

## Painel

### Sensoriamento Remoto e Geomática - Sensoriamento Remoto e Geomática

## 33.34.392 - CLASSIFICAÇÃO DE PROVÍNCIAS BIOGEOQUÍMICAS MARINHAS NO ATLÂNTICO SUL

**JEAN FARHAT SILVA, MILTON KAMPEL**

Contato: JEAN FARHAT SILVA - JEANFARHAT7@GMAIL.COM

*Palavras-chave: Ambiente pelágico, paisagens marinhas, lógica fuzzy, sensoriamento remoto, geomática*

### INTRODUÇÃO

O oceano pelágico pode ser visto como um mosaico de paisagens marinhas (seascapes) distintas, no qual as distribuições de organismos são afetadas e fornecem feedbacks aos processos físicos e biogeoquímicos em múltiplas escalas de organização espacial, temporal e biológica (KAVANAUGH et al 2014). Compreender a estrutura espacial e a função do ecossistema pelágico está no cerne da oceanografia atual (KOSTADINOV et al., 2017). Estruturas espaciais são encontradas na camada superior do oceano em diferentes escalas horizontais uma vez que o oceano é forçado simultaneamente em um amplo espectro de escalas (PLATT e SATHYENDRANATH, 1999). Entretanto, são nas escalas global e regional que se postulam questões importantes, como por exemplo, o papel da produtividade primária oceânica no ciclo global do carbono (SIEGEL et al., 2014).

Abordagens categóricas já foram aplicadas à partição do domínio oceânico em províncias biogeoquímicas marinhas – PBGQ (LONGHURST, 2007). Outros estudos identificaram unidades ecológicas como os grandes ecossistemas marinhos (SHERMAN 2005) ou ecorregiões marinhas (SPALDING et al 2007) buscando compreender os mecanismos de interação e controle de processos físicos, químicos e biológicos que refletem a heterogeneidade do ambiente oceânico.

Considerando a distribuição dinâmica das PBGQ (PLATT et al., 2005), a utilização de dados de sensoriamento remoto apresenta grande potencial de aplicação pois permite caracterizar a variabilidade espaço-temporal, com possibilidade de atualizações ao longo do tempo em escala global (IOCCG 2009). A localização das principais correntes oceânicas superficiais e, particularmente dos giros oceânicos, definem basicamente os limites destas PBGQ (SEALEY e BUSTAMANTE, 1999).

O objetivo do presente trabalho é classificar objetivamente o oceano Atlântico Sul em PBGQ utilizando dados de sensoriamento remoto e modelagem numérica.

### METODOLOGIA

A área de estudo compreende o oceano Atlântico Sul aqui limitado entre as latitudes 10°N - 60°S e longitudes 70°W - 30°E. Foi gerada uma base de dados composta por produtos mensais de sensoriamento remoto e modelagem numérica, reamostrados para a resolução espacial de 9 km, referente ao período 2006-2015, incluindo as seguintes variáveis: temperatura da superfície do mar (TSM), concentração de clorofila-a na superfície do mar (CSM), radiação fotossintética disponível (PAR), profundidade da camada de mistura (PCM), e batimetria (BAT). Os produtos de sensoriamento remoto TSM, CSM e PAR são derivados do sensor MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) da Agência Espacial dos EUA (NASA), disponíveis em: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>. Os dados de PCM derivados de modelo numérico são disponibilizados pelo Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center em: <http://orca.science.oregonstate.edu>. Os dados batimétricos foram obtidos da base ETOPO1 disponibilizada pela Administração Atmosférica e Oceânica dos EUA (NOAA) em: <http://maps.ngdc.noaa.gov>.

Foi utilizado um classificador não-supervisionado baseado na lógica fuzzy para identificar as regiões com variabilidades espaço-temporais semelhantes consideradas como as PBGQ na área de estudo. O algoritmo Fuzzy C-MEANS (FCM) proposto por Bezdek (1984) permite que um determinado objeto pertença a duas ou mais classes, apresentando grau de pertinência a cada classe gerada na classificação. No algoritmo FCM, o "C" representa o número de classes de entrada. O critério Silhouette foi utilizado para definir o número ideal de classes, como sugerido por Subbalakshmi et al (2015). A partir da aplicação do FCM, foram gerados mapas da distribuição espacial das PBGQ e dos respectivos graus de pertinência de cada pixel. Foram calculados os valores médios, máximos e mínimos das variáveis ambientais para cada PBGQ.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a aplicação do critério Silhouette foram definidas oito classes de entrada no algoritmo FCM. Trabalhos anteriores como o de Spalding et al (2012) e Longhurst (2007), dividiram o oceano

Atlântico Sul em 10, 11 e 6 PBGQ, respectivamente. Nenhum destes autores utilizou uma métrica objetiva para identificar o número ideal de partições. A distribuição aproximadamente zonal das PBGQ anuais identificadas no presente trabalho indica uma variação latitudinal, ainda que com assimetrias em localidades próximas aos continentes sul-americano e africano. Estas assimetrias apontam regiões banhadas por correntes oceânicas e a presença de feições oceanográficas como ressurgências.

A PBGQ 1 denominada como “Província Equatorial/Tropical” apresenta a maior área em relação às demais, com 16.171.289,927 km<sup>2</sup>. As variáveis TSM, CSM, PAR, PCM e BAT apresentam valores médios de 26,94°C, 0,13 mg.m<sup>-3</sup>, 46,66 Einsten.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 29,43 m e 3895,11 m, respectivamente. Esta PBGQ 1 é caracterizada pela presença de correntes quentes e intensa radiação solar próximo à região equatorial, além de alta produtividade primária (indexada pela CSM) na costa africana. É comparável às características e processos oceânicos descritos por Longhurst (2007) e Vichi et al (2011) que denominam esta parte do oceano Atlântico Sul como “Província do Atlântico Oeste Tropical”.

A PBGQ 2 denominada como “Giro Subtropical” apresenta uma área de 9.269.036,015 km<sup>2</sup> e valores médios de 24,44°C, 0,07 mg.m<sup>-3</sup>, 44,71 Einsten.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 43,18 m e 4172,47 m. Assemelha-se à descrição de Silveira et al. (2014) por se tratar de uma região oligotrófica.

A PBGQ 3 é aqui denominada como “Atlântico Sul” devido à presença da Corrente do Atlântico Sul. Apresenta uma área de 8.529.109,493 km<sup>2</sup> e valores médios de 20,91°C, 0,14 mg.m<sup>-3</sup>, 38,39 Einsten.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 51,95 m e 4011,39 m.

A PBGQ 4 denominada como “Convergência Subtropical Norte” abrange a região da Convergência Subtropical incluindo a Confluência Brasil-Malvinas. Apresenta uma área de 5.113.876,769 km<sup>2</sup> e valores médios de 17,26°C, 0,33 mg.m<sup>-3</sup>, 32,37 Einsten.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 60,89 m e 3907,84 m. Assemelha-se à Província da Convergência Subtropical Sul identificada por Longhurst (2007) e apresenta similaridades a uma ecorregião definida por Spalding et al (2012) e Reygondeau et al (2013).

A PBGQ 5 denominada como “Convergência Subtropical Sul” localiza-se entre ~40°S-50°S ocupando a porção sul da Convergência Subtropical, onde ocorrem variações bruscas de TSM e salinidade. Apresenta uma área de 4.404.571,609 km<sup>2</sup> e valores médios de 12,46°C, 0,41 mg.m<sup>-3</sup>, 27,95 Einsten.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 75,71 m e 4144,12 m.

A PBGQ 6 denominada como “Subantártica” apresenta como principal feição a Frente Subantártica. Ocupa a menor área de todas as PBGQ com 3.228.738,454 km<sup>2</sup> e valores médios

de 7,56°C, 0,31 mg.m<sup>-3</sup>, 24,22 Einsten.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 102,82 m e 3235,13 m.

A PBGQ 7 denominada como “Polar” engloba a região de ocorrência da Frente Polar, com área de 3.251.705,170 km<sup>2</sup> e valores médios de 4,04°C, 0,29 mg.m<sup>-3</sup>, 20,37 Einsten.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 102,82 m e 3733,72 m. Assemelha-se à Província do Anel Subantártico descrita por Longhurst (2007) também mencionada por Vichi et al (2011) e Reygondeau et al (2013).

A PBGQ 8 denominada como “Circumpolar Antártica” é associada à Corrente Circumpolar Antártica (CCA), com área de 4.887.554,613 km<sup>2</sup> e valores médios de 1,0 °C, 0,31 mg.m<sup>-3</sup>, 16,98 Einsten.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 161,15 m e 3898,81 m. Compreende parte da província que segundo Longhurst (2007), Vichi et al (2011) e Reygondeau et al (2013) é caracterizada por incluir o ramo sul da CCA.

## CONCLUSÃO

Províncias biogeoquímicas são categorias utilizadas para comparar e contrastar processos biogeoquímicos e biodiversidade entre regiões oceânicas (OLIVER e IRWIN, 2008). O uso do classificador FCM e de séries temporais de dados globais de sensoriamento remoto e de modelos numéricos possibilitaram particionar o ambiente pelágico do oceano Atlântico Sul em oito províncias. No geral, a distribuição das PBGQ identificadas é coerente com classificações previamente apresentadas. As inovações aqui são o uso de uma métrica objetiva para definir o número de classes e a alta resolução espacial da base de dados em comparação com trabalhos anteriores.

As paisagens marinhas do ambiente pelágico são alimentadas por processos planctônicos, onde o tamanho e o comportamento dos organismos devem ser coerentes com estruturas oceanográficas físicas dinâmicas (KAVANAUGH et al., 2016). As paisagens marinhas pelágicas são moldadas pela hidrologia e turbulência que variam em espaço, tempo e profundidade. Assim, deve-se reconhecer que a identificação de províncias temporalmente estáticas pode ser melhorada ao capturar a variabilidade sazonal das paisagens marinhas.

Os ecossistemas marinhos enfrentam estressores múltiplos associados a mudanças globais, incluindo o aumento da temperatura e a redução do pH, oxigênio e produtividade (DONEY et al 2012). Os impactos ocasionados tem sido uma temática relevante para a projeção de cenários futuros (FOO e BYRNE 2017). Entretanto, projetar mudanças futuras é problemático uma vez que as pressões podem ter pegadas espaciais diferentes ou sobrepostas (BOYD et al., 2015), ou afetar os ecossistemas de forma diferenciada em escalas locais ou globais.

Embora sejam uma representação simplificada de um ambiente complexo, as seascapes ou PBGQ podem servir como proxies naturais para processos oceanográficos ecologicamente importantes que ditam a distribuição das espécies.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYD, P.W. et al. 2015. Biological ramifications of climate-change-mediated oceanic multi-stressors. *Nature Climate Change*, 5:71–79.
- BREDZEK, J.C. 1981. *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press, New York.
- DONEY, S.C. et al. 2012. Climate change impacts on marine ecosystems. *Annual Reviews of Marine Science*, 4:11–37.
- FOO, S.; BYRNE, M. 2017. Marine gametes in a changing ocean: impacts of climate change stressors on fecundity and the egg. *Marine Environmental Research*, 128:12-24.
- IOCCG 2009. Partition of the ocean into ecological provinces: Role of ocean-colour radiometry. *Reports and Monographs of the International Ocean-Colour Coordinating Group*, vol. 9, Dowell, M.; Platt, T.; Stuart, V., Dartmouth, Nova Scotia. p. 1-98.
- KAVANAUGH, M.T. et al. 2014. Hierarchical and dynamic seascapes: A quantitative framework for scaling pelagic biogeochemistry and ecology. *Progress in Oceanography*, 120:291–304.
- KAVANAUGH, M. et al. 2016. Seascapes as a new vernacular for pelagic ocean monitoring, management and conservation. *ICES Journal of Marine Science*, 73:1839–1850.
- KOSTADINOV, T.S. et al. 2017. Inter-comparison of phytoplankton functional type phenology metrics derived from ocean color algorithms and Earth System Models. *Remote Sensing of Environment*, 190:162-177.
- LONGHURST, A. 2007. *Ecological Geography of the Sea*, Academic Press, London. 575p.
- Oliver, M.J.; Irwin, A.J. 2008. Objective global ocean biogeographic provinces, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L15601.
- PLATT, T. et al. 2005. Physical forcing and phytoplankton distributions. *Scientia Marina*, 69: 55-73.
- REYGONDEAU, G. et al. 2013. Dynamic biogeochemical provinces in the global ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 27(4) :1046-1058.
- SEALEY K.S.; BUSTAMANTE, G. 1999. *Setting Geographic Priorities for Marine Conservation in Latin America and the Caribbean*, The Nature Conservancy, Arlington, Virginia. 146p.
- SHERMAN, K. 2005. The large marine ecosystem approach for assessment and management of ocean coastal waters. In: Hennessey, T.M; Sutinen, J.G. (eds.), *Sustaining Large Marine Ecosystems: The Human Dimension*, Elsevier B.V., Amsterdam. p. 3-16.
- SIEGEL, D. et al. 2014. Global Biogeochemical Cycles. *Global Biogeochemical Cycles*, 28: 181-196.
- Spalding, M.D. et al. 2007. Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas, *BioScience*, 57:573-583.
- SPALDING, M.D. et al. 2012. Pelagic provinces of the world: A biogeographic classification of the world's surface pelagic Waters. *Ocean & Coastal Management*. 60:19-30.
- SUBBALAKSHMI, C. et al. 2015. A Method to Find Optimum Number of Clusters Based on Fuzzy Silhouette on Dynamic Data Set. *Procedia Computer Science*, 46:346-353.
- VICHI, M. et al. 2011. The emergence of ocean biogeochemical provinces: A quantitative assessment and a diagnostic for model evaluation. *Global Biogeochemical Cycles*, 25 :17.

## FONTE FINANCIADORA

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projeto CRN3094 do Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) suportado pela US National Science Foundation (Grant GEO-1128040). Silva, J.F.A é bolsista CAPES de mestrado.