

Caracterização da distribuição espacial de PCO_2 na margem equatorial da foz do rio Amazonas

Resumo

O tamanho e o volume das águas do rio Amazonas impressionam, responsável por aproximadamente $\frac{1}{4}$ de toda água doce despejada no oceano, a pluma do rio Amazonas se estende por centenas de quilômetros dentro do Atlântico Tropical Ocidental. Esse rio vem sendo estudado por décadas e só com as tecnologias de Sensoriamento Remoto a complexidade desse sistema pode ser entendida. Nesse sentido para uma melhor compreensão desse sistema é importante a caracterização ambiental detalhada. Devido à extensão desse ecossistema, os processos de trocas gasosas são importantes para o ciclo do carbono em escala global, recentes trabalhos utilizam o sensoriamento remoto na estimativa da pressão parcial de carbono (PCO_2). Com a utilização de algoritmos aplicados a dados de satélite, foi possível entender a distribuição da pCO_2 em um gradiente de influência do Rio Amazonas sobre o Oceano Atlântico.

Introdução

A realização de amostragens clássicas na margem equatorial da foz do rio Amazonas representa um desafio pra ciência. Nesse sentido o sensoriamento remoto é uma ferramenta imprescindível para qualquer estudo que utilize a abordagem espaço-temporal, com ele é viável o monitoramento da variabilidade das concentrações de carbono e outros parâmetros biogeoquímicos nas águas amazônicas.

A pluma do rio Amazonas pode se estender por uma área de até 106 Km² no Atlântico Norte Tropical Ocidental (MOLLERI et al., 2010). A salinidade é altamente variável e dependente da sazonalidade. A água da superfície da pluma pode ser menos salina do que a água abaixo da camada de barreira no oceano (LENTZ; LIMBURNER, 1995).

A extensão sazonal da pluma é o resultado de vários processos incluindo a descarga do rio Amazonas, processo de advecção, chuvas oceânicas e turbulência causada pela mistura por ventos sazonais (GRODSKY et al., 2014).

De acordo com estudos prévios feitos na região (SAWAKUCHI et al., 2017; WARD et al., 2015; BITTENCOURT; AMADIO, 2007) o ciclo sazonal de descarga do Rio Amazonas é definido como: enchente (Janeiro, Fevereiro e Março), cheia (Abril, Maio e Junho), Vazante (Julho, Agosto e Setembro) e seca (Outubro, Novembro e Dezembro).

Área de Estudo

O banco de dados foi recortado na abrangência da margem equatorial da foz do rio Amazonas (15°N-5°S; 60°W-45°W) e com a utilização do software SeaDAS 7.4 (<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>) foram realizadas as álgebras de mapas e aplicação das técnicas de geoprocessamento que resultaram nos mapas de caracterização proposta.

CDOM

As substâncias amarelas (Gelbstoff, matéria orgânica dissolvida colorida, CDOM ou gilvin) que é um grupo de substâncias dissolvidas, orgânicas, compostas por ácidos húmicos e fúlvicos. Podem ter origem local, por exemplo, da degradação de células e partículas orgânicas, ou podem ser trazidas até uma localidade a partir de uma fonte distante. Por exemplo, rios que fluem dentro de matas fechadas e/ou sobre solos ricos em matéria orgânica acumulam carga de substância amarela em seu curso. Locais onde a substância amarela é acumulada de fontes distantes têm uma concentração maior do que regiões onde a substância amarela é formada localmente. O espectro de absorção dos detritos é bem parecido com o espectro de absorção da substância amarela. Por isso, por praticidade, em sensoriamento remoto, esse componente é frequentemente associado com a componente substância amarela (IOCCG, 2000).

Particularmente alto no domínio espectral do ultravioleta, o espectro de absorção do CDOM tem um aumento exponencial em comprimentos de ondas menores (BRICAUD et al., 1981).

Pressão parcial de dióxido de carbono (pCO₂)

A degradação contínua da matéria orgânica dissolvida através de processos biológicos e fotoquímicos contribuem para o aumento da pressão parcial de dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) acima do equilíbrio com a atmosfera. A supersaturação do CO_2 leva a uma evasão do fluxo de gás da água para a atmosfera (KOEHLER et al., 2014). Alguns trabalhos vem sendo desenvolvidos em sistemas lênticos boreais e temperados (LARSEN et al., 2011). Existe uma escassez de trabalhos sobre a utilização da relação entre o carbono orgânico dissolvido e a $p\text{CO}_2$.

A utilização de algoritmos empíricos para a estimativa de parâmetros oceanográficos vem amplamente sendo aplicada em séries de dados com diferentes aplicações científicas. O algoritmo utilizado para a estimativa do $p\text{CO}_2$ foi desenvolvido no trabalho de Valério et. al., 2018, que realizou uma série de cruzeiros oceanográficos por toda a extensão do rio Amazonas e que com a utilização de técnicas estatísticas desenvolveu um modelo empírico para a recuperação de valores de $p\text{CO}_2$ utilizando dados de produtos de imagens de satélites.

Dessa forma, a região da pluma do rio Amazonas é determinante no balanço de carbono global e assim, o objetivo desse trabalho é a caracterização sazonal do $p\text{CO}_2$ adquirido por dados de sensoriamento remoto.

Materiais e Métodos

A Figura 1 apresenta o diagrama de classes do banco de dados (modelo OMT-G). O satélite ENVISAT (Environmental Satellite) desenvolvido pela Agência Espacial Européia (ESA) terminou suas operações no ano de 2012. Nele, o sensor MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer), um espectrômetro de média resolução espacial, operou na faixa do visível ao infravermelho próximo (400 a 900 nm) gerando um banco de dados muito representativo, de mais de uma década, muito utilizado em vários setores das Ciências Terrestres, importante para a caracterização ambiental e amplamente utilizado em oceanografia, um dos aspectos mais atraentes para a utilização desses dados para estimativas em ambientes aquáticos é a sensibilidade deste sensor aos principais componentes opticamente ativos da água, devido a sua configuração espectral planejada (MERIS, 2006). Nesse trabalho foi utilizado o banco de dados mensal do MERIS, para o período de Agosto de 2002 até Fevereiro de 2012.

Figura 1 - Representação semântica do modelo de dados.



Correção Atmosférica

A série de dados de satélites que foi utilizada nesse trabalho foi a do produto acdom412, de nível 3, que foi adquirida pelo portal da ESA (http://envisat.esa.int/level3/meris-level3/n412_2002.html) e o algoritmo utilizado para a correção atmosférica desse banco foi o Polymer (STEINMETZ et al., 2011), onde as imagens com mais de 30% de dados espúrios não foram utilizadas nesse estudo.

Algoritmo pCO2

O Trabalho de Valerio et al. (2018) descreve as relações entre a distribuição da pCO2 com outros parâmetros ambientais como salinidade, clorofila, temperatura e CDOM. Um dos algoritmos empíricos propostos nesse trabalho é o que determina a recuperação dos dados de pCO2 por meio dos valores de aCDOM(412), que está descrito na equação 1.

Equação 1:
$$pCO_2 = 1240 * aCDOM(412) - 1845$$

K Médias

O algoritmo de agrupamento (clustering) K-médias é um método de classificação não supervisionada e foi utilizado para classificar as imagens médias dos períodos de descarga

(enchente, cheia, vazante e seca). Os algoritmos de classificação não supervisionada são utilizados quando não se conhece o comportamento do conjunto de dados utilizados para definir os clusters, o que o torna menos sujeito a erros do usuário (VANTREPOTTE, et al.,2012).

Expectation–maximization (EM)

De acordo com Korting e Dutra. (2007), o algoritmo EM é baseado na teoria bayesiana onde um pixel de uma imagem pode se comportar de maneira diferente se vier da região de borda. Portanto, o comportamento global é provavelmente uma mistura dos dois comportamentos distintos. O objetivo das distribuições de misturas é produzir um modelo probabilístico composto por um conjunto de subclasses. Nessa abordagem, cada classe é caracterizada por um conjunto de parâmetros que descrevem a média e a variância dos componentes espectrais.

Resultados e Discussão

Todos os processamentos e análises foram feitos no software Seadas 7.4 da NASA (<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>). Por meio da utilização da matemática de bandas, os algoritmos foram aplicados e as imagens médias foram geradas. Com a aplicação do algoritmo K Médias sobre a série de médias foi gerada a Figura 2. É interessante notar a progressão do padrão da classe 4 no tempo(que são os pixels que têm o menor valor agrupados). Como o limiar de 3500 μatm (que foi a divisão de classe que agrupava os maiores valores de pCO_2) não mostrou uma boa visualização do resultado da classificação, optou-se por aplicar o algoritmo Expectation–maximization, disponível no mesmo software. Então foram selecionadas as imagens de probabilidades da classe de maior valor, evidenciando que o período de vazante que apresenta maior probabilidade de ter os maiores valores de pCO_2 na parte adjacente a boca do rio, na entrada da pluma no oceano.

Figura 2 – Aplicação da técnica de Classificação por K-médias aplicado sobre as médias dos períodos representativos da descarga do rio Amazonas. A – Enchente, B – Cheia, C – Vazante e D – Seca.

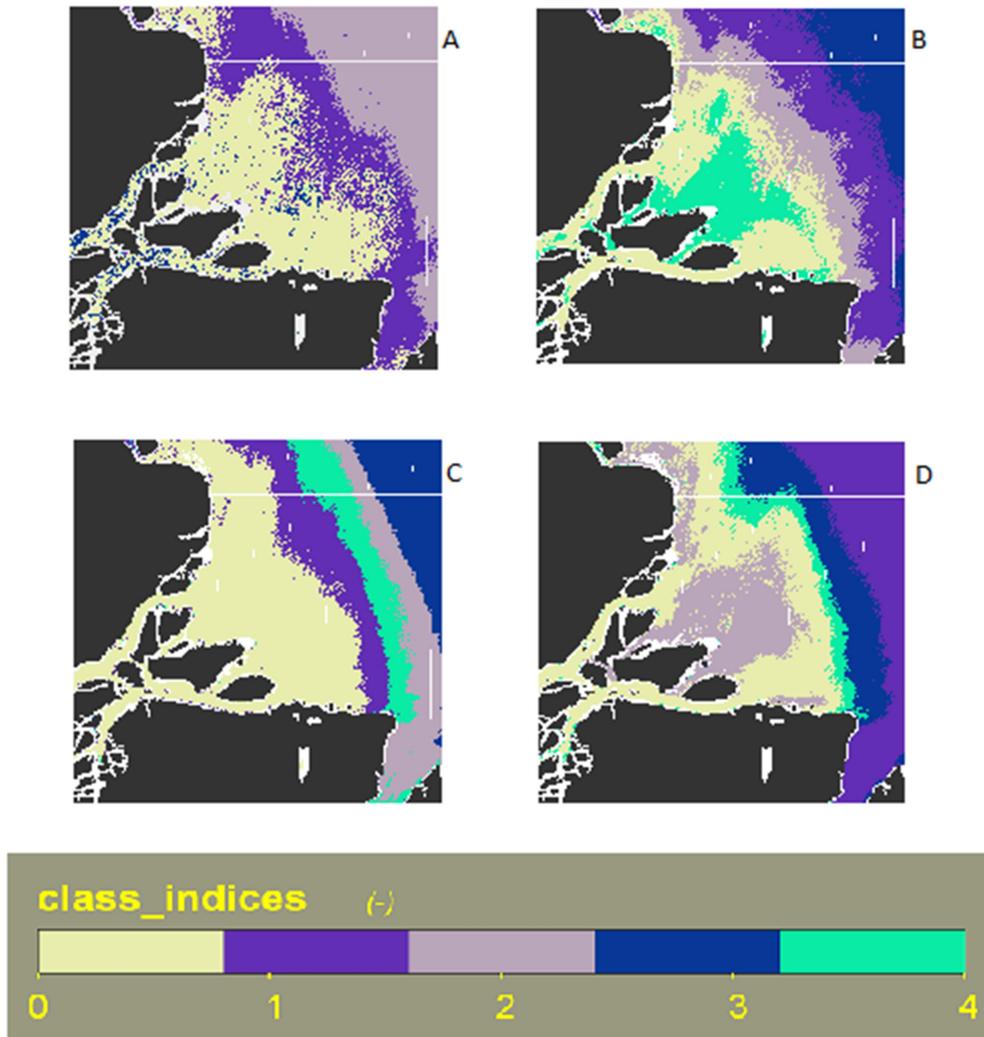
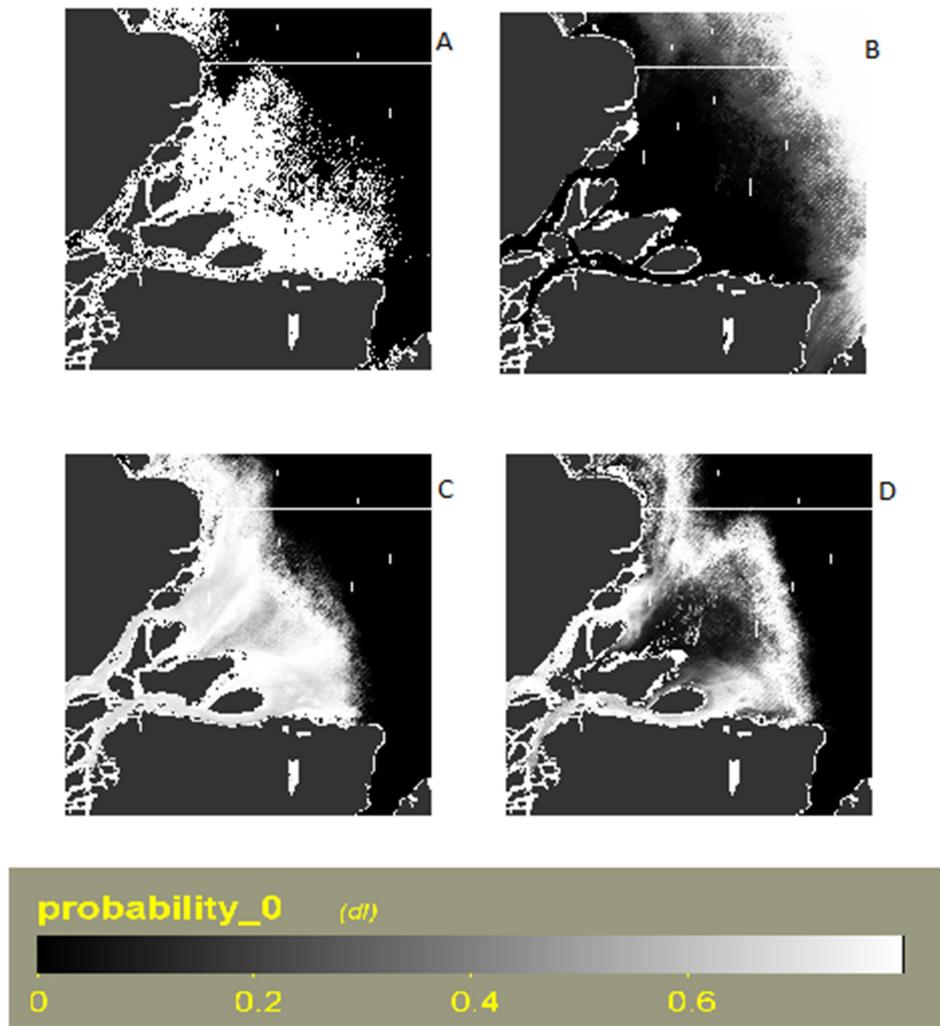


Figura 3 – Aplicação da técnica de Classificação por Expectation–maximization, aplicado sobre as médias dos períodos representativos da descarga do rio Amazonas. A – Enchente, B – Cheia, C – Vazante e D – Seca.



Conclusão

Com a utilização de técnicas estatísticas e de geoprocessamento para análise de variabilidade espaço temporal foi feita a caracterização sazonal da PCO_2 na margem equatorial da foz do rio Amazonas utilizando dados de sensoriamento remoto. A classificação das imagens médias para

o período de vazante apresentaram os maiores valores de pCO₂ agrupados na boca do rio, a aplicação do Expectation–maximization serviu para confirmar esse fato.

Referências Bibliográficas

BITTENCOURT, M. M.; AMADIO, S. A. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea Do Rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. **Acta Amazonica** v. 37, n. 2, p. 303-308, 2007.

BRICAUD, A.; MOREL, A.; PRIEUR, L. Absorption by Dissolved Organic Matter of the Sea (Yellow Substance) in the UV and Visible Domains. **Limnology and Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 43–53, 1981.

GRODSKY, S. A.; REVERDIN, G.; CARTON, J. A.; COLES, V. J. Year-to-year salinity changes in the Amazon plume: Contrasting 2011 and 2012 Aquarius/SACD and SMOS satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v. 140, p. 14–22, 2014.

International Ocean Colour Coordinating Group - IOCCG. **Remote sensing of ocean colour in coastal, and other optically-complex waters**. Report Number 3. 2000. 139 p.

KOEHLER, B.; LANDELIUS, T.; WEYHENMEYER, G. A.; MACHIDA, N.; TRANVIK, L. J. Sunlight-induced carbon dioxide emissions from inland waters. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 28, p. 696–711, 2014.

KORTING, T. S., DUTRA, L. V. Improvements to Expectation-Maximization approach for unsupervised classification of remote sensing data. In: IX Brazilian Symposium on GeoInformatics, Campos do Jordão, Brazil, November 25-28, 2007, INPE, p. 3-11.

LARSEN, S.; ANDERSEN, T.; HESSEN, D. O. The pCO₂ in boreal lakes: Organic carbon as a universal predictor? **Global Biogeochemical Cycles**, v. 25, n. 2, p. 1–8, 2011.

LENTZ, S. J.; LIMEBURNER, R. The Amazon River Plume during AMASSEDS: Subtidal current variability and the importance of wind forcing. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2355–2375, 1995.

MOLLERI, G. S. F.; NOVO, E. M. L. D. M.; KAMPEL, M. Space-time variability of the Amazon River plume based on satellite ocean color. **Continental Shelf Research**, v. 30, n. 3–4, p. 342–352, 2010.

MERIS. **Product handbook**. European Space Agency (ESA), 2006. Issue 2.1. 130 p. Disponível em: <https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/ENVISAT/MERIS/meris.ProductHandbook.2_1.pdf>

SAWAKUCHI, H. O.; NEU, V.; WARD, N. D.; BARROS, M. D. L. C.; VALERIO, A.; GAGNEMAYNARD, W.; CUNHA, A. C.; FERNANDA, D.; DINIZ, J. E.; BRITO, D. C.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E. Carbon dioxide emissions along the lower Amazon River. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, p. 1–12, 2017.

STEINMETZ, F.; DESCHAMPS, P.-Y.; RAMON, D. Atmospheric correction in presence of sun glint: application to MERIS. **Opt Express**, v. 19, n. 10, p.9783-9800, 2011.

WARD, N. D.; KRUSCHE, A. V.; SAWAKUCHI, H. O.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; MOURA, J. M. S.; DA SILVA, R.; YAGER, P. L.; KEIL, R. G.; RICHEY, J. E. The compositional evolution of dissolved and particulate organic matter along the lower Amazon River Óbidos to the ocean. **Marine Chemistry**, v. 177, p. 244–256, 2015.

VALERIO, A. M., KAMPEL, M. VANTREPOTTE, V., WARD, N. D., SAWAKUCHI, H. O. LESS, D. F. S., NEU, V., CUNHA, A., RICHEY, J. "Using CDOM optical properties for estimating DOC concentrations and pCO₂ in the Lower Amazon River," **Opt. Express** v. 26, p. A657-A677, 2018.

VANTREPOTTE, V.; LOISEL, H.; DESSAILLY, D.; MÉRIAUX, X. Optical classification of contrasted coastal waters. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 306–323, 2012.