



ESTIMATIVA DO TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS NA COSTA BRASILEIRA

Thaísa Beloti Trombetta^{1,2}, Wiliam Correa Marques^{1,3} & Ricardo Cardoso Guimarães^{1,4}

¹Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Laboratório de Análise Numérica e Sistemas Dinâmicos, Avenida Itália, km 8, Campus Carreiros, CEP 96203-000, Rio Grande - Rio Grande do Sul, Brasil.

²thaisabtrombetta@gmail.com

³wilianmarques@furg.br

⁴ricardo_guimaraes@hotmail.com.br

RESUMO

As praias estão constantemente sofrendo alterações morfológicas devido à interação entre componentes energéticos e desequilíbrios no suprimento sedimentar local. O presente trabalho tem como finalidade estimar o transporte longitudinal de sedimentos em diferentes setores da costa brasileira, identificando as médias anuais e o seu sentido predominante. O estudo foi realizado para o período compreendido entre os anos de 1979 e 2015, utilizando a modelagem computacional para investigar o comportamento das ondas, e formulações empíricas para calcular as taxas de transporte longitudinal de sedimentos. Os resultados destas taxas médias anuais seguiram a tendência demonstrada em estudos pretéritos, concordando em ordem de grandeza e direção predominante do transporte. O local onde o transporte de sedimentos apresentou-se bastante acentuado refere-se a Maceió (Alagoas), e o menor, em Carnaubinha (Rio Grande do Norte). Assim, foi observado que as maiores variações do transporte de sedimentos, ao longo da costa brasileira, ocorreram na Região Nordeste. Com este estudo, são disponibilizadas informações relacionadas ao comportamento das ondas e do transporte sedimentar ao longo de toda a costa brasileira, diferentemente dos estudos disponíveis na literatura que são realizados de forma pontual e abordam somente regiões específicas. Dessa forma, os resultados apresentados neste trabalho podem ser considerados em futuros projetos, que envolvam a gestão e o manejo sustentável da zona costeira.

Palavras-chave: Transporte de Sedimentos, Modelagem Numérica, Zona Costeira, CERC, Kamphuis.

LONGITUDINAL SEDIMENT TRANSPORT ESTIMATION IN BRAZILIAN COAST

ABSTRACT

Sand beaches are constantly suffering morphological alterations due the interaction between energetic components and unbalances at the local sediment supply. The present work aims to estimate the longitudinal sediment transport in different sectors of the Brazilian coast, establishing the annual means, and its predominant direction. The study has been developed using, computational models, to investigate the waves compartment, and empirical formulations to calculate the longitudinal sediment transport rates, between the years from 1979 and 2015. The obtained results showed good agreement with past studies, mostly when comparing the, magnitudes and the predominant direction of the sediment transport. One of the locations which presented highly accentuated sediment transport was Maceió (Alagoas), and one which presented small rates, was Carnaubinha (Rio Grande do Norte). Thus, it was possible to recognise that the highest fluctuations of the sediment transport, over the Brazilian coast, occurs at the Northeast region. This work also provides informations related to the waves and sediment transport, along all the Brazilian coast, differing from other studies which study specific regions or punctual locations. In this manner, the



results presented in this work could be considered for future projects associated to the management and sustainable handling of the coastal zone.

Key-words: Sediment Transport, Numerical Modeling, Coastal Zone, CERC, Kamphuis.

INTRODUÇÃO

O transporte longitudinal de sedimentos (TLS) é um fator condicionante para ocorrência de mudanças morfológicas em ambientes costeiros. A falta de planejamento e gestão com relação ao transporte de sedimentos, seja por causas naturais ou induzidas pelo homem, pode alterar a curto ou longo prazo o equilíbrio existente em regiões costeiras. O conhecimento prévio do clima de ondas local e do TLS representa uma fonte de informação essencial para a elaboração de projetos, planos de gerenciamento costeiro e aplicações em análises de risco à erosão. Associada aos fenômenos naturais, a expansão urbana sobre as zonas litorâneas é prejudicial à capacidade natural que o ambiente costeiro tem de se adaptar às mudanças.

No Brasil, as pressões socioeconômicas nas zonas costeiras vêm desencadeando, ao longo do tempo, um processo acelerado de urbanização não planejada e intensa degradação dos recursos naturais (Souza, 2002). Segundo Wisner et al. (2003), a ocupação em áreas inadequadas tem desencadeado e/ou acelerado processos erosivos ao longo da costa. Dessa forma, o estudo do transporte de sedimentos marinhos torna-se uma importante ferramenta para o monitoramento da dinâmica costeira, visto que dependendo das potencialidades de movimento e transporte dos sedimentos no litoral, significativos processos erosivos e de sedimentação podem ser desencadeados.

Inserido neste contexto, o presente trabalho tem como finalidade estimar o TLS em diferentes setores da costa brasileira, identificando as médias anuais e o

sentido predominante do transporte. Para isso, o clima ondulatório em toda a região de estudo foi analisado com auxílio da modelagem computacional de ondas, e o TLS foi calculado empregando os modelos propostos pelo *Coastal Engineering Research Center* (CERC, 1984) e por Kamphuis (1991). A fórmula que melhor se aplica em cada região também foi definida, comparando os resultados a estudos prévios referentes à temática.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo considerada na análise do comportamento ondulatório abrange toda a Plataforma Continental Brasileira, estendendo-se entre as latitudes 4° Norte, próximo ao Cabo Orange no Amapá, e 34° Sul, ao longo da barra do Arroio Chuí, no Rio Grande do Sul. Por outro lado, para análise do TLS, foi considerada a totalidade da zona costeira brasileira.

Em relação à caracterização sedimentológica das praias brasileiras, e para identificação do diâmetro médio dos sedimentos (D_{50}), optou-se pela divisão da costa do Brasil em quatro trechos distintos.

1. Chuí (RS) a Cabo Frio (RJ) - D_{50} igual a 0,06 mm;
2. Cabo Frio (RJ) a Aracaju (SE) - D_{50} igual a 0,5 mm;
3. Aracaju (SE) ao Parnaíba (PI) - D_{50} igual a 1 mm;
4. Parnaíba (PI) ao Cabo Orange (AP) - D_{50} igual a 0,06 mm.

Esta divisão foi definida com base na carta sedimentológica oriunda de dados provenientes das expedições do Programa ReviZEE e disposta pela Diretoria de Hidrografia e Navegação.

É importante ressaltar que as formulações aplicadas neste estudo permitem a utilização de apenas uma fração sedimentar. Sendo assim, houve a necessidade de simplificar os dados sedimentológicos ao longo de toda a costa brasileira, sendo considerada



apenas a fração sedimentar dominante nos diferentes trechos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo de ondas de terceira geração Tomawac (TELEMAC - *Based Operational Model Addressing Wave Action Computation*) foi aplicado no estudo para simular o estado do mar ao longo de 37 anos (1979 a 2015). O Tomawac calcula as ondas geradas por vento, levando em consideração a maioria dos processos físicos (*shoaling*, *whitecapping*, dissipação de energia induzida pelo atrito com o fundo, interações geradas pela atmosfera e refração induzida pela batimetria).

Para realização das simulações, foi construída uma malha não estruturada, composta por 547 479 nós, e com refino de 55 km na zona oceânica e de 500 m na zona costeira (Fig. 1). Os dados batimétricos foram retirados das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e do *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO).

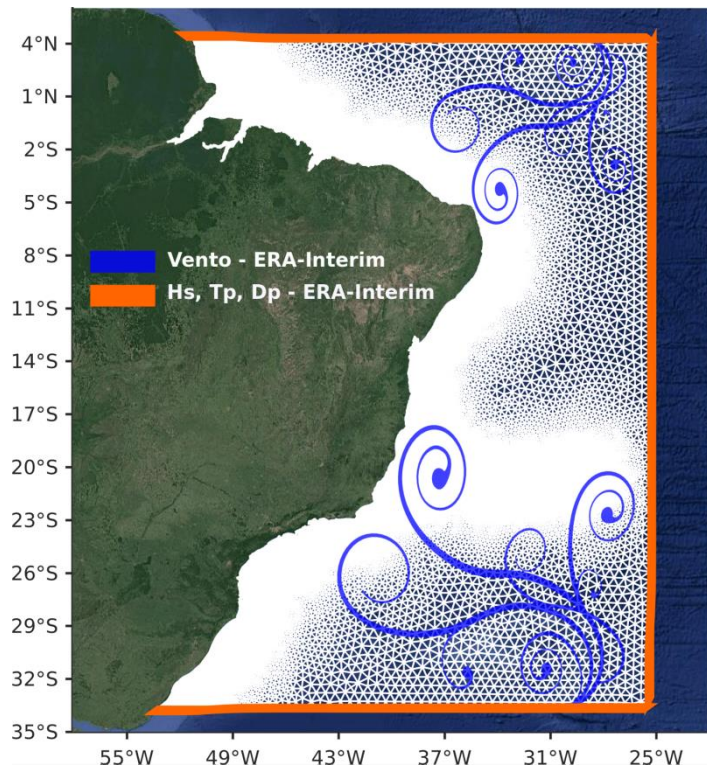


Figura 27 - Malha não estruturada e condições de contorno consideradas.

O modelo Tomawac foi inicializado do repouso. As condições de contorno oceânicas foram impostas com dados de altura significativa (H_s), período de pico (T_p) e direção de pico (D_p), e a superfície foi forçada com dados de vento. As condições impostas no modelo foram retiradas da base de dados do modelo de reanálise ERA Interim (www.ecmwf.int) do European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

As condições de contorno impostas no domínio numérico do modelo Tomawac, estão muito próximas das regiões sul e norte do Brasil, o que pode influenciar nos resultados, diminuindo sua confiabilidade. Dessa forma, optou-se por desconsiderar uma porção destas áreas nas análises do TLS.

Para o cálculo do TLS, foram aplicadas as formulações desenvolvidas pelo CERC (1984) e por Kamphuis (1991). As informações inseridas nos cálculos foram estimadas para a linha de arrebenção da onda (relação entre a altura da onda e a profundidade), a qual, segundo a teoria das ondas solitárias, possui um limite de 0,78.

A fórmula proposta pelo CERC (1984), que calcula as taxas de TLS (Q_v), em $m^3 \cdot s^{-1}$ é a seguinte:

$$Q_v = \frac{K \rho_a g^{1/2} H_{s,b}^{5/2} \sin(2\alpha_b)}{16(\gamma_b^{1/2}) (\rho_s - \rho_a)(1 - p)}$$

onde K é o coeficiente adimensional, ρ_a é a massa específica da água do mar, g é a aceleração da gravidade, $H_{s,b}$ é a altura significativa da onda na linha de quebra, α_b é o ângulo de incidência das ondas na linha de quebra (graus), γ_b é o parâmetro de quebra, ρ_s é a massa específica dos sedimentos e p é a porosidade dos sedimentos.



O valor do coeficiente K , recomendado pelo *Shore Protection Manual* (CERC, 1984), foi derivado da pesquisa de campo de Komar & Inman (1970), onde 0,39 se mostrou o melhor ajuste para as praias americanas. No entanto, a expressão se torna mais confiável se o coeficiente for calibrado com dados característicos de cada região.

Neste estudo, além da aplicação do valor constante proposto pelo CERC (1984), o coeficiente K foi calculado utilizando as seguintes formulações:

- Kamphuis et al. (1986):

$$K = 0.022 \sqrt{\frac{\gamma_b H_{s,b}}{D_{50}}}$$

- Mil-Homens et al. (2013):

$$K = \left[2237.7 \left(\frac{H_{s,b}}{L_0} \right)^{1.45} + 4.505 \right]^{-1}$$

sendo L_0 o comprimento da onda (m).

Adicionalmente, o cálculo do transporte longitudinal de sedimentos também foi realizado considerando a formulação do Kamphuis (1991), sendo expressa em $m^3 \cdot ano^{-1}$ ($Q'_{v'}$):

$$Q'_{v'} = \frac{6.4 \times 10^4 (H_{s,b})^2 (T_p)^{1.5} (m_b)^{0.75} [\sin^{0.6} (2\alpha_b)]}{(D_{50})^{0.25}}$$

onde T_p é o período de pico das ondas e m_b é a declividade do perfil praiial na arrebentação.

VALIDAÇÃO

O modelo Tomawac foi validado através da comparação das séries temporais de altura significativa

(H_s) obtidas do modelo com os dados medidos pelas boias do Programa Nacional de Boias (PNBOIA) para o ano de 2012. Foram analisadas as boias localizadas no Rio Grande do Sul (31° 34' 12"S, 49° 51' 36"W) e no Rio de Janeiro (22° 52' 46"S, 42° 01' 07"W), na profundidade de 200m.

Para quantificar a comparação, algumas métricas estatísticas foram testadas, como erro quadrático médio (RMSE) e o Viés, as quais anteriormente já foram utilizadas em estudos similares (Hallak & Pereira, 2011; Teegavarapu, 2012).

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos calculados para comparar os dados do modelo e das boias.

Parâmetro	RIO GRANDE		CABO FRIO	
	Tomawac	PNBOIA	Tomawac	PNBOIA
Hs	2,38	2,36	1,16	1,35
RMSE	0,8008		0,5171	
Viés	0,0054		0,1959	

O parâmetro H_s demonstrou uma média aceitável nos dois pontos analisados, com valores similares em Rio Grande. Para o RMSE, os valores resultaram acima do esperado, uma vez que valores próximos a zero são os ideais para este parâmetro estatístico. Em contrapartida, para o Viés, que indica se o modelo está superestimando ou subestimando os resultados, os valores resultaram adequados. Dessa forma, tais métricas mostraram uma boa relação entre os dados modelados pelo Tomawac e medidos pelo PNBOIA.

Para a validação do cálculo do TLS, as formulações propostas pelo CERC (1984) e por Kamphuis (1991) foram aplicadas em diferentes pontos nas zonas costeiras das regiões sul, sudeste e nordeste do litoral brasileiro, e comparadas a estudos anteriores relacionados à temática (Tab. 2).



Tabela 2 - Validação do Transporte Longitudinal de Sedimentos em $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. O sinal negativo indica que a deriva litorânea é direcionada para Sul.

Local	CERC (1984)			Kamphuis (1991)	Estudo prévio
	0,39	Kamphuis	Mil-Homens		
B. Barra Do Sul	1,77	0,40	0,31	1,11	0,46
Cibratel	- 1,65	- 0,36	- 0,30	- 0,52	- 0,40
Linhares	2,19	0,16	0,29	0,19	0,16
Natal	0,70	0,03	0,10	0,08	0,08
Galinhos	0,32	0,01	0,09	0,05	0,18

Para a Região Sul, em Balneário Barra do Sul (Santa Catarina), o estudo de Castilhos & Gré (2006) atingiu $459\ 900 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, resultando próximo ao transporte calculado com a fórmula proposta pelo CERC (1984), com o parâmetro K calibrado por Kamphuis et al. (1986). Além disso, a direção do transporte de Sul para Norte conferiu validade ao local analisado.

Em relação à Região Sudeste, no litoral paulista, o transporte foi validado na Praia de Cibratel com base na proximidade dos resultados fornecidos pela fórmula do CERC (1984), com o parâmetro K calibrado por Kamphuis et al. (1986), em relação ao estudo de Araújo & Alfredini (2001). Os valores de transporte resultaram em $356\ 760 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ e $400\ 000 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, respectivamente, podendo ser considerado com ordens de grandeza semelhantes. A direção do transporte, orientada para Sul, também confirmou a validação.

Ainda na Região Sudeste, em Linhares (Espírito Santo), o TLS calculado com a formulação do CERC (1984), com o parâmetro K calibrado por Kamphuis et al. (1986), resultou em $159\ 600 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$. Este valor se aproximou de $161\ 000 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, que foi encontrado no estudo de Oliveira et al. (2015). Além disso, a deriva litorânea também resultou dominante para Norte.

Para a Região Nordeste, em Natal (Rio Grande do Norte), as taxas de TLS resultaram em $84\ 501 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, considerando a fórmula de Kamphuis (1991), com transporte dominante para Norte. Este local foi comparado ao estudo de Araújo (2015), que demonstrou taxas de transporte de aproximadamente $80\ 000 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, com direção de transporte para o Norte, conferindo a validade dos dados obtidos.

Por fim, no município de Galinhos (Rio Grande do Norte), as taxas de TLS resultaram semelhantes em ordem de grandeza, ao comparar a formulação do CERC (1984), com o K calibrado por Mil-Homens et al. (2013), com o estudo de Marcelino et al. (2018). Os resultados foram $86\ 275 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ e $185\ 839 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, respectivamente. O transporte dominante no sentido Leste-Oeste também foi validado.

Dessa forma, para o presente estudo, o TLS foi calculado em trechos ao longo de toda a costa brasileira, sendo considerada uma metodologia específica para cada intervalo, com o correspondente diâmetro dos sedimentos, conforme definido anteriormente. De forma geral, os resultados calculados apresentaram semelhanças no que diz respeito às ordens de grandeza do transporte médio anual e ao sentido da deriva litorânea.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados nesta seção são provenientes de uma simulação de ondas geradas pelo vento, com duração de 37 anos, entre 1979 e 2015. Inicialmente, os resultados obtidos são apresentados na forma de campos médios para as variáveis: período de pico e ângulo de incidência de ondas, calculadas para toda a região de estudo. Estes parâmetros de onda foram posteriormente utilizados no cálculo do TLS.

Para o período de pico médio das ondas na região de estudo, foram verificados valores próximos a 9,5 s, que são provenientes de ondas de tempestades



distantes, e podem ser classificadas como ondulações (*swell*). No Rio Grande do Sul e no litoral sul da Bahia, ocorreu uma redução no período conforme as ondas se aproximam da costa, variando de 9 s a 6 s. Estas ondas, geradas por efeito de ventos locais soprando sobre o mar, possuem períodos mais curtos e são denominadas vagas (*sea*).

Nas regiões ao Norte, os períodos médios das ondas são particularmente menores que nas demais regiões, atingindo no máximo 8 s e diminuindo para 7 s nas proximidades da costa. Estes resultados são similares ao estudo de Pianca et al. (2010), que analisaram o clima de ondas da região ao largo da costa brasileira, assim como, Araújo et al. (2003) e Contestabile et al. (2015) na Ilha de Santa Catarina e Araújo & Alfredini (2001) no litoral paulista.

O ângulo de incidência das ondas demonstrou que no setor entre o Rio Grande do Sul e o Rio de Janeiro, as ondas atingem a costa advindas de Sudeste e Leste, devido à ação dos ventos de quadrante Sul. No trecho entre o Espírito Santo e o Rio Grande do Norte, a direção de incidência das ondas é predominante do quadrante Leste, com algumas variações em regiões específicas. Já no setor entre o Ceará e o Amapá, as ondas incidem na costa advindas de Leste e Nordeste, devido à ação dos ventos alísios de nordeste e sudeste, que convergem sobre a região (Pianca et al., 2010).

As tabelas apresentadas a seguir demonstram as taxas médias do TLS para diferentes pontos ao longo da costa brasileira. A metodologia considerada em cada trecho e o D_{50} foram indicados. É importante lembrar que setores das regiões norte e sul não foram inseridos no cálculo do TLS, devido à possibilidade de sofrerem influências das condições de contorno impostas no domínio numérico do modelo TOMAWAC. Tal fato, possivelmente, causaria variações nos resultados.

Na Tabela 3 são apresentados dois trechos da costa brasileira. O primeiro considera D_{50} igual a 0,06

mm, e o segundo, 0,5 mm. Para os dois trechos foi aplicada a formulação do CERC (1984), com o K calibrado por Kamphuis et al. (1986).

Tabela 3 – Resultados do Transporte Longitudinal de Sedimentos em m^3 /ano. O sinal negativo indica que a deriva litorânea é direcionada para Sul.

D_{50} (mm)	CERC (1984) Kamphuis et al. (1986)	Taxas (m^3 /ano)
0,06	Baln. Barra Sul – SC	402 970
	Matinhos – PR	142 240
	Iguape - SP	320 430
	Cibratel – SP	- 356 760
0,5	Praia do Açu – RJ	151 060
	P. Formosa – ES	-169 030
	Linhares – ES	159 600
	Belmonte – BA	127 780

Segundo Pianca et al. (2010), a costa sul e sudeste são atingidas por ondas geradas por altas tempestades no Atlântico Sul, com ondas mais energéticas advindas de Sul e Sudeste, o que confirma o sentido resultante do transporte de sedimentos para Nordeste. Para os estados de Santa Catarina e Paraná, alguns estudos quantificaram o TLS, sendo possível destacar: Veiga et al. (2004), Castilhos & Gré (2006), Abreu (2011) e Wosiacki & Gobbi (2012). Embora tenham ocorrido variações nas estimativas obtidas por estes autores, o sentido de deriva preferencial de sul para norte foi mantido, sendo este resultado reflexo do clima de ondas incidente na região.

No litoral paulista, é observado que o transporte tem sentido dominante para Sudoeste, em conformidade com o estudo de Araújo & Alfredini (2001), o que pode ser explicado pelo fato do rumo geral do litoral paulista ter sentido Nordeste-Sudoeste, juntamente ao predomínio temporal do Anticiclone Tropical do Atlântico (gerando ondas de Nordeste e Leste). Por outro lado, em condições onde os



Anticiclones Móveis Polares predominam, com ondas provenientes do rumo Sul e Sudeste, a deriva passa a se propagar para Nordeste.

No setor litorâneo compreendido entre Praia do Açú e Belmonte, as ondas mais efetivas no transporte sedimentar, segundo Tessler & Goya (2005), são predominantemente geradas pelos ventos do quadrante Leste, e variam conforme as variações da linha de costa. Isto explica as direções opostas encontradas em Linhares e Praia Formosa, no Espírito Santo.

Poucos estudos que estimam o TLS foi realizados para o litoral do Rio de Janeiro, podendo ser destacado: Cassar & Neves (1993), Bastos & Silva (2000) e Machado et al. (2018). As estimativas obtidas pelos autores demonstraram diferenças, entretanto, todos observaram que a deriva dominante nas proximidades do Cabo de São Thomé é para Norte.

Para Belmonte e outros pontos no estado da Bahia, segundo Bittencourt et al. (2000), a deriva é dominante para Norte pois as ondas atingem este setor advindas de Sudeste, corroborando com os resultados encontrados.

Na Tabela 4 também são apresentados três trechos da costa brasileira. O primeiro considera D_{50} igual a 0,5 mm, e o outros dois, 1 mm. Para os dois primeiros trechos foi aplicada a formulação do Kamphuis (1991), e para o terceiro, a formulação do CERC (1984), com o K calibrado por Mil-Homens et al. (2013).

Tabela 4 - Resultados do Transporte Longitudinal de Sedimentos em m^3/ano . O sinal negativo indica que a deriva litorânea é direcionada para Sul.

D_{50} (mm)	Kamphuis (1991)	Taxas (m^3/ano)
0,5	Una – BA	293 640
	Ilhéus – BA	646 810
	B. Coqueiros – SE	-269 940
	Maceió - AL	-769 200
1,0	Olinda – PE	418 600

	Cabedelo - PB	154 000
	Natal - RN	160 560
	Carnaubinha – RN	39 470
D_{50} (mm)	CERC (1984) Mil-Homens et al. (2013)	Taxas (m^3/ano)
1,0	Touros - RN	387 750
	Galinhos – RN	86 275
	Acaraú – CE	43 188
	Parnaíba – PI	48 200

No trecho entre o litoral da Bahia e do Rio Grande do Norte, incidem ondas provenientes dos ventos de Sudeste, indicando, assim, um transporte resultante para Norte. Os resultados demonstram este comportamento, com exceções apenas em Barra dos Coqueiros (Sergipe) e Maceió (Alagoas). Estas divergências podem ser explicadas devido às mudanças na orientação da linha de costa.

Estes resultados estão de acordo com o estudo de Bittencourt et al. (2000) e Bittencourt et al. (2008), que ressaltaram que os padrões de dispersão do TLS ao longo do litoral baiano são regulados pela orientação geral da linha de costa, somado ao sistema de circulação atmosférica.

No trecho entre Touros (Rio Grande do Norte) e Parnaíba (Piauí), a ação dos ventos está associada aos alísios de rumo Sudeste, segundo Tessler & Goya (2005), que geram ondas de Leste e Nordeste. Ademais, Muehe & Corrêa (1998) afirmaram que neste segmento costeiro, todo movimento é direcionado de para oeste, mesmo que outras ondas formadas por tempestades do Hemisfério Norte, incidam nesta região. Assim, todo transporte de sedimentos neste setor é direcionado de Leste para Oeste.

CONCLUSÃO

A partir da modelagem numérica das ondas geradas pelo vento foi possível obter os parâmetros de onda e uma posterior estimativa do TLS. Os resultados



das médias anuais obtidos a partir da técnica de divisão da costa brasileira em setores seguiram a tendência demonstrada em estudos pretéritos, concordando em ordem de grandeza e direção predominante do transporte.

O local onde a taxa de transporte de sedimentos apresentou-se bastante acentuada, refere-se a Maceió (Alagoas), com $769\,200\text{ m}^3\cdot\text{ano}^{-1}$. Em relação à menor taxa, ocorreu em Carnaubinha (Rio Grande do Norte), com $39\,470\text{ m}^3\cdot\text{ano}^{-1}$.

As variações demonstradas nas médias do transporte longitudinal de sedimentos, podem estar associadas ao diâmetro médio dos sedimentos e à declividade do perfil praiial, uma vez que há uma variação significativa ao longo de toda a costa brasileira. Além disso, a metodologia aplicada nos diferentes trechos, também pode influenciar nos resultados.

Não obstante, os valores do TLS obtidos neste estudo se mostraram coerentes quando comparados com resultados de outros autores presentes na literatura, mesmo considerando as limitações do modelo Tomawac. Por fim, o presente trabalho contribui com informações sobre o comportamento das ondas e do transporte sedimentar ao longo de toda a costa brasileira, que podem ser úteis em futuros projetos de engenharia, que envolvam a gestão e o manejo sustentável da zona costeira brasileira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Nacional de Supercomputação (CESUP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) pelo uso do Supercomputador Santos Dumont. Também agradecem ao ECMWF pelos dados oceanográficos e meteorológicos utilizados nas condições de contorno e ao consórcio Open TELEMAC-MASCARET por

fornecer o sistema TELEMAC. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) sob contrato 17/2551-001159-7 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sob contrato 304227/2016-1.

REFERÊNCIAS

- Abreu, J. J., 2011. Transporte Sedimentar Longitudinal e Morfodinâmica Praial: Exemplo do Litoral Norte de Santa Catarina. Tese, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Araújo, C. E. S., Franco, D., Melo Filho, E., & Pimenta, F. M. (2003). Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, XI(097), 15.
- Araújo, D. J. C. (2015). Transporte Longitudinal De Sedimento Na Zona Costeira De Natal/RN (Unpublished doctoral dissertation). Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Araújo, R., & Alfredini, P. (2001). O Cálculo do Transporte de Sedimentos Litorâneo: Estudo de Caso das Praias de Suarão e Cibratel (Município de Itanhaém, São Paulo). RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 6(2), 15–28.
- Bastos, A. C. & Silva, C. G. Caracterização morfodinâmica do litoral Norte Fluminense, RJ, Brasil. Revista Brasileira de Oceanografia, v. 48, n. 1, p. 41–60, 2000.
- Bittencourt, A. C. D. S. P., Dominguez, J. M. L., Martin, L., & Silva, I. R. Patterns of sediment dispersion coastwise the State of Bahia - Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 72, n. 2, p. 271–287, 2000.



- Bittencourt, A. C. S. P., Martin, L., Dominguez, J. M. L., Silva, I. R., & Sousa, D. L. A significant longshore transport divergence zone at the Northeastern Brazilian coast: Implications on coastal Quaternary evolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 74, n. 3, p. 505–518, 2002.
- Cassar, J. C. M. & Neves, C. F. Aplicação das rosas de transporte litorâneo à costa fluminense. *Revista Brasileira de Engenharia*, v. 11, n. 1, p. 81–106, 1993.
- Castilhos, J. A., & Gré, J. C. R. (2006). Beach Morphodynamics and Sediment Transport along the Northern Coast of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research* SI(39), 1756–1761.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual* (4th ed.). Washington, D. C.: U.S. Army Coastal Engineering Research Center.
- Contestabile, P., Ferrante, V., & Vicinanza, D. (2015). Wave Energy Resource along the Coast of Santa Catarina (Brazil). *Energies*, 8(12), 14219–14243. doi: 10.3390/en81212423.
- Hallak, R., & Pereira, A. J. (2011). Metodologia para Análise de Desempenho de Simulações de Sistemas Convectivos na Região Metropolitana de São Paulo com o Modelo ARPS: Sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(4), 591–608.
- Kamphuis, J. W. (1991). Alongshore Sediment Transport Rate. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 117(6), 624. doi: 10.1061/(ASCE)0733-950X(1991)117:6(624).
- Kamphuis, J. W., Davies, M. H., Nairn, R. B., & Sayao, O. J. (1986). Calculation of littoral sand transport rate. *Coastal Engineering*, 10(1), 1–21. doi: 10.1016/0378-3839(86)90036-0.
- Komar, P. D., & Inman, D. L. (1970). Longshore Sand Transport on Beaches. *Journal of Geophysical Research*, 75(30), 14. doi: 10.1029/JC075i030p05914.
- Machado, K. M., Alves, A. R., & Fernandez, G. B. Clima de Ondas e Transporte Litorâneo na Planície Deltaica do Rio Paraíba do Sul, Litoral Norte do estado do Rio de Janeiro. In *III Encontro Latino Americano de Geomorfologia*, pp. 1–15, 2018.
- Marcelino, A. M. T., Pinheiro, L. R. d. S. G., & Costa, J. R. S. (2018). Planejamento participativo para a gestão da orla marítima de Galinhos/RN, nordeste brasileiro, com apoio de sensores remotos e modelagem costeira. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 44, 118–139. doi: 10.5380/dma.v44i0.55034.
- Mil-Homens, J., Ranasinghe, R., van Thiel de Vries, J. S. M., & Stive, M. J. F. (2013). Re-evaluation and Improvement of Three Commonly Used Bulk Longshore Sediment Transport Formulas. *Coastal Engineering*, 75, 29–39. doi: 10.1016/j.coastaleng.2013.01.004.
- Muehe, D. & Corrêa, C. H. T. The Coastline between Rio de Janeiro and Cabo Frio. In Neves, C., editor, *Coastlines of Brazil*, pp. 110–123. American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, NY, 1989.
- Oliveira, T. C. A., Albino, J., & Venancio, I. Transporte longitudinal de sedimentos no litoral da planície deltaica do Rio Doce. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 6, n. 1, p. 20–25, 2015.
- Pianca, C., Mazzini, P. L. F., & Siegle, E. (2010). Brazilian Offshore Wave Climate based on NWW3 Reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1), 53–70. doi: 10.1590/S1679-87592010000100006.
- Souza, C. R. d. G. (2002). Coastal Erosion Risk Assessment, Shoreline Retreat Rates and Causes of Coastal Erosion along the State of Sao Paulo Coast, Brazil. *Pesquisas em Geociências*, 28(2), 459–474.
- Teegavarapu, R. S. V. (2012). *Floods in a Changing Climate: Extreme Precipitation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Tessler, M. G., & Goya, S. C. (2005). Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, 17, 11–23. doi: 10.7154/RDG.2005.0017.0001.
- Veiga, F. A., Angulo, R. J., Marone, E., & Brandini, F. P. Características sedimentológicas da plataforma



continental interna rasa na porção central do Litoral Paranaense. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 55, p. 67–75, 2004.

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2003). *At Risk: Natural Hazards, Peoples's Vulnerability and Disasters* (2nd ed.). London: Routledge.

Wosiacki, L. F. K. & Gobbi, M. F. Estimativa do Transporte de Sedimentos na Praia Brava de

Matinhos/PR com auxílio da Modelagem Numérica das Ondas. In V Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, Rio Grande. Universidade Federal do Rio Grande, 2012.