

## TROCAS DE MATERIAL ORGÂNICO E INORGÂNICO NA MARGEM CONTINENTAL SUDESTE DO BRASIL EM UM MODELO FÍSICO-BIOLÓGICO

**Daniel Leite Moreira<sup>1,2</sup>, Mariela Gabioux<sup>1</sup>,  
Vladimir Santos da Costa<sup>1</sup> e Afonso de Moraes Paiva<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Programa de Engenharia Oceânica – COPPE/UFRJ  
Centro de Tecnologia, Bloco C, Sala 209 – Cidade Universitária, Ilha do Fundão  
Rio de Janeiro – RJ CEP 21945-970*

*<sup>2</sup>Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello – PETROBRAS  
danielsocean@oceanica.ufrj.br*

### RESUMO

Neste estudo são analisados os fluxos de material orgânico e inorgânico entre a plataforma e o talude continental sudeste do Brasil, através do acoplamento de um modelo biológico NPZD (nutrientes, fitoplâncton, zooplâncton e detritos) ao modelo de circulação oceânica HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model). Foram investigados os mecanismos responsáveis por essas trocas, como a ressurgência e os vórtices da corrente do Brasil, e identificadas as principais regiões de intercâmbio. O balanço anual indica a região ao largo de Cabo Frio como importadora de nutrientes, muitas vezes correlacionados à eventos de ressurgência. Esta região também se destaca pela presença de filamentos que exportam a matéria orgânica da plataforma continental para o talude. Já a plataforma continental a oeste e ao norte de Cabo Frio apresentam intensas trocas nos dois sentidos, caracterizando-se em média pela exportação de nutrientes e matéria orgânica particulada. Os fluxos entre a plataforma e o talude na margem continental sudeste brasileira alcançam valores da mesma ordem ou mesmo superiores aos calculados em outras regiões do mundo.

Palavras chave: NPZD, HYCOM, interações físico-biológica.

### INTRODUÇÃO

Avanços significativos no entendimento sobre a influência de processos físicos nos oceanos sobre ciclos biogeoquímicos e dinâmica de populações planctônicas foram feitos nas últimas décadas, a partir de estudos observacionais e da modelagem acoplada físico-biológica. Pesquisas desenvolvidas nestas áreas ajudaram a revelar as principais causas da variabilidade espacial e temporal na abundância e taxas de produção de organismos planctônicos (ANDERSON; ROBINSON, 2001; CALIL; RICHARDS, 2010; GRUBER *et al.*, 2011; GUIDI *et al.*, 2012; LACHKAR; GRUBER, 2013).

Trocas entre os ambientes nerítico e oceânico estão associadas a importantes processos de fertilização da plataforma e ao incremento da biomassa no talude continental (MACKAS; YELLAND, 1999; SLAGSTAD; TANDE; WASSMANN, 1999). Na Bacia de Campos, um dos resultados do projeto de caracterização ambiental marinha - PCR-BC (projeto HABITATS - Heterogeneidade Ambiental da Bacia de Campos) – coordenado pelo Centro de Pesquisas da PETROBRAS (CENPES) foi a presença de matéria orgânica rica em compostos originários da produção primária e secundária nos sedimentos entre 100 e 1300 m de profundidade (OLIVEIRA; CORDEIRO; CARREIRA, 2012). Considerando as águas oligotróficas que fluem sobre o talude,

uma das sugestões dos autores é que a essa matéria orgânica esteja associada a vórtices e meandros da corrente do Brasil, que podem aumentar a produtividade local ou transportar águas da plataforma continental para o talude (CAMPOS; VELHOTE; DA SILVEIRA, 2000).

No presente estudo foram investigadas as interações físico-biológicas presentes na plataforma e talude continental do sudeste brasileiro quantificando, através da modelagem numérica, as trocas de material orgânico e inorgânico entre os ambientes nerítico e oceânico. Este projeto de pesquisa está inserido nos objetivos do Instituto Nacional de Ciências do Mar de Estudos dos Processos Oceanográficos Integrados da Plataforma ao Talude (INCT PRO-OCEANO), que visa a identificação e a quantificação dos fluxos e trocas de propriedades entre diferentes compartimentos do sistema marinho. O trabalho contribui ainda para os esforços do Projeto REMO (Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica) com a configuração de um modelo NPZD (nitrogênio, fito e zooplâncton e detritos) acoplado ao modelo de coordenadas híbridas HYCOM de circulação oceânica.

## METODOLOGIA

Uma simulação aninhada, em alta resolução espacial ( $1/24^\circ$ ), discretizada verticalmente em 21 camadas de densidade sigma theta, foi realizada com o HYCOM para a região sudeste brasileira. A simulação foi forçada nos contornos laterais com resultados de uma simulação em  $1/12^\circ$  da MetareaV (GABIOUX *et al.*, 2013) e forçada em superfície com fluxos de quantidade de movimento e termodinâmicos a cada 6 horas baseados na reanálise 1 do NCEP. A maré é incluída nos contornos a partir de 8 componentes principais derivadas do modelo TPXO. A simulação foi integrada de 2004 a 2010.

A resolução dos processos nos primeiros níveis tróficos do ecossistema foram representados pelo modelo NPZD (FASHAM; DUCKLOW; MCKELVIE, 1990). Os compartimentos modelados são expressos na forma equivalente de concentração de nitrogênio ( $\text{mmol N m}^{-3}$ ), pelo fato deste ser o elemento usualmente limitante nos oceanos. A evolução temporal da concentração de cada variável é dada pela equação de advecção-difusão adicionados os termos de fonte-sumidouro de cada variável:

$$\frac{D(P)}{Dt} = \underbrace{U(I_{PAR}, N)P}_{\text{crescimento}} - \underbrace{gG(P, D)Z}_{\text{predação}} - \underbrace{sP}_{\text{senescência}} + dif \quad (1)$$

$$\frac{D(Z)}{Dt} = \underbrace{amgG(P, D)Z}_{\text{crescimento}} - \underbrace{dZ^2}_{\text{mortalidade}} + dif \quad (2)$$

$$\frac{D(D)}{Dt} = \underbrace{(1-a)gG(P, D)Z}_{\text{pelotas fecais}} - \underbrace{gG(D)Z}_{\text{predação}} + sP + dZ^2 - \underbrace{eD}_{\text{remineralização}} + dif \quad (3)$$

$$\frac{D(N)}{Dt} = \underbrace{a(1-m)gG(P, D)Z}_{\text{excreção do zooplâncton}} - U(I_{PAR}, N)P + eD + dif \quad (4)$$

sendo N, P, Z, D as abundâncias de nitrogênio, fitoplâncton, zooplâncton e detritos, U e G as funções de crescimento do fito e do zooplâncton, respectivamente, g a máxima taxa de predação do zooplâncton, s e d as taxas de mortalidade do fito e do zooplâncton, respectivamente, a e m a eficiência de assimilação e metabólica do zooplâncton, respectivamente, e e a taxa de remineralização. As condições iniciais de N foram obtidas analiticamente a partir de dados do WOA13 (GARCIA *et al.*, 2013). P e Z foram inicializados a partir de curvas teóricas simplificadas, sem variação espacial e com decaimento na vertical, enquanto que um valor arbitrariamente pequeno foi adotado para os detritos ( $0.1 \text{ mmol N L}^{-1}$ ).

A área de estudo está localizada entre as latitudes  $-27^\circ$  e  $-18^\circ$  e longitudes  $-46^\circ$  e  $-37^\circ$ , devido à

ocorrência de fenômenos de ressurgência e de mesoescala. Foram calculados os fluxos médios de nitrogênio orgânico particulado (NOP, igual a P+Z+D) e nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) entre a região nerítica e oceânica.

## RESULTADOS

Os processos de troca de NID e NOP apresentaram um padrão espacial heterogêneo, com uma regionalização dos fluxos entre os compartimentos nerítico e oceânico. Enquanto no extremo sul e norte do Rio de Janeiro a característica principal da plataforma é de exportação, tanto de material orgânico quanto inorgânico (seções 5A e 7 e na Fig. 1), a região ao largo de Cabo Frio funciona majoritariamente como importadora desses elementos (seções 5B e 6). A seção 6 desempenha ainda um papel importante na exportação de material orgânico para o oceano.

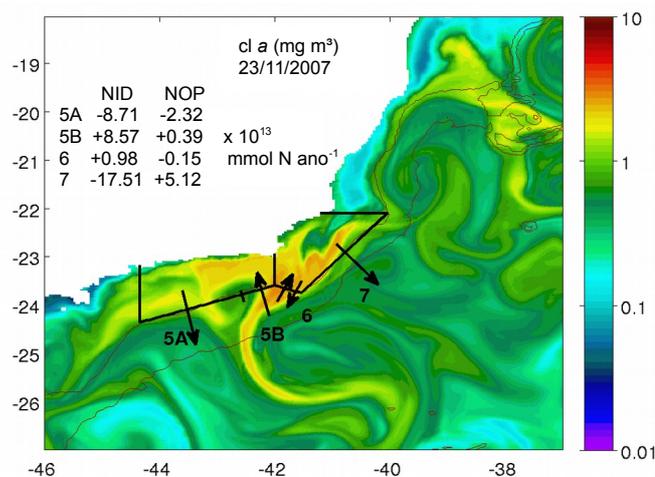


Figura 1: Posição das seções utilizadas e valores do balanço anual dos fluxos médios diários entre PC e talude continental. As isolinhas representam as isóbatas de 200 e 2000 m e a imagem de fundo ilustra o campo de clorofila *a* do modelo em 23/11/2007.

Neste cenário, destacam-se os fluxos da seção 5B primeiro pela fertilização da plataforma continental e, segundo, pela importação também de matéria orgânica, fato não esperado inicialmente devido às menores concentrações de P, Z e D estarem no talude. Contudo, a presença de meandros e vórtices da Corrente do Brasil podem induzir ou transportar águas ricas em material orgânico da PC para o talude e vice-versa. A exportação de NOP na seção 6 é outro destaque das simulações pois, mesmo com sua diminuta área, contribui com  $7.12 \times 10^5 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  (Tabela 1).

Tabela 1: Contribuição relativa dos fluxos anuais de NID e NOP, evidenciando as trocas entre PC e talude continental (em  $10^5 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ). Valores negativos indicam exportação e positivos importação da PC.

Seção		5A	5B	6	7
Área (%)		41.8	22.2	7.8	28
NID	Importação	30.35	61.27	63.00	64.87
	balanço	-20.46	36.56	12.25	-61.47
NOP	Exportação	-7.04	-1.14	-7.12	-20.14
	balanço	-5.46	1.76	-1.87	-18.00

Em termos absolutos, a exportação de material orgânico para a região oceânica é dominada pela seção 7, que exporta  $20.14 \times 10^5 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ , o equivalente a  $160.11 \text{ kg C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  em massa de carbono. Este valor chega a ser cerca de 4 vezes superior ao verificado na plataforma de British Columbia (Canadá) por MACKAS e YELLAND, 1999, que estimaram valores equivalentes a  $37.25 \text{ kg C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  nesta região.

Os fluxos de N no sentido da PC ao largo de Cabo Frio (seções 5B e 6) apresentaram

correlação negativa (positiva) com a série de temperatura (nitrogênio) junto à costa e correlação negativa com o impulso do vento da região. Estes resultados, quando analisados em conjunto com as séries temporais, indicam a ocorrência de eventos de ressurgência e, por conseguinte, a alta relevância desta área pelo transporte de águas oceânicas para a plataforma continental.

## CONCLUSÕES

De forma geral, as regiões sul e norte do Rio de Janeiro (seções 5A e 7) apresentaram maior variabilidade nas trocas entre plataforma e talude continental. No balanço anual, prevalece a exportação tanto de material orgânico (NOP) quanto de material inorgânico (NID). Já a região central do Rio de Janeiro, ao largo de Cabo Frio (seções 5B e 6), se comporta majoritariamente como importadora de NID e apresenta uma importante área de exportação de matéria orgânica através de filamentos (seção 6).

O balanço anual de fluxos entre as regiões nerítica e oceânica indica que essas trocas podem suprir a área oceânica com matéria orgânica da plataforma continental, sendo a região entre Cabo Frio e cabo de São Tomé a de maior intercâmbio. As causas da variabilidade desses fluxos são variados processos oceanográficos como o meandramento e a formação de vórtices da Corrente do Brasil, filamentos e ressurgência, sendo esta a principal forçante de fluxos de NID para a plataforma continental.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, L. A.; ROBINSON, A. R. Physical and biological modeling in the Gulf Stream region-Part II. Physical and biological processes. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 48, n. 5, p. 1139–1168, 2001.
- CALIL, P. H. R.; RICHARDS, K. J. Transient upwelling hot spots in the oligotrophic North Pacific. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 115, n. 2, p. 1–20, 2010.
- CAMPOS, E. J. D.; VELHOTE, D.; DA SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current Cyclonic Meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 6, p. 751–754, 15 mar. 2000.
- FASHAM, M. J.; DUCKLOW, H. W.; MCKELVIE, S. M. Nitrogen-based model plankton dynamics oceanic mixed layer. **Journal of Marine Research**, v. 48, p. 591–639, 1990.
- GABIOUX, M.; DE SOUZA, J.M.A.C.; COSTA, V.S.; OLIVEIRA, B.F.; PAIVA, A.M. Modeling the South Atlantic Ocean from Medium to High-Resolution. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 31, p. 229–242, 2013.
- GAETA, S.A.; LORENZZETTI, J.A.; MIRANDA, L.B.; SUSINI-RIBEIRO, S.; POMPEU, M.; ARAUJO, C. The Vitória Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. **Archives of Fishery and Marine Research**, v. 47, p. 253–270, 1999.
- GARCIA, H.E.; LOCARNINI, R.; BOYER, T.P.; ANTONOV, J.I.; BARANOVA, O.K.; ZWENG, M. M.; REAGAN, J.R.; JOHNSON, D.R. **World Ocean Atlas 2013 Volume 4: Nutrients ( phosphate , nitrate , silicate )NOAA Atlas NESDIS 76**. [s.l: s.n.].
- GRUBER, N.; LACHKAR, Z.; FRENZEL, H.; MARCHESIELLO, P.; MÜNNICH, M.; MCWILLIAMS, J.C.; NAGAI, T.; PLATTNER, G. Eddy-induced reduction of biological production in eastern boundary upwelling systems. **Nature Geoscience**, v. 4, n. 11, p. 787–792, 2011.
- GUIDI, L.; CALIL, P.H.R.; DUHAMEL, S.; BJÖRKMAN, K.M.; DONEY, S.C.; JACKSON, G.; LI, B.; CHURCH, M.J.; TOZZI, S.; KOLBER, Z.S.; RICHARDS, K.J.; FONG, A.; LETELIER, R.M.; GORSKY, G.; STEMMANN, L.; KARL, D.M. Does eddy-eddy interaction control surface phytoplankton distribution and carbon export in the North Pacific Subtropical Gyre? **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 117, n. 2, p. 1–12, 2012.
- LACHKAR, Z.; GRUBER, N. Response of biological production and air–sea CO<sub>2</sub> fluxes to upwelling intensification in the California and Canary Current Systems. **Journal of Marine Systems**, v. 109–110, p. 149–160, jan. 2013.
- MACKAS, D. L.; YELLAND, D. R. Horizontal flux of nutrients and plankton across and along the British Columbia continental margin. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 46, n. 11–12, p. 2941–2967, 1999.
- OLIVEIRA, D. R. P.; CORDEIRO, L. G. M. S.; CARREIRA, R. S. Characterization of organic matter in cross-margin sediment transects of an upwelling region in the Campos Basin (SW Atlantic, Brazil) using lipid biomarkers. **Biogeochemistry**, v. 112, n. 1–3, p. 311–327, 24 mar. 2012.
- SLAGSTAD, D.; TANDE, K. S.; WASSMANN, P. Modelled carbon fluxes as validated by field data on the north Norwegian shelf during the productive period in 1994. **Sarsia**, v. 84, p. 303–317, 1999.