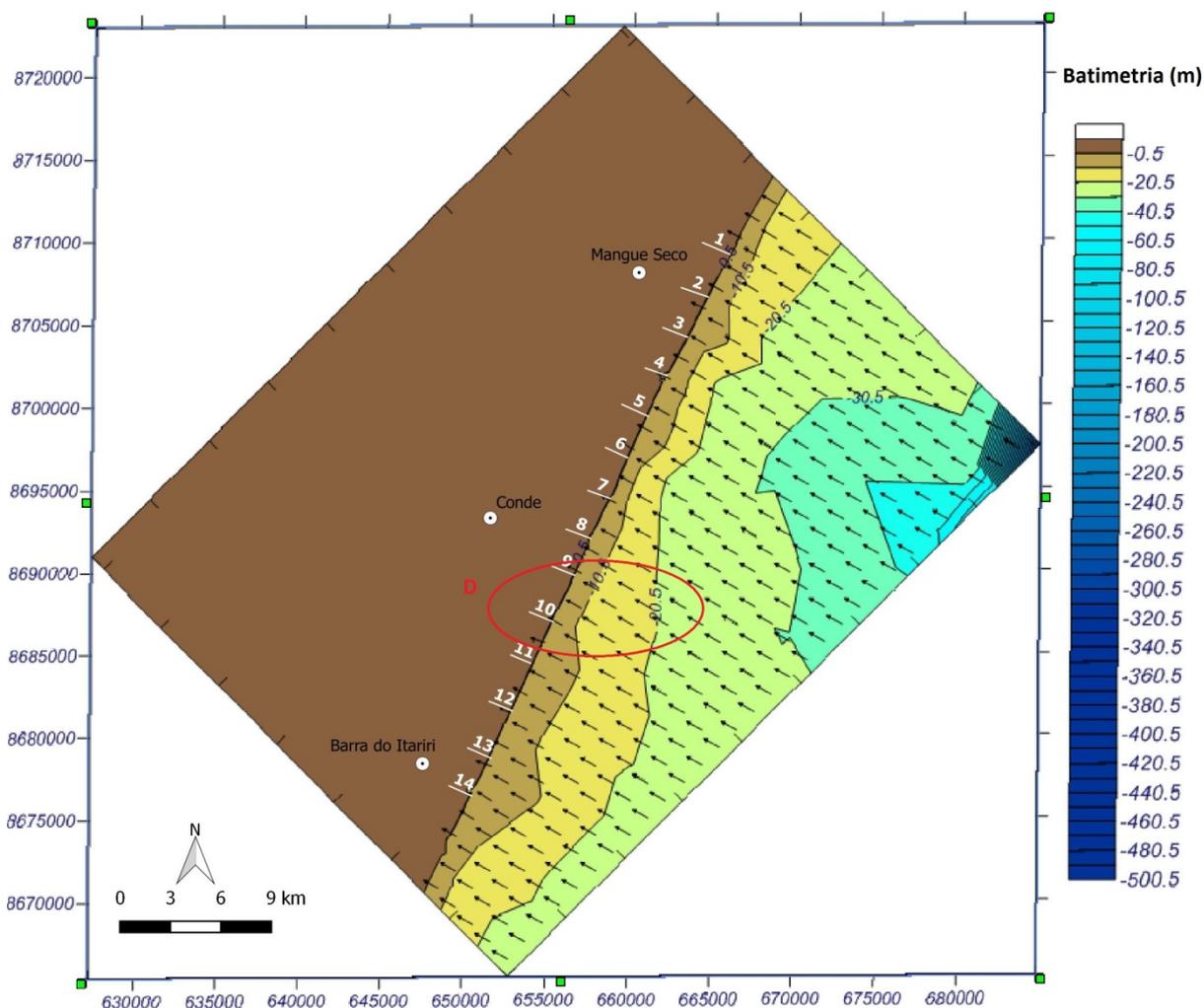
O fenômeno da refração se torna mais evidente com as ondas provenientes de SSE talvez pelo seu ângulo de incidência associado à sua altura de onda (1,28 metros). Nas regiões “A e C” das figuras 15 e 16 é observada a convergência de ondas, devido à crista presente na batimetria, resultando no aumento de altura de ondas incidentes na costa na região. A região “B”, marcada pela cava batimétrica demonstra a divergência de ondas que tem como consequência diminuição da altura de onda.

A figura 17 representa a propagação e refração de ondas de ESE através do caso 60, com altura e período de onda de 0,91 metros e 4,19

segundos, respectivamente, além de angulação de incidência de $119,01^{\circ}$. A

região “D”, destacada em vermelho na figura 17, evidencia uma cava batimétrica, essa formação promove a divergência e diminuição da altura de ondas incidentes na costa.

Figura 17 - Propagação de ondas de leste-sudeste (caso 60) associada à batimetria. Imagem modificada SMC- Brasil.

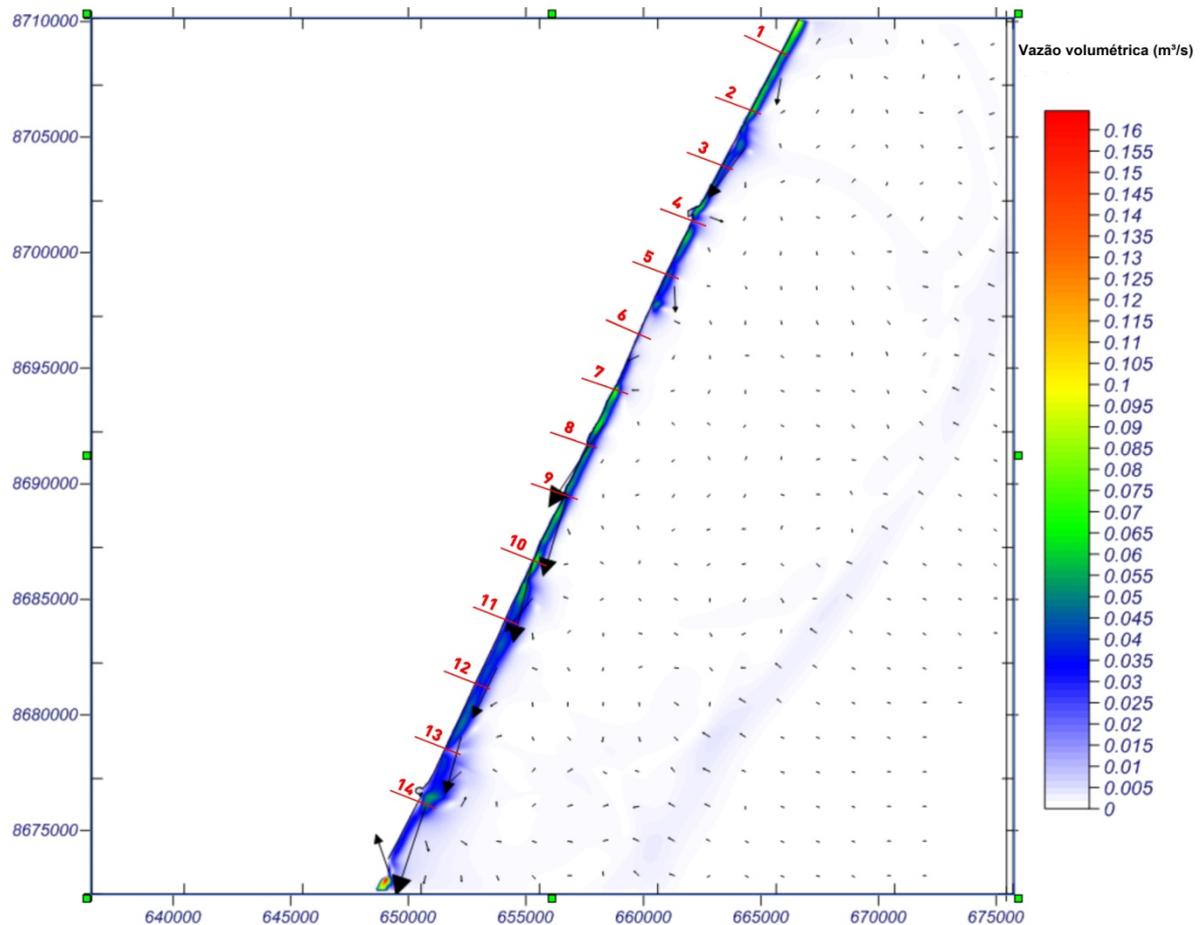


6.3- Correntes geradas por ondas

A dispersão longitudinal de sedimentos é resultante da angulação aguda formada entre a direção de propagação das ondas e a linha de costa, este processo gera uma corrente que se desloca paralelamente à linha de costa. Os casos selecionados permitem analisar a formação dessas correntes para

determinadas direções, alturas e períodos de onda, sendo os casos mais representativos para área de estudo.

Figura 18- Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de leste (caso 07). Imagem modificada SMC- Brasil.



A ação conjunta da angulação da linha de costa e da incidência das ondas de leste permite a formação de correntes de sentido SW que resultarão no sentido de deriva litorânea gerada por essas ondas. Devido à orientação do sentido de corrente, a análise será feita da região de Mangue Seco para Barra do Itariri (Figura 18).

A figura 18 apresenta algumas regiões que devem ser destacadas para análises posteriores. Os perfis 01, 02 e 04, este último próximo à foz do rio Itapicuru, apresentam intensificação da vazão volumétrica no sentido SW. O

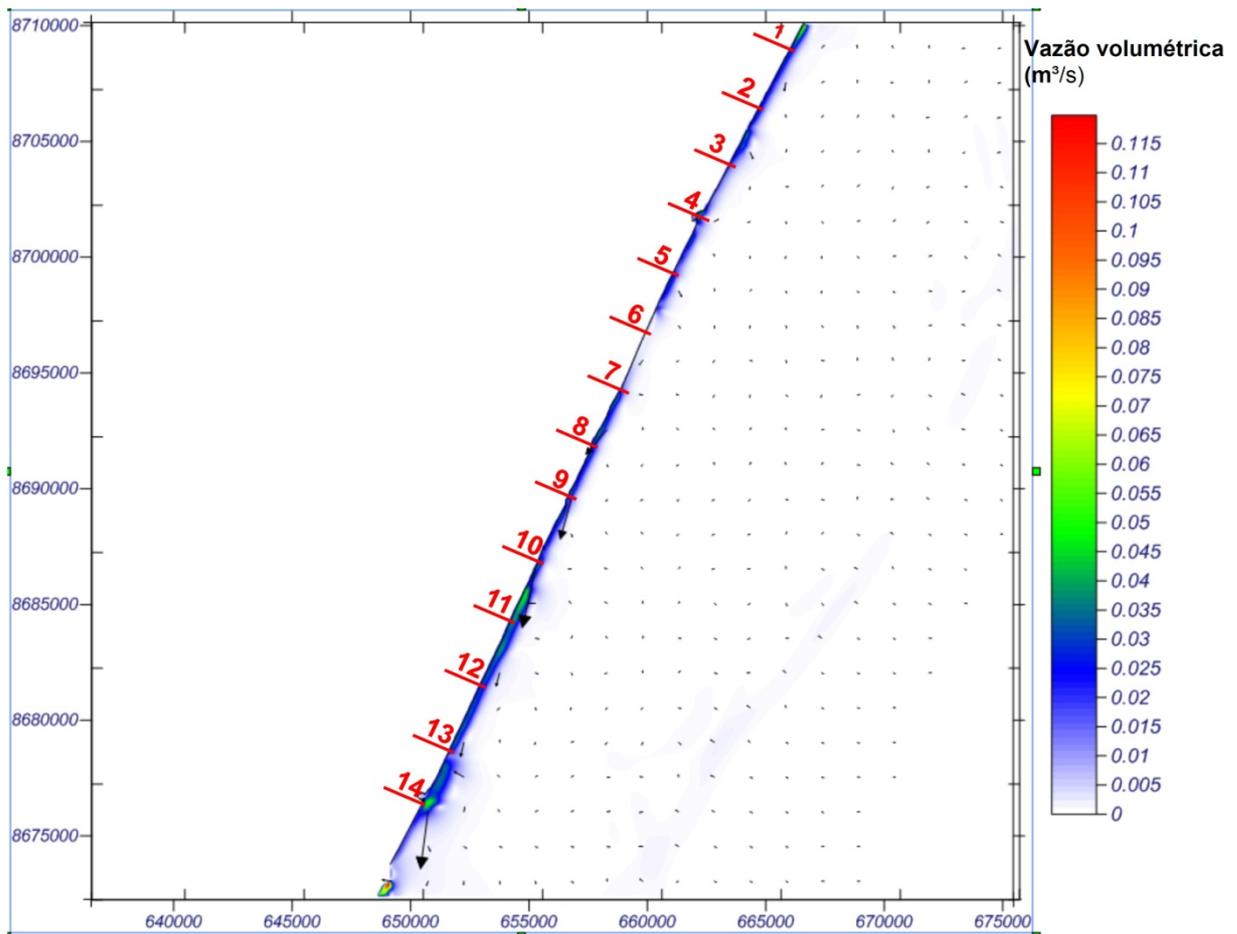
perfil 06, marcado pela região de menor angulação da linha de costa (113,20°)

e pela cava batimétrica, diverge ondas do caso 07, minimizando a intensidade de geração de correntes nestas imediações. Porém, no perfil 07 existe

aumento da angulação da linha de costa (114,11°) e menor influência da cava

batimétrica, intensificando a vazão volumétrica das correntes geradas por ondas de E até imediações do perfil 11.

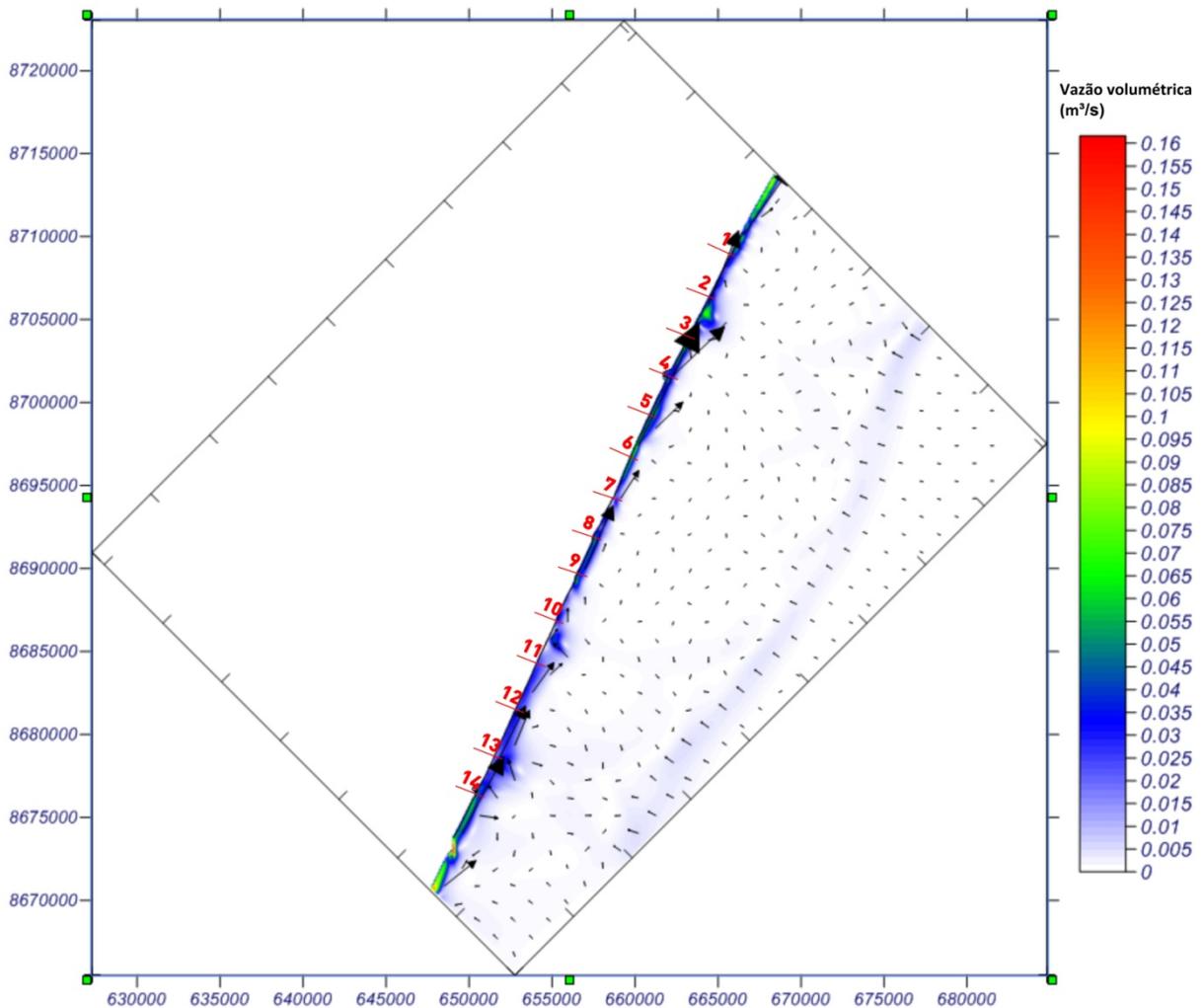
Figura 19- Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de leste-nordeste (caso 90). Imagem modificada SMC- Brasil.



As ondas de “ENE” geram corrente de sentido SW (Figura 19). Devido à orientação do sentido de corrente, a análise será feita da região de Mangue Seco para Barra do Itariri.

De maneira geral, as ondas “ENE” geram correntes de valores baixos por toda a costa, sendo contínua entre os perfis de 01 a 05. No perfil 06, devido à baixa angulação da costa e a cava batimétrica, essas ondas não conseguem gerar correntes, assim como as ondas do caso 07. A continuidade da vazão volumétrica reinicia no perfil 07, apresenta um aumento entre os perfis 10 e 11 e retorna a valores médios até o perfil 14, onde é intensificada novamente.

Figura 20- Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de sudeste (caso 62). Imagem modificada SMC- Brasil.



A angulação de incidência das ondas de SE (caso 62), na linha de costa, promove um sentido de corrente NE quase que contínuo ao longo da área de estudo (Figura 20). Devido ao sentido de propagação da corrente é feita análise de Barra do Itariri para Mangue Seco.

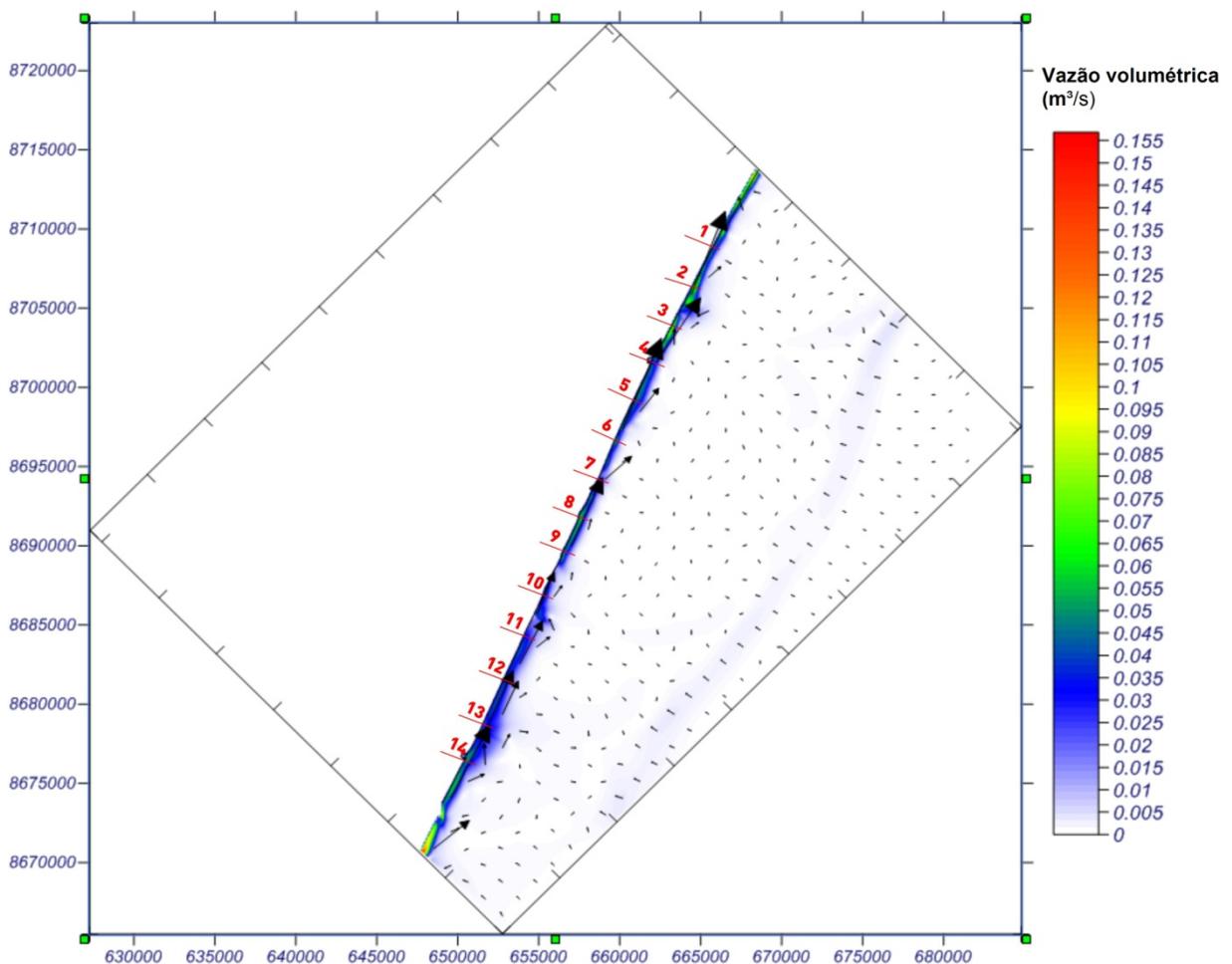
Os valores de vazão volumétrica ganham força nos perfis 14, nas imediações de Barra do Itariri, seguindo valores médios até o perfil 10, região de Sítio do Conde, onde apresenta números baixos. A partir do perfil 09 são encontrados valores médios que se intensificam no perfil 06 pela mudança na

inclinação da linha de costa ($113,20^{\circ}$), fator que também é observado nas

imediações do perfil 03 (113,26⁰). O aumento da vazão volumétrica no perfil 06

indica que a cava batimétrica presente na região age pouco sobre essa direção e altura de onda.

Figura 21- Intensidade e sentido das correntes geradas pelo caso 70. Imagem modificada SMC- Brasil.

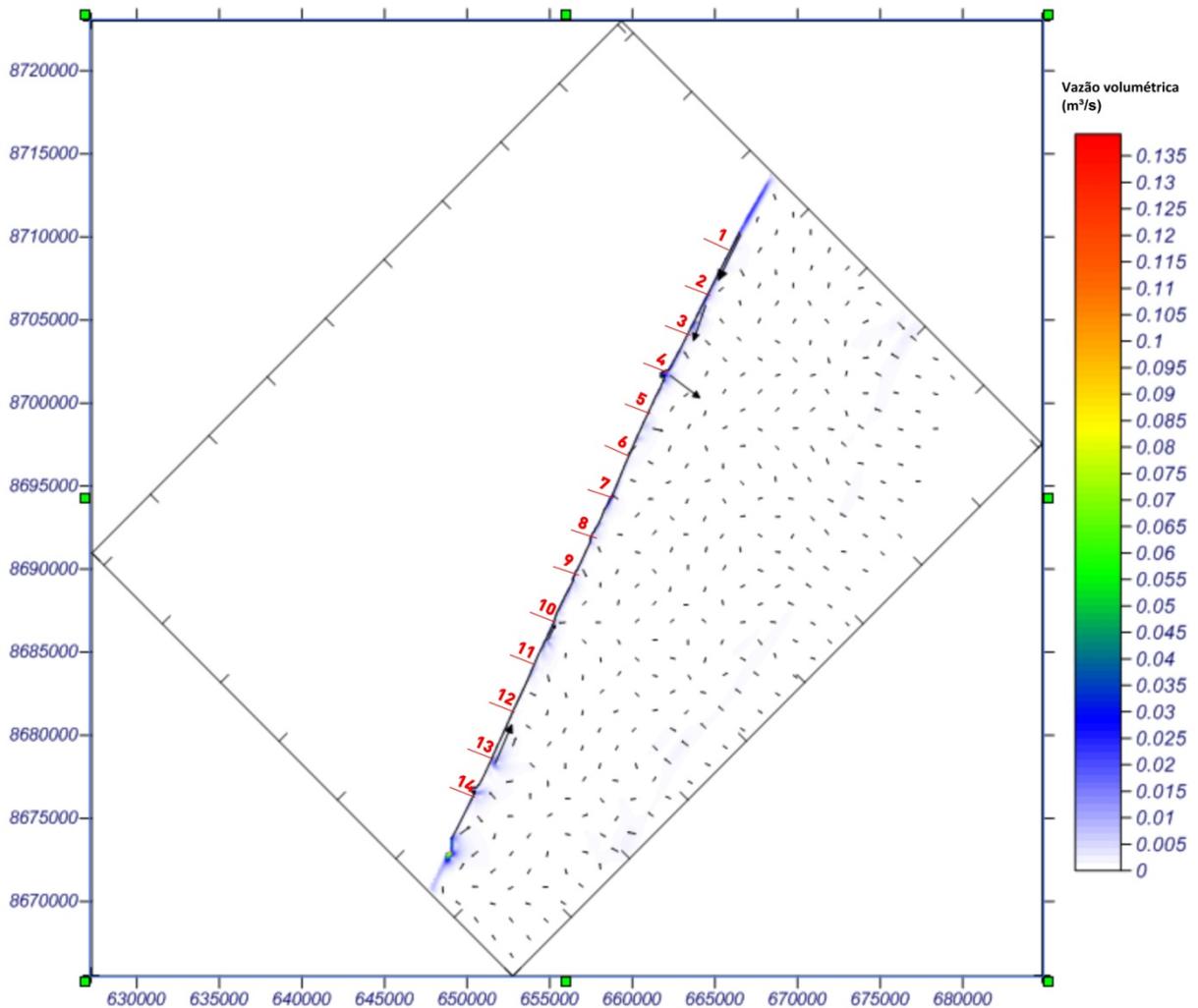


As ondas de SSE (caso 70), as quais incidem na costa formando corrente de sentido NE (Figura 21), favorecendo uma análise de Barra do Itariri para Mangue Seco.

Na foz do rio Itariri, perfil 14, os valores de vazão volumétrica são intensificados e a partir desse perfil são encontrados valores médios até a região de Sítio do Conde, perfil 10, onde os valores diminuem e vão próximos à

zero, retornando a números médios do perfil 09 ao 04, região da foz do rio Itapicuru. Do perfil 04 ao 02, os valores voltam a ser intensificados.

Figura 22- Intensidade e sentido das correntes geradas pelas ondas de leste-sudeste (caso 60). Imagem modificada SMC- Brasil.



As ondas de ESSE (caso 60) promovem preferencialmente corrente de sentido SW, porém estão sujeitas à alternância de sentido de acordo com a orientação e angulação de incidência da linha de costa, fatores essenciais para a ação nula dessas ondas na formação de correntes em grande parte da área de estudo (Figura 22).

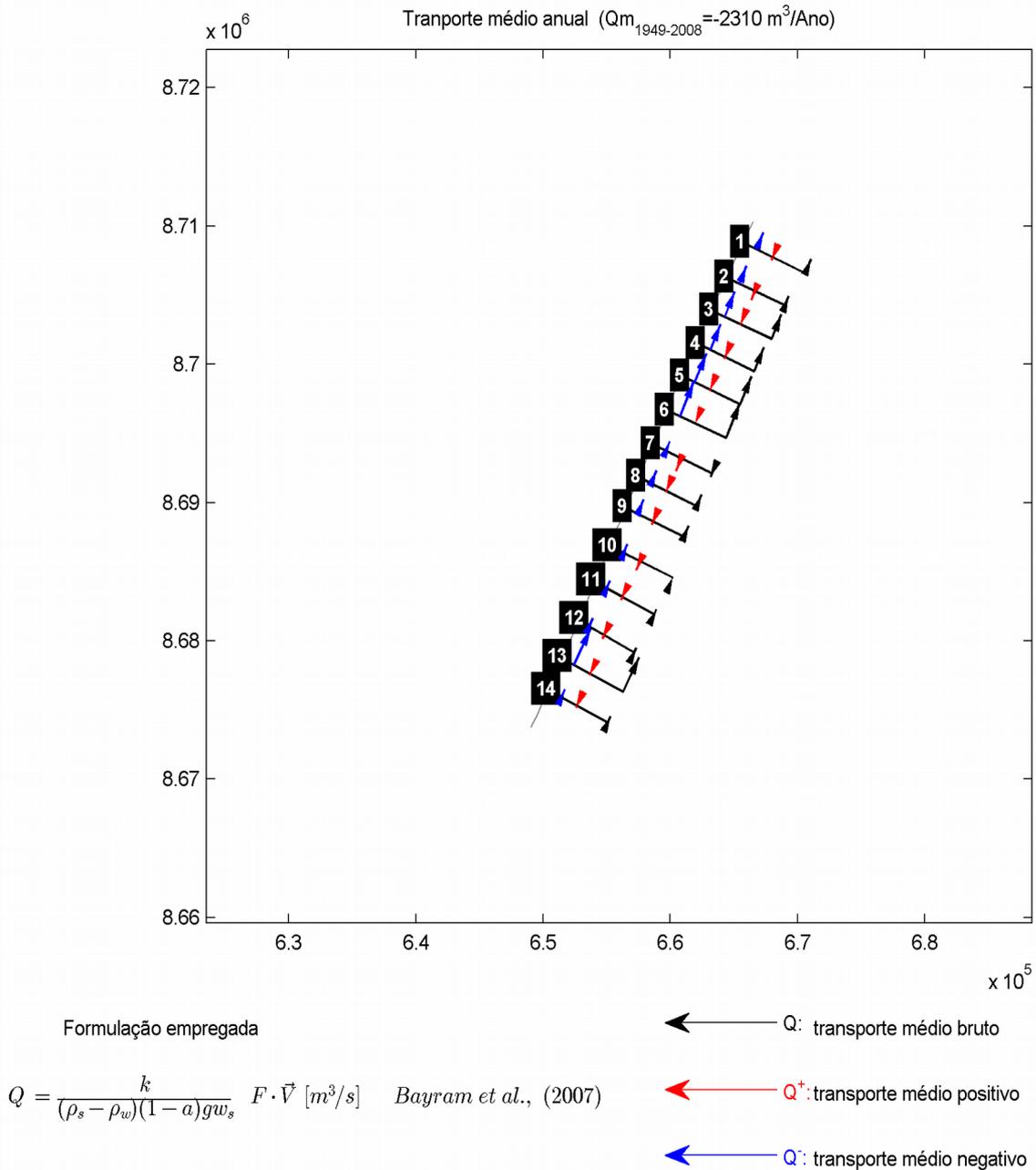
Valores médios de vazão volumétrica são observados do perfil 01 ao 04, porém a partir da foz do rio Itapicuru, para sul, pouca intensidade é observada para as correntes geradas. Este comportamento das ondas ESE é determinante para o predomínio do transporte NE na região.

6.4- Resultados da deriva Litorânea

6.4.1- Transporte sedimentar médio anual

A deriva efetiva média anual está orientada predominantemente para NE com exceção do trecho entre os perfis 06 e 07 como visto na figura 23.

Figura 23- Transporte médio anual sedimentar desde 1948 a 2008. Setas azuis indicam transporte para NE (negativo), setas vermelhas indicam transporte para SW (positivo) e setas pretas indicam o transporte efetivo. Imagem SMC- Brasil.



Esta dispersão sedimentar no trecho de Mangue Seco à Barra do Itariri também pode ser observada numericamente ao longo dos 14 perfis através da tabela 06.

Tabela 06 - Análise numérica de dispersão sedimentar, nos 14 perfis, para transporte médio anual entre 1948 e 2008. Q^+ indica transporte para SW, Q^- evidencia transporte para NE e Q significa transporte efetivo.

Perfil	$Q (m^3)$	$Q^+(m^3)$	$Q^-(m^3)$
1	-2229.64	426.41	-2656.05
2	-1397.33	1387.81	-2785.14
3	-3820.01	126.29	-3946.30
4	-3780.09	243.58	-4023.66
5	-4411.96	145.88	-4557.84
6	-5572.90	1.93	-5574.83
7	544.59	1993.12	-1448.53
8	-1826.68	195.40	-2022.07
9	-1739.73	492.72	-2232.45
10	-23.99	1369.20	-1393.19
11	-750.48	438.04	-1188.52
12	-747.66	536.50	-1284.16
13	-5598.18	196.43	-5794.61
14	-981.72	277.40	-1259.12
Média	-2309.70	559.34	-2869.03

Como visto anteriormente esta é uma região dominada por ondas de ESE e SE, o que se reflete em um transporte resultante predominantemente para NE na região.

Uma breve análise numérica da dispersão sedimentar permite avaliar locais de deposição ou remoção de sedimentos de acordo com o transporte médio bruto anual. Levando em conta o sentido NE de transporte

preponderante, a análise é feita das imediações de Barra do Itariri para Mangue Seco.

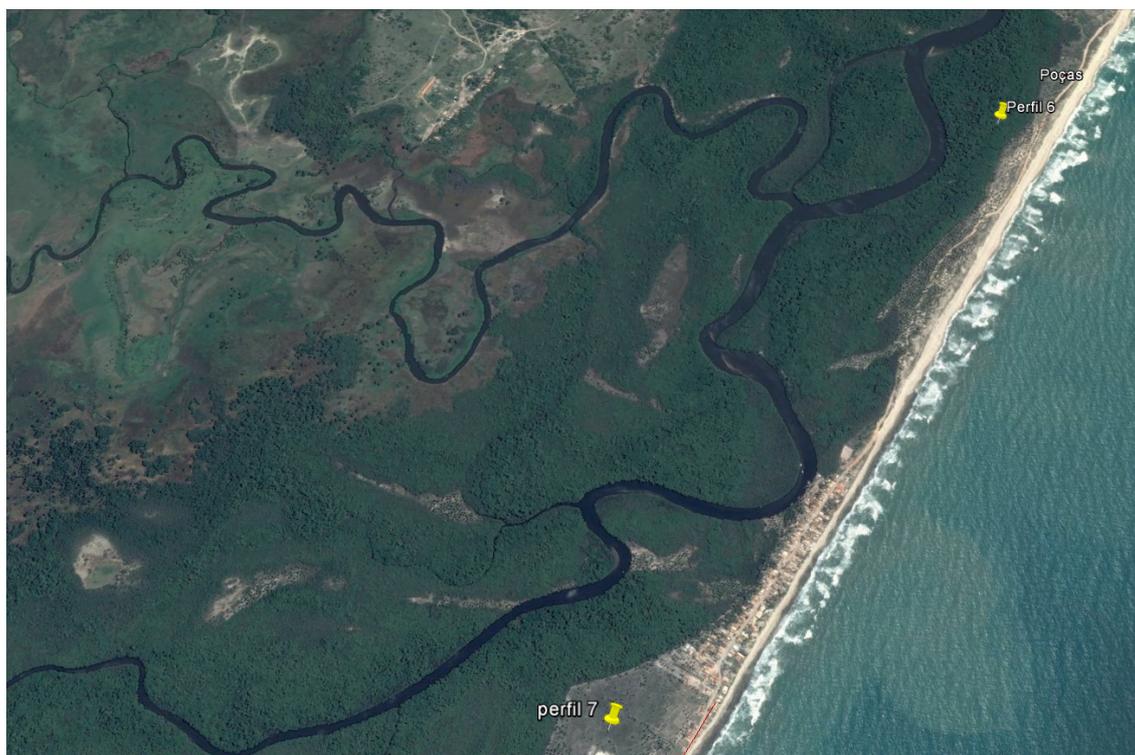
O perfil 14 apresenta um transporte de 981,72 m³ de sedimento, número que é aumentado para 5598,18 m³ no perfil 13, indicando retirada de sedimentos da região. Do perfil 13, maior transporte de sedimentos da região devido à angulação da costa, para o perfil 12, existe uma deposição considerável de 4850,52 m³ de sedimentos. Do perfil 12 para o perfil 11 são retirados 2,82 m³, valores baixos. 726,46 m³ de sedimentos são depositados do perfil 11 para o 10.

Do perfil 10 para o 09 são retirados 1715,74 m³ de sedimentos. Essa retirada persiste do perfil 09 para o 08 (86,95 m³).

Do perfil 08 para o 07 existe uma preponderância à deposição sedimentar (2371,27 m³) pelo transporte sentido NE do perfil 08 convergir com o transporte sentido SW presente no perfil 07.

Do perfil 07 para o perfil 06, região de Poças, é observado um ponto nodal na deriva litorânea local, gerando uma divergência do transporte longitudinal de sedimentos, processo que conduz à retirada de sedimentos desse trecho costeiro causando um déficit sedimentar, fato que pode explicar essa ser a região mais estreita do pontal (Figura 24), evidenciando a proximidade da faixa de areia com o meandro formado pelo curso do rio Itapicuru, podendo vir a ser uma zona de vulnerabilidade à ação erosiva.

Figura 24 – Estreitamento da linha de costa nas imediações da localidade de Poças, perfis 06 e 07. Imagem Google Earth Pro.



Do perfil 06 ao 04 é observada uma gradual deposição sedimentar que chega aos números de 1792,81 m³. Do perfil 04 para o 03 existe uma leve retirada de 39,92 m³, voltando à deposição em direção ao perfil 02 de 2422,68 m³. Por fim, do perfil 2 ao 1 existe uma retirada de 832,31 m³.

A remoção aliada a poucas fontes de reposição de sedimentos tornam estas áreas, associadas aos perfis, vulneráveis à erosão. Processo diferente do encontrado em perfis que houveram deposição sedimentar, os quais podem vir a alongar o pontal.

A predominância do transporte para NE na área de estudo se deve às ondas de SE e SSE, as quais, segundo Netto (2002) são responsáveis pelo transporte de sedimentos neste sentido, sendo mais significativo na região do rio Itariri pelo fato de existir uma deflexão para norte na direção do litoral, fato que pode ser observado pela orientação da linha de costa através dos perfis 11, 12, 13 e 14 na tabela 01. O transporte nesse sentido também é muito elevado entre os perfis 06 e 03 (Tabela 06), ao norte da foz do rio Itapicuru. Essa condição de dominância de transporte sentido NE, deposição sedimentar

e intensificação da deriva, à medida que nos distanciamos do perfil 06, evidencia um possível aumento da taxa de migração da foz do rio Itapicuru, porém em um ritmo lento devido a gradativa diminuição de transporte sedimentar do perfil 06 ao 02.

Mesmo apresentando a segunda maior incidência ao longo dos anos, ondas de SE destacam-se no transporte NE pelo comportamento existente nas ondas ESE.

As ondas de ESE são as mais incidentes anualmente na área de estudo e apresentam deriva predominantemente com sentido SW, estando sujeitas a alternância de sentido. Através da análise de corrente, vista anteriormente, a inclinação da costa e angulação de incidência faz com que boa parte das ondas ESE não produza deriva litorânea, sendo que algumas de variação angular conseguem propor um transporte mais significativo sentido SW, afirmando a importância da atuação de ondas de SE e SSE para os valores brutos de deriva efetiva.

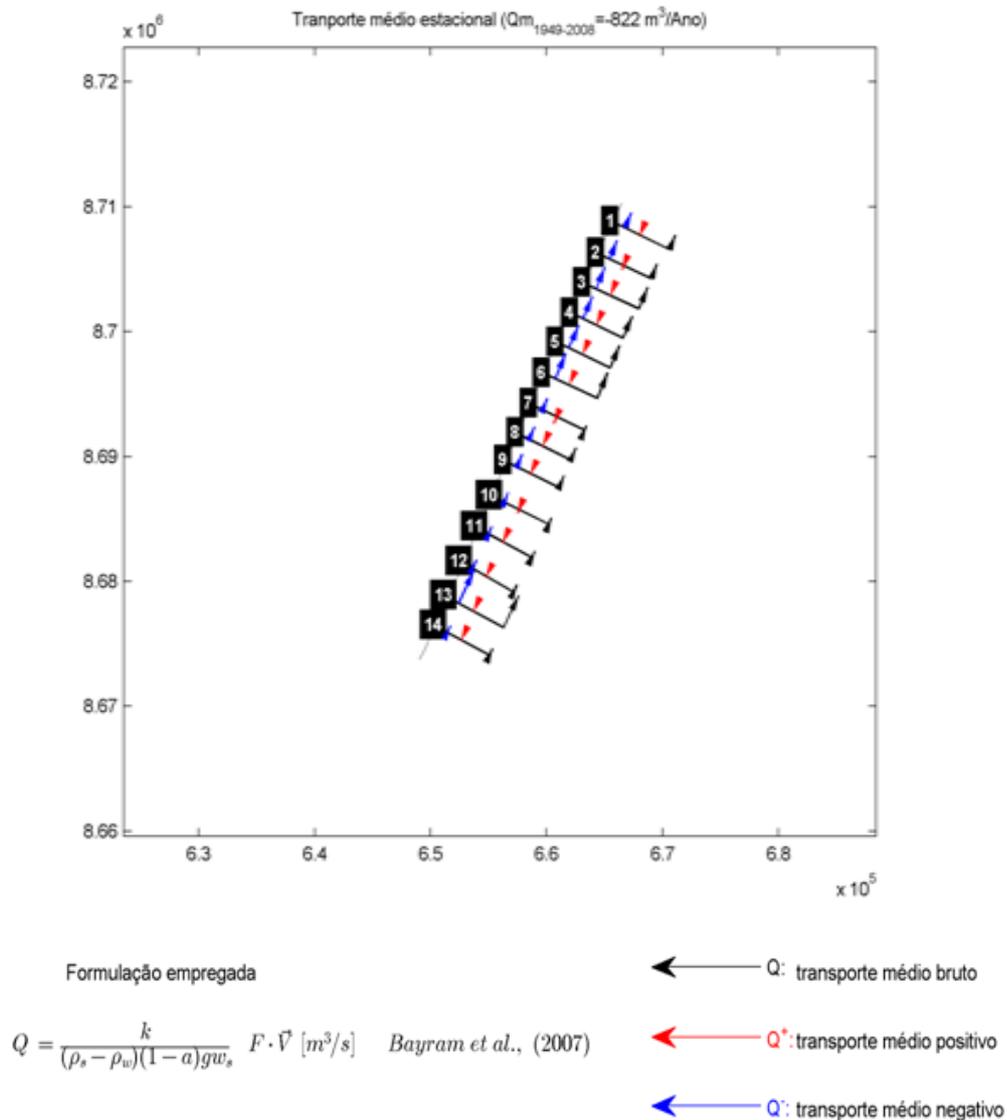
Entre os perfis 06 e 07, segundo o transporte médio anual de sedimentos, é observada uma inversão de sentido de deriva litorânea para SW no perfil 07, fato explicado pelo comportamento de cada onda incidente na área. A cava batimétrica (região "B" das figuras 13, 14, 15, 16 e 17) é responsável pela divergência de ondas de E e ENE (casos 07 e 90, respectivamente) no perfil 06, influenciando na angulação de incidência na costa para formação da deriva, fato constatado pela ausência de correntes para o perfil 06 nos respectivos casos. Além disso, nesta região as correntes geradas pelas ondas ESE são nulas, resultando em números mínimos (1,93 m³) de transporte sedimentar para SW para o perfil 06 na tabela 06. Dessa forma predominam as correntes provenientes das ondas de SE e SSE, gerando um transporte de sentido NE, no perfil 06. Porém, no perfil 07, as ondas de E e ENE mostram-se mais atuantes devido à angulação de incidência e da linha de costa, promovendo transporte sentido SW que superam o transporte NE por parte das ondas de SE e SSE. As ondas de ESE quase não geram correntes na região.

6.4.2- Transporte sedimentar médio sazonal

A sazonalidade evidenciada por Bittencourt et al. (2000), no que diz respeito à intensificação de ondas provenientes de E-SE no período de abril a agosto, bem como ondas do quadrante N-NE (presentes o ano todo) sendo mais efetivas entre setembro e fevereiro, pode ser observada nas figuras 25 e 26, acompanhadas das tabelas 07 e 08.

Figura 25- Transporte médio de sedimentos referente aos meses de março, abril e maio ao longo dos anos 1948 a 2008. Setas azuis indicam transporte para NE, setas vermelhas indicam transporte para SW e setas pretas indicam o transporte efetivo. Imagem SMC- Brasil.

Mapa do Transporte Médio Estacional de Sedimentos, Q_{MAM} (Março, Abril e Maio)



A dispersão sazonal sedimentar dos meses de março, abril e maio pode ser vista numericamente na tabela 07.

Tabela 07- Análise numérica de dispersão sedimentar, através dos 14 perfis, para os meses de

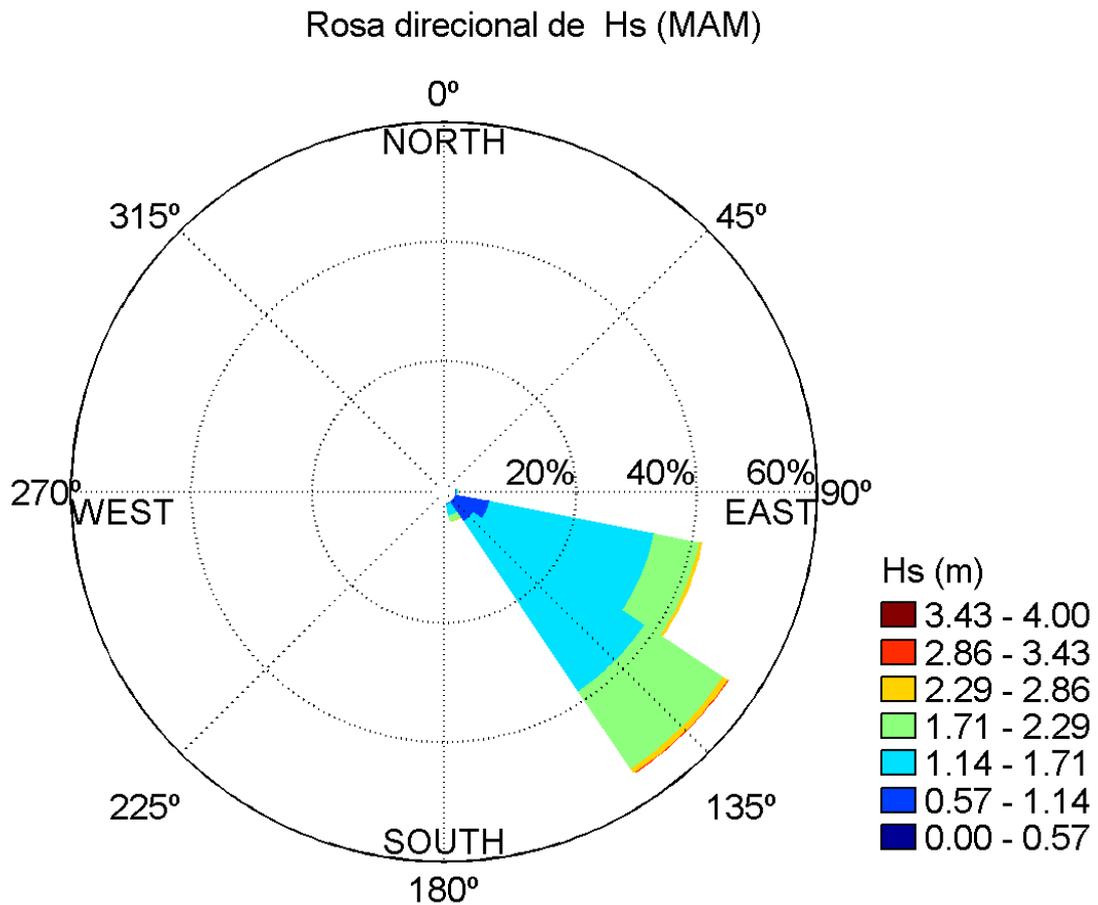
março, abril e maio de 1948 a 2008. Q^+ indica transporte para SW, Q^- evidencia transporte

para NE e Q significa transporte efetivo.

Perfil	$Q (m^3)$	$Q^+(m^3)$	$Q^-(m^3)$
1	-795.89	51.24	-847.12
2	-790.99	229.05	-1020.04
3	-1175.55	8.95	-1184.50
4	-1211.08	16.82	-1227.90
5	-1250.29	14.47	-1264.76
6	-1408.50	0.08	-1408.58
7	-239.16	382.65	-621.80
8	-674.42	13.57	-687.98
9	-652.69	52.78	-705.47
10	-349.21	187.80	-537.01
11	-357.41	51.52	-408.94
12	-413.78	61.29	-475.07
13	-1822.03	17.04	-1839.07
14	-367.39	17.20	-384.58
Média	-822.03	78.89	-900.92

Através da figura 25 e tabela 07 percebe-se a predominância do transporte para NE. Os meses de março, abril e maio indicam aumento da incidência de ondas de SE e SSE nesta área do litoral norte (Figura 26).

Figura 26- Rosas direcionais de direção e altura de propagação de ondas nos meses de março, abril e maio de 1948 a 2008. Imagem SMC- Brasil.



Este comportamento sazonal é responsável pela intensificação da deriva para NE, apresentando números de transporte efetivo em torno de 822 m³, fato comprovado pelo fim da divergência presente no ponto nodal entre os perfis 06 e 07, encontrada no valor de transporte médio anual. Em relação aos impactos desta movimentação sedimentar na costa, os perfis sazonais apresentam comportamento parecido com os perfis anuais, porém alguns setores sofreram modificações. Do perfil 12 para o 11 passou a existir deposição, do perfil 10 para o 09 houve um considerável aumento na retirada de sedimentos, o perfil 08 e 07 apresentava uma convergência de transportes resultando numa deposição, porém, a intensificação das ondas de SE e SSE gerando transporte para NE levou a inversão do sentido da deriva no perfil 07 e,

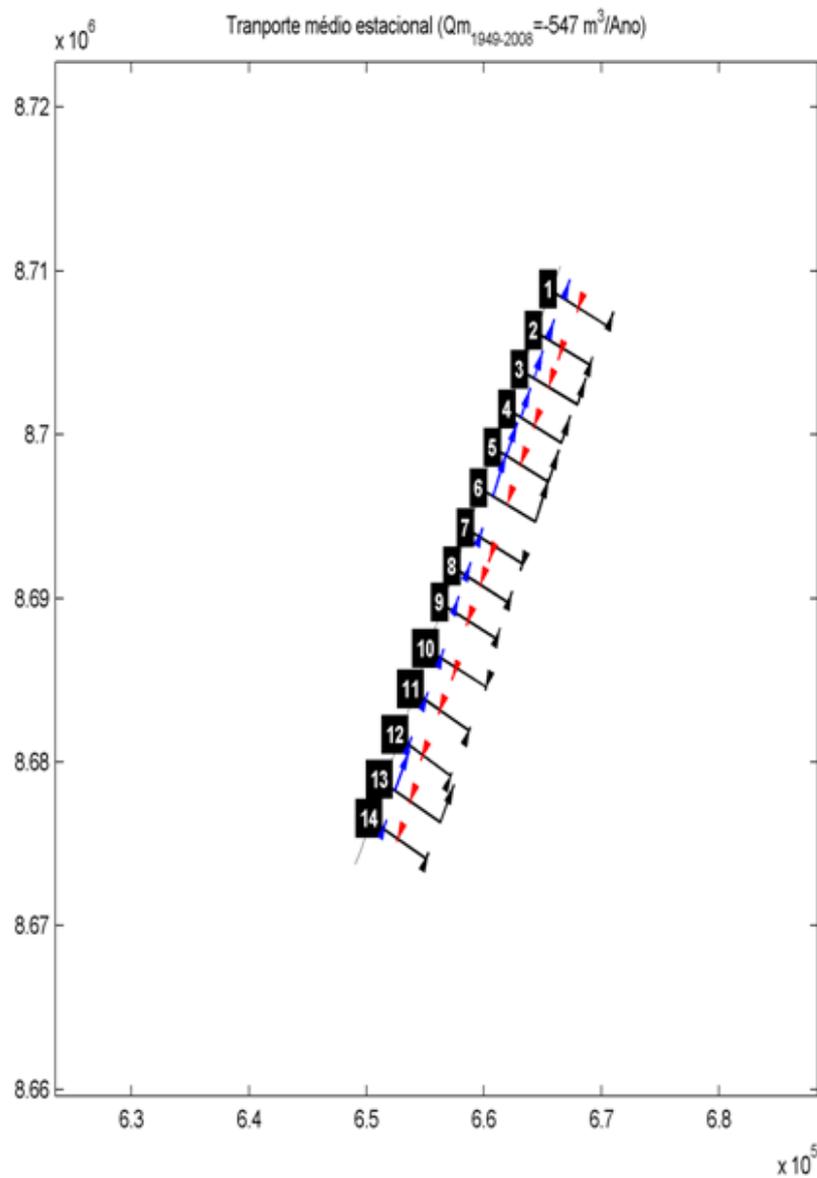
consequentemente, deposição do perfil 08 para o 07 nesse período. Mais uma alteração ocorreu na pequena deposição existente entre os perfis 02 e 01.

Outra questão importante da sazonalidade é representada nos meses de setembro, outubro e novembro, onde, segundo Bittencourt et al. (2000), aumentam a ocorrência de ondas de N-NE (presentes o ano todo). Ressalta-se que o SMC- Brasil não identificou a incidência dessas ondas, porém os dados sazonais para esses meses apresentam características únicas e relevantes para a área de estudo.

As figuras 27 e 28, juntamente com a análise numérica presente na tabela 08, reúnem dados de propagação de ondas e deriva litorânea para a estação de outono na região.

Figura 27- Transporte médio de sedimentos referente aos meses de setembro, outubro e novembro ao longo dos anos 1948 a 2008. Setas azuis indicam transporte para NE, setas vermelhas indicam transporte para SW e setas pretas indicam o transporte efetivo. Imagem SMC- Brasil.

Mapa de Transporte Médio Estacional de Sedimentos, Q_{SON} (Setembro, Outubro e Novembro)



Formulação empregada

$$Q = \frac{k}{(\rho_s - \rho_w)(1 - a)gw_s} F \cdot \bar{V} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad \text{Bayram et al., (2007)}$$

← Q: transporte médio bruto

← Q⁺: transporte médio positivo

← Q⁻: transporte médio negativo

Tabela 08- Análise numérica de dispersão sedimentar, nos 14 perfis para os meses de

setembro, outubro e novembro de 1948 a 2008. Q⁺ indica transporte para SW, Q⁻ evidencia

transporte para NE e Q significa transporte efetivo.

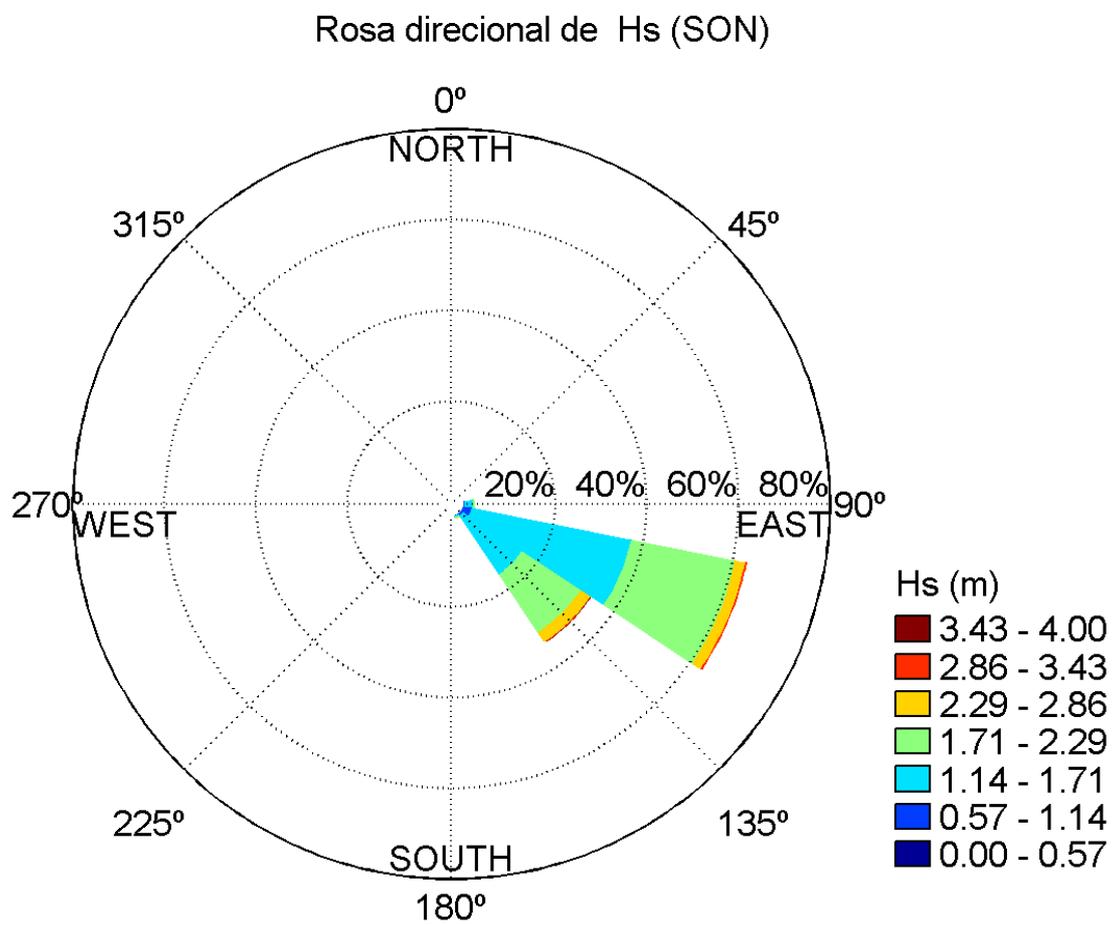
Perfil	Q (m ³)	Q ⁺ (m ³)	Q ⁻ (m ³)
1	-539.72	137.79	-677.51
2	-259.87	433.81	-693.68
3	-942.59	46.44	-989.03
4	-967.06	80.41	-1047.48
5	-1144.84	50.22	-1195.07
6	-1536.42	0.78	-1537.20
7	245.96	567.07	-321.10
8	-407.74	64.86	-472.61
9	-374.86	165.13	-539.99
10	111.10	429.34	-318.24
11	-127.90	138.65	-266.55
12	-112.11	176.06	-288.16
13	-1379.87	66.68	-1446.55
14	-226.13	91.03	-317.15
Média	-547.29	174.88	-722.17

A figura 27 e a tabela 08 demonstram uma predominância de deriva litorânea para NE, entretanto são apresentados valores menos intensificados, onde o volume de transporte efetivo chega a números aproximados de 540 m³, referente a primavera ao longo dos anos 1948 a 2008. Em relação aos impactos da movimentação sedimentar na costa, os perfis, em geral, apresentam comportamento parecido com o encontrado no transporte médio anual, porém duas alterações foram evidenciadas, a primeira delas referente à deposição encontrada do perfil 04 para o 03, a segunda, mais marcante, em relação ao surgimento de uma divergência no sentido de deriva litorânea entre os perfis 09 e 10.

O perfil 10, que apresenta números modestos (23,99 m³) no volume de transporte médio anual em sentido NE, passa a apresentar o valor de 111,10 m³ em sentido SW em relação ao transporte bruto de sedimentos, evidenciando um ponto nodal sazonal nas imediações de Sítio do Conde, região entre os perfis 09 e 10, onde se inicia o pontal.

Alguns fatores associados explicam esta inversão sazonal de transporte longitudinal de sedimentos. A menor incidência de ondas SE e SSE (Figura 28) nesse período associada com a cava batimétrica que diverge essas ondas, entre os perfis 09 e 10, acabam por diminuir a vazão volumétrica apresentada pelas correntes geradas por essas ondas, abrindo espaço para o domínio de ondas de E e “ENE”, as quais não sofrem tanta influência da cava batimétrica presente na região, sendo muito mais efetivas na formação de correntes e, conseqüentemente, na deriva litorânea no perfil 10, predominando o transporte sedimentar sentido SW.

Figura 28- Rosa direcional e altura de propagação de ondas para os meses de setembro, outubro e novembro ao longo dos anos de 1948 a 2008. Imagem SMC- Brasil.



7- Conclusão

A base de dados do SMC- Brasil permitiu a análise da propagação e refração de ondas, além da deriva litorânea para a região de Barra do Itariri, ao sul, até Mangue Seco, ao norte, no litoral do estado da Bahia, ao longo dos anos 1948 a 2008.

Estes 60 anos de dados forneceram referências para a avaliação do transporte sedimentar predominante para NE, bem como, constatações de pontos nodais de divergência e regiões de inversão de sentido de deriva litorânea.

Para o transporte sedimentar médio anual, a dominância do transporte sentido NE se deve a ação de ondas provenientes de SE e SSE, as quais promovem transporte longitudinal sedimentar nesse sentido. A alta incidência de ondas ESE, que promovem predominantemente transporte sedimentar de sentido SW, propôs a suposição de que boa parte dessas ondas não efetiva deriva litorânea devido à sua angulação de quebra na costa, estando ainda sujeitas a alternância de sentido de propagação de deriva.

Esta tendência de deriva litorânea para NE não foi vista no perfil 07, região da localidade de Poças. A cava batimétrica presente próxima ao perfil 06 é responsável pela divergência e diminuição da altura de ondas de E e “ENE” incidentes na costa, que acabam por não gerar correntes nessa área, abrindo espaço para ação de ondas de SE e SSE que geram correntes de transporte sedimentar para NE nesse perfil. Porém, no perfil 07, as ondas de E e “ENE” voltam a atuar e intensificam a vazão volumétrica de correntes sentido SW, devido à angulação da linha de costa predominando no perfil.

A divergência encontrada no ponto nodal identificado na região de Poças promove um déficit sedimentar por afastar a chegada de sedimentos nessa região, processo que não é balanceado pela ação dos rios, fato que pode explicar essa área ser a mais estreita do pontal de Sítio do Conde e Siribinha, apresentando vulnerabilidade à erosão.

Grandes números de transporte para NE e deposição de sedimentos ocorrem entre os perfis 13 e 12, imediações de Barra do Itariri, processo que segundo Netto (2002) é mais significativo nesta região pelo fato de existir uma pequena mudança na direção da linha de costa, devido a uma ligeira deflexão para norte na direção do litoral. A deposição do transporte de sentido NE é bastante elevada entre os perfis 06 e 03, processo marcado pela crista batimétrica presente na região que converge principalmente ondas de SE e SSE, aumentando a altura de ondas incidentes na costa, intensificando a vazão volumétrica das correntes geradas por essas ondas e transporte sedimentar sentido NE. A deriva sentido NE diminui gradativamente do perfil 06 ao 02, o que resultaria em uma diminuição da taxa de migração da foz do rio Itapicuru para NE.

A sazonalidade interfere diretamente na propagação de ondas e deriva litorânea da região. Foram analisados os meses de março, abril e maio com a finalidade de representar a época de maior incidência das ondas de E-SE. A ação destas ondas reafirmou o sentido NE de deriva litorânea, onde foi desfeita a divergência presente no ponto nodal na região de Poças antes vista pelo transporte médio anual de sedimentos (1948 a 2008). Este é a única época do ano em que as ondas de SE e SSE dominam na área de estudo diante das ondas de ESE, fator essencial para um completo transporte longitudinal sentido NE. Mesmo com a inversão do sentido de deriva no perfil 07, agora sentido NE, é evidente a retirada de sedimentos da localidade de Poças através da análise numérica, ao longo dos anos 1948 a 2008, para os meses de março, abril e maio, reafirmando o estado de vulnerabilidade à erosão da área mesmo com o fim da divergência de deriva litorânea.

Os meses de setembro, outubro e novembro representam o período mais significativo de incidências de ondas N-NE, porém, devido a uma limitação do SMC- Brasil, estas direções de onda não foram identificadas na

área de estudo. Apesar disso, este período mostra-se bastante relevante à análise sazonal da área. Nestes meses as ondas de ESE voltam a predominar, a divergência do ponto nodal nas imediações de Poças volta a aparecer, sendo explicada pela efetividade das ondas de E e “ENE”, e, além disso, surge mais uma divergência entre os perfis 09 e 10 (região de Sítio do Conde). Esta inversão de sentido de deriva, no perfil 10, para SW tem explicação similar à encontrada na inversão vista no perfil 07, porém, dessa vez, a cava batimétrica promove divergência de ondas de SE e SSE, diminui a altura de onda, resultando numa minimização da vazão volumétrica das correntes e, conseqüentemente, deriva sentido NE, evidenciando a ação das ondas E e “ENE” na região, as quais intensificam a vazão volumétrica das correntes na região devido à angulação da costa e de incidência das ondas, promovendo o transporte longitudinal sedimentar de sentido SW no perfil 10.

O déficit crônico sedimentar, causado pelas divergências de deriva litorânea ocorrentes nas imediações das localidades de Poças e Sítio do Conde, reafirma a constatação de estudos pretéritos realizados por Dominguez et al. (1996, 1999 e 2003) aliados à interpretações visuais de imagens de satélites e aerofotos verticais, entre 1993 e 2005, realizadas por Esquivel (2006), onde evidenciou-se o estado de erosão da linha de costa no trecho entre a desembocadura do rio Itapicuru (Nordeste) e Barra do Itariri (Sudoeste).

8- Referências

ANA – Agência Nacional de Águas. Região Hidrográfica Atlântico Leste.

Disponível em:

<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoLeste.aspx>

Acesso em: 2016.

Barbosa, Johildo. Geologia da Bahia: pesquisa e atualização – Salvador: CBPM, 2012. 2 v. : il. color. – (Série publicações especiais ; 13).

Bayram, A.; Larson, M.; Hanson, H., 2007. A new formula for the total longshore sediment transport rate. *Coastal Engineering* 54(9): 700 -710.

Bigarella JJ. 1972. Eolian environments - their characteristics, recognition and importance. *In: JK Rigby and WL Hamblin eds. Recognition of Ancient Sedimentary Environments*. SEPM, Spec Publ **16**: p. 12-14.

Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L, Martin L., Silva I.R. 2000. Patterns of Sediment Dispersion Coast wise the State of Bahia – Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **72**(2):271-287.

Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L., Martin L., Silva I.R. 2005. Longshore transport on the northeastern Brazilian coast and implications to the location of large scale accumulative and erosive zones: An overview. *Marine Geology*, **219**: 219-234.

Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L., Martin L., Silva I.R., Medeiros K.O.P. 2007. Past and Current Sediment Dispersion Pattern Estimates Through Numerical Modeling of Wave Climate: An Example of the Holocene Delta of the Doce River, Espírito Santo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **79**:333-341.

Bittencourt, A. C.S.P. & Dominguez, J. M.L., Tendência de longo prazo à erosão costeira num cenário perspectivo de ocupação humana: Litoral Norte do estado da Bahia. *Rev. Bras. Geociências*, **40**(1):125-137. 2010.

Carter, R.W.G., & Woodroffe, C.D. 1994. *Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline morphodynamics*. Cambridge University Press, 539 pp.

Cowell P.J., Stive M.J.F., Niedoroda A.W., De Vriend H.J., Swift D.J.P., Kaminsky G.M., Capobianco M. 2003. The Coastal– Tract (Part 1): A Conceptual Approach to Aggregated Modeling of Low-Order Coastal Change. *Journal of Coastal Research*, **19**:812-827.

Dominguez J. M. L. & Bittencourt A.C.S.P. 1996. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**:355-371.

Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P., Martin L. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. *Sedimentary Geology*, **80**:213-232.

Dominguez J.M.L., Andrade A.C.S., Almeida A.B., Bittencourt A.C.S.P. 2009. The Holocene Barrier Strand plains of the State of Bahia. *In*: Dillenburg S.R. & Hesp P.A. (eds.) *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences, 107, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, p. 253-288.

Dominguez J.M.L., Leão Z.M.A.N., Lyrio R.S. 1996. Litoral Norte do Estado da Bahia. *In*: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, *Roteiro de Excursão*, 67 p.

Dominguez, J.M.L (coord.); Nunes, A.S.; Silva, R.P.; Esquivel, M.S., Diagnóstico oceanográfico e proposição de disciplinamento de usos da faixa marinha do litoral norte do Estado da Bahia. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia/CRA. Salvador, 128p. 2003.

Dominguez, J.M.L. 1999. Erosão Costeira na região leste-nordeste do Brasil. Bahia. 175 p. Tese de Professor Titular, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

Esquivel M.S. 2006. *O Quaternário costeiro do município de Conde: implicações para a gestão ambiental*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 103p.

González, M.; Klein, A. H. F.; Tessler, M. G.; Eberhard, A.; Swerts, L.; Oliveira, M., 2014. SMC- Brasil, Documento temático de Ondas. Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, Santander, Espanha, 155 pp. Disponível on-line em <http://smcbrasil.ihcantabria.com/descargas/>.

HAYES, M. O. 1979. Barrier islands morphology as a function of tidal and wave regime. In: Barrier Islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico. Ed. S. P. Leatherman 1-27 p. Academic Press, New York.

Martin L & Suguio K. 1992. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beachridge plains associated with river mouths: example from the central Brazilian coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology* **99**: 119-140.

Martin L, Bittencourt ACSP & Vilas Boas GS. 1980. *Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Estado da Bahia*, escala 1: 250.000. CPM/SME, Salvador, Bahia, Brasil.

Netto, Augusto. Morfologia e sedimentologia da plataforma continental entre os rios Itariri e Itapicurú, Litoral norte do Estado da Bahia. Abril de 2002. 136 f. Dissertação de Mestrado em Geologia- Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Abril de 2002.

Petersen, D., Deigaard, R., & Fredsoe, J. 2008. Modelling the morphology of sandy spits. *Coastal Engineering*, **55** (7-8), 671-684.

Phillips M.R. & Jones A.L. 2006. Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: problems, consequences and management. *Tourism Management*, **27**:517-524.

Suguio K. & Nogueira A.C.R. 1999. Revisão Crítica dos Conhecimentos Geológicos sobre a Formação (Ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu Possível Significado como Testemunho de Alguns Eventos Geológicos Mundiais. *Geociências*, **18**:461-479.