

## Relação entre Salinidade e Produção Primária Marinha na pluma do rio Amazonas

Nelson de Almeida Gouveia<sup>1</sup>  
Douglas Francisco Marcolino Gherardi<sup>1</sup>  
Luiz Eduardo Aragão<sup>1</sup>  
Fabien Hubert Wagner<sup>1</sup>  
Eduardo Tavares Paes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
CP 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{douglas.gherardi,nelson.gouveia, luiz.aragao}@inpe.br; wagner.h.fabien@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos (ISARH), Universidade Federal Rural da  
Amazônia, Belém, PA, CP 66.077-901 Brasil  
eduardo.paes@ufra.edu.br

**Abstract.** The North Brazil Continental Shelf (NBCS) is characterized by high biological production associated with biogeochemical processes controlled by the interaction between river discharge and oceanic circulation. This interaction can be reflected in the variability of salinity in the continental shelf. The present study aims to create an empirical model of salinity and investigate the connections between salinity and primary productivity along the coastal and adjacent oceanic regions of NBCS. The salinity model was created with *in situ* data and satellite images. The resulting *in situ*-based salinity surfaces were compared with salinity images acquired by CONAE's SAC-D/Aquarius and ESA's SMOS/MIRAS satellites. The relative influence of salinity on primary productivity was investigated through an adjustment of a function that best represent the behavior of the variables. The salinity model showed results consistent with the Aquarius and SMOS satellite. The relationship between marine oceanic primary Productivity and salinity in coastal region presents a complex behavior which suffers continent and ocean influence differently in space.

**Palavras-chave:** produção primária, salinidade, sensoriamento remoto.

### 1. Introdução

A bacia do rio Amazonas drena uma área de cerca de  $6,1 \times 10^6$  km<sup>2</sup> e é responsável por aproximadamente 16% da descarga global de água doce proveniente de rios, o que representa, em média,  $5,7 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (Nittrouer e DeMaster, 1996; Moller et al., 2010). Além do seu impacto na dinâmica do Atlântico tropical oeste, a grande quantidade de material orgânico, sedimentos e substâncias dissolvidas transportadas pelo rio exercem forte influência sobre a estrutura da comunidade biológica da plataforma continental do Amazonas (PCA) (Dagg et al., 2004, Medeiros et al., 2015; Ward et al., 2015). Esta influência sobre a PCA está relacionada com deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pela corrente Norte do Brasil (CNB). A conexão que o rio Amazonas estabelece entre a hidrologia continental e o oceano dá origem a um ambiente caracterizado por diferentes processos de alteração da matéria orgânica dissolvida e da disponibilidade de luz, geralmente associados a faixas de salinidade (Goes et al., 2014; Subramanian et al., 2008, Medeiros et al., 2015). Assim, a salinidade da superfície do mar (SSM) é considerada como o melhor traçador da água doce no ambiente marinho, sendo usada para mapear a variabilidade espaço-temporal da pluma do rio Amazonas (PRA).

Nas últimas décadas, as mudanças globais no balanço de água doce foram responsáveis pelo aumento na salinidade da superfície do mar no Atlântico Subtropical Norte (Curry et al., 2003; Gordon e Giulivi, 2008). Entretanto, ainda não se sabe qual o impacto dessa mudança

na produtividade primária marinha. Subramanian et al. (2008), ao estudarem a influência do rio Amazonas nos ciclos de carbono e nitrogênio na região costeira Amazônica, segmenta as regiões com base em valores de SSM. Goes et al. (2014) em suas análises identificaram três comunidades biológicas distintas que foram separadas com base em gradientes de salinidade. Entretanto, os mesmos autores, reforçam a ideia de que a salinidade é um fator determinante da estrutura de comunidades fitoplanctônicas no interior da PRA, embora não existam estudos conhecidos que tenham abordado os efeitos da salinidade sobre a fisiologia do fitoplâncton na PRA. Assim, a variação da SSM é uma variável que explica grande parte da variação da produtividade primária da costa Norte Amazônica. O presente trabalho tem como objetivo identificar o grau de influência da SSM sobre a produtividade primária da região costeira Amazônica e comparar um modelo estatístico de salinidade, gerado a partir de dados *in situ* SSM e coeficiente de absorção da matéria orgânica e detritus ( $a_{cdom}$ ) em 443 nm, com as observações de SSM provenientes dos satélites *Soil Moisture and Ocean Salinity* (SMOS) e *Aquarius*.

## 2. Materiais e métodos

A área de estudo compreende a costa Norte da região Amazônica entre os limites longitudinais entre 40°W e 60°W e latitudinais entre 3°S e 20°N. Esse recorte foi definido com base em artigos que estudaram a PRA (Hu et al., 2003; Del Vecchio e Subramaniam, 2004; Moller et al., 2010; Fournier et al., 2015).

### 2.1 Modelo Empírico de salinidade (MES)

Sabe-se que há elevada correlação linear negativa entre a SSM e o  $a_{cdom}$  (Hu et al., 2004; Del Vecchio e Subramaniam, 2004; Moller et al., 2010; Fournier et al., 2015). O modelo para a estimativa de salinidade foi criado pela regressão linear entre os dados de coeficiente de absorção da matéria orgânica e detritos em 443nm ( $a_{cdom443}$ ) do modelo Garver-Siegel-Maritorena (GSM) elaborado por imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo do satélite *Aqua* com 4km de resolução espacial e 8 dias de resolução temporal, disponíveis no site <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>>, e dados *in situ*. Os dados *in situ* são provenientes de flutuadores argo, termosalinógrafo e sensor CTD (Conductivity, Temperature, Depth). Os dados de argo e termosalinógrafo foram obtidos no site <<http://www.coriolis.eu.org/>> nos pontos mostrados na Fig. 1a, e são representativos da região de estudo. Esses dados são submetidos a um rigoroso controle de qualidade que visa detectar e corrigir desvios nos dados. Os dados do CTD são do modelo Hydrolab DS5X oriundos de cruzeiros oceanográficos conduzidos pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ambientes Marinhos Tropicais-INCT – AmbTropic. Esses dados são de cruzeiros que foram realizados de abril/2013 a janeiro/2015 com intervalo de três meses entre uma coleta e outra. O transecto se inicia a 23 km da ponta leste da Ilha do Marajó, na Plataforma Continental Amazônica até a batimetria de 100 m.

Para elaboração do MES consideraram-se alguns critérios: 1) apenas os dados classificados como bons foram adquiridos da base de dados coletada pela base de dados Coriolis, 2) os valores de salinidade *in situ* utilizados para realização da regressão foram aqueles que se localizavam dentro do pixel de  $a_{cdom443}$ , onde o valor do ponto de salinidade seria comparado com o valor do pixel de  $a_{cdom443}$  em que ele se localiza, 3) os valores de salinidade usados foram os que se localizavam em aproximadamente 5 metros de profundidade. Para testar a significância do MES, utilizou-se o teste *t* de Student e a técnica de *bootstrapping* com intervalo de confiança de 95%.

### 2.3 Comparação do MES com imagens de salinidade estimadas pelo SMOS e Aquarius

O satélite SMOS foi lançado em novembro de 2009. A missão SMOS transporta *Microwave Imaging Radiometer with Aperture Synthesis* (MIRAS) que opera na banda L(1,4 GHz) que obtém a temperaturas de brilho da superfície terrestre em diferentes ângulos de incidência. O satélite Aquarius foi lançado em junho de 2011 carregando um radiômetro de microondas na frequência 1,413 GHz que capta a temperatura de brilho juntamente com um scatterômetro de 1,26 GHz para correção de rugosidade da superfície.

Calculou-se compósitos sazonais do MES utilizando-se os dados do Aquarius, com 110km de resolução espacial, disponíveis no <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>>, e dados do produto SMOS CATDS CEC LOCEAN\_v2013, com 25km de resolução espacial, disponíveis no <<http://www.catds.fr>>. Estes resultados foram comparados por meio de mapas de diferenças, utilizando-se o método bilinear para reamostrar (degradar) as imagens de maiores resoluções espaciais.

## 2.4 Relação entre Produtividade Primária e salinidade do MES, SMOS e Aquarius

Neste trabalho, adotou-se o modelo de produção generalizado verticalmente (PP<sub>VGPM</sub>) descrito por Behrenfeld e Falkowski (1997) disponíveis em<<http://www.science.oregonstate.edu/>>. Este modelo leva em consideração as seguintes variáveis: a taxa fotossintética máxima específica da clorofila a; a irradiância PAR total, o fotoperíodo, a concentração de clorofila *a* obtida pelo sensor MODIS-Aqua; e a profundidade da zona eufótica. Comparou-se por meio de gráficos de dispersão sazonais a relação entre a PP<sub>VGPM</sub> e os dados de salinidade MES, SMOS e Aquarius, para avaliar o modo com que diferentes dados de salinidade explicam a variabilidade da produtividade em diferentes épocas do ano. Também foi utilizada a interpolação bilinear antes da construção dos gráficos, devido à diferenças nas resoluções espaciais.

## 2.5 Modelagem da influência da salinidade sobre a PP<sub>VGPM</sub>

Para modelar a influência da SSM sobre a PP<sub>VGPM</sub>, ajustou-se uma função logística inversa, tal relação foi percebida na etapa anterior, em que a produtividade primária estimada é dada pela Equação 1.

$$PP_{est_{i,j,k}} = PP \left( 1 - \frac{2 \exp \left( \frac{Sal_{i,j,k} - \rho_1}{\rho_2} \right)}{\left( 1 + \exp \left( \frac{Sal_{i,j,k} - \rho_1}{\rho_2} \right) \right)} \right) \quad (1)$$

Onde o  $PP_{est_{i,j}}$  e  $Sal_{i,j,k}$  correspondem a produtividade primária estimada e a salinidade, respectivamente, em cada pixel com localização *i* e *j* no espaço no tempo *k*. *PP* é o máximo valor de produtividade na série temporal.  $\rho_1$  e  $\rho_2$  são parâmetros de ajuste do modelo que são calculados por meio de “*n*” iterações até que o desvio médio quadrático, entre os valores observados e estimados, alcancem valores mais próximos de 0.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 MES e Comparação com SMOS e Aquarius

O modelo MES foi capaz de capturar os principais processos sazonais que ocorrem na região. Como a dispersão noroeste da PRA, a retroflexão da CNB, a contra corrente Norte equatorial e os indícios de formação de vórtices. Encontrou-se uma relação negativa significativa ( $R^2= 0,86, n=85, p\text{-valor}<0,05$ ) entre os dados *in situ* de SSM e o produto  $a_{cdom443}$  dada por  $SSM = -17.012 a_{cdom443} + 35.953$ . Alguns trabalhos obtiveram resultados semelhantes, como Hu et al, (2004)  $SSM = -118,24 a_{cdom}(400\text{ nm}) + 38,18$ ;  $R^2= 0,74$ ;  $n=41$ ), usando

amostras de flutuadores S-PALACE e valores de SSM entre 34 e 37 psu. Del Vecchio e Subramaniam (2004) identificaram diferentes relações lineares entre SSM e  $K_{490}$  e  $a_{cdom}$  (335 nm) utilizando valores de SSM entre 22 e 37, dentre diversas equações, tem-se  $SSM = -5.85 a_{cdom} (335 \text{ nm}) + 36.37$ . Moller et al. (2010) determinou  $SSM = -126.03 a_{cdom443} + 37.259$  coletando 30 amostras provenientes de estações oceanográficas com valores SSM entre 32 e 36 psu. A principal diferença entre a equação encontrada neste trabalho e os outros está no coeficiente angular. Essa diferença pode estar relacionada à maior amplitude de valores de salinidade utilizados no presente modelo, entre 15 e 35psu, bem como a localização dos pontos amostrados próximos à Costa (Fig.1).

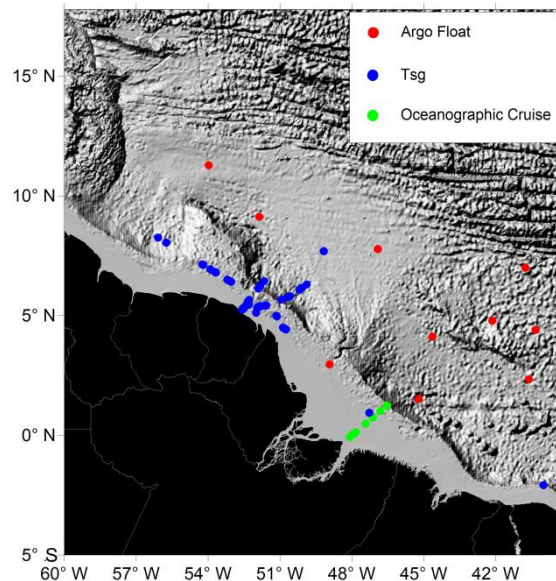


Figura 1. Área de estudo e localização dos pontos para elaboração do MES.

As menores diferenças entre os compósitos sazonais do MES e os dados do Aquarius e SMOS ocorreram no verão austral (Fig. 2(a) e 2(c)), e as maiores nos invernos austrais (Fig. 2b e d). Percebeu-se que o MES tende a ter valores maiores longe da costa e menores próximos à costa em relação aos sensores orbitais. Atribui-se essas discrepâncias próximas à costa a: (1) baixa resolução espacial dos sensores SMOS e Aquarius; (2) problema de contaminação continente-oceano; (3) Interferências por rádio frequências. De modo geral, ambos os radiômetros de microondas passivos estimam a temperatura de brilho da superfície do mar usando a banda L (1,4-1,427 GHz), então essa é convertida em salinidade por meio de um modelo geofísico. Dessa forma a contaminação continente-oceano consiste, fundamentalmente, em um ligeiro aumento da temperatura de brilho da água em zonas próximas a grandes áreas costeiras, causando, possivelmente, maiores estimativas de salinidade. Percebeu-se durante a análise dos dados que o Aquarius tende a apresentar valores de SSM maiores que os SMOS em regiões próximas ao continente. Provavelmente pixels de menores resoluções espaciais, sofrem mais influência dessas contaminações. Em regiões mais distantes da costa o MES apresentou valores maiores que os sensores, isso pode estar relacionado aos dados utilizados para estimar a salinidade. Os dados *in situ* são geralmente medidos até 5 m de profundidade, enquanto os instrumentos espaciais medem apenas os primeiros centímetros do oceano. Neste trabalho constatou-se em algumas situações que na área da pluma do Amazonas, os gradientes SSM chegam variar em torno de 6 *practical salinity unit* (psu) nos primeiros 5 metros de profundidade.

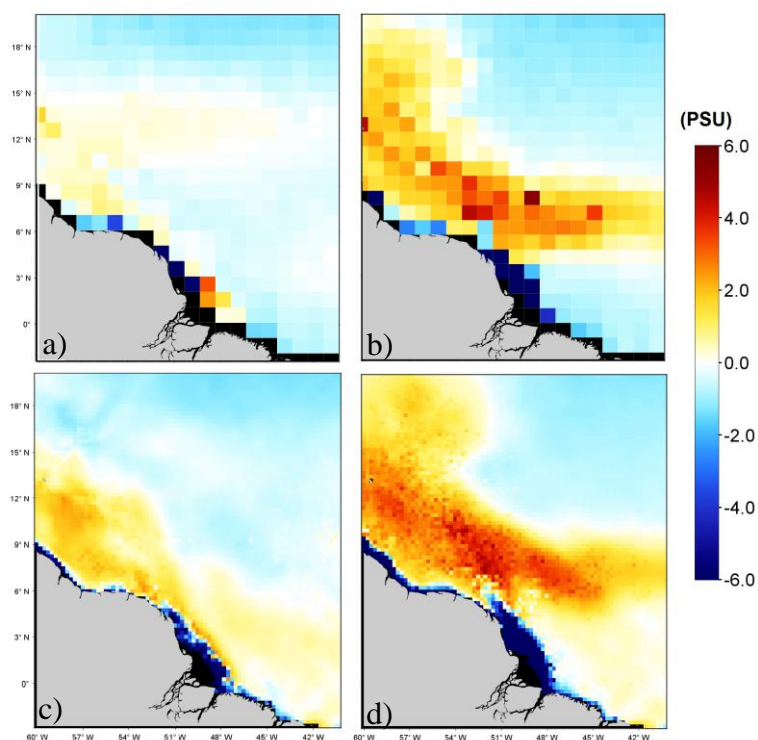


Figura 2. Diferença entre os compósitos sazonais para: (a)MES-Aquarius (Dez/Jan/Fev), (b) MES-Aquarius (Jun/Jul/Ago), (c)MES-SMOS (Dez/Jan/Fev), (d) MES-SMOS (Jun/Jul/Ago).

### 3.2 Relação entre Produtividade Primária e Salinidade

O MES permitiu identificar claramente a relação sigmoïdal inversa entre as variáveis, produtividade primária e salinidade, apresentando o comportamento sazonal característico. No verão austral (Fig.3a) a relação entre salinidade e produtividade pode ser decomposta em três regimes evidentes. Um regime é dado pela relação linear direta entre a SSM (entre 32.5 a 36psu) e  $PP_{VGPM}$ . Os outros dois ocorrem em regiões com valores de SSM menores que 32.5 psu, apresentando áreas de alta  $PP_{VGPM}$  (patamar superior da Fig.3a) e baixa  $PP_{VGPM}$  (patamar inferior da Fig.3a). Esses regimes se misturam ao longo do ano (Fig.3d), atingindo a estabilidade por volta do verão austral. Considerando a proposta de Subramanian et al. (2008), que divide regiões de baixa salinidade (<30psu), mesohalinas (entre 30 e 35psu) e regiões oceânicas (>35psu), percebe-se na Fig.3d, que tanto as regiões de baixa salinidade quanto as mesohalinas estão submetidas a processos que podem causar tanto o aumento quanto a diminuição da  $PP_{VGPM}$ . Isto pode estar relacionado aos processos responsáveis pela transformação da matéria orgânica dissolvida (MOD) por bactérias, fitoplâncton e processos fotoquímicos. Experimentos de incubação e análises realizados por Medeiros et al. (2015) mostraram que na região mesohalina, há uma presença significativa de MOD de origem fitoplanctônica e que a proporção em que as frações continentais e marinhas ocorrem, tanto em períodos de maior como de menor vazão, são controladas pela diluição da água da pluma pelo oceano. De fato, na região mesohalina, ocorre influência tanto de processos continentais quanto oceânicos (Subramanian et al., 2008). Sugere-se, portanto, que a segmentação da pluma por faixas de salinidade, talvez não seja uma forma mais acurada de se descrever a dinâmica da PRA quando se leva em consideração a sua influência na produtividade primária.

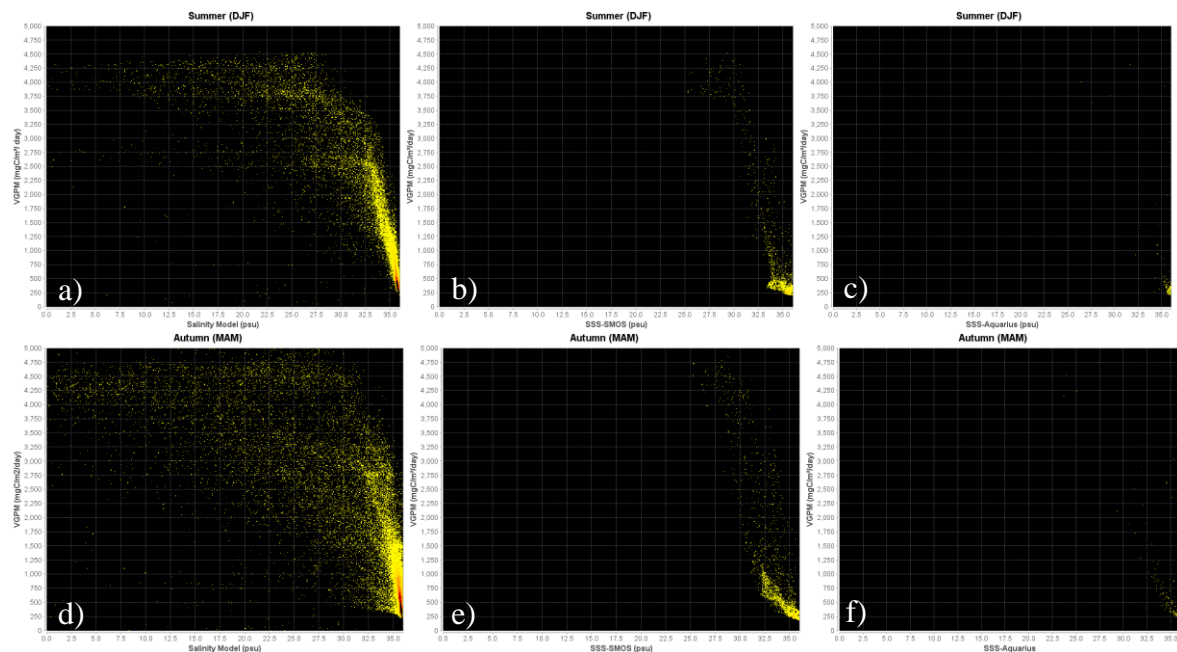


Figura 3. Gráfico de dispersão entre valores de SSM (eixo x) e  $PP_{VGPM}$  (eixo y) para os meses Dez/Jan/Fev utilizando o MES(a), SMOS(b) e Aquarius(c) e para os meses de Mar/Abr/Mai utilizando o MES(d), SMOS(e) e Aquarius(f).

A influência da SSM sobre  $PP_{VGPM}$  vai aumentando com o distanciamento da costa. Em regiões mais costeiras, essa influência é mínima ou praticamente nula (Fig.4(a)). Observando-se a extensão máxima média da PRA (Fig.4(b)), verifica-se que a SSM tem grande influência em regiões entre 30 a 35.5 psu e pouca influência em áreas com SSM menores que 30 psu. Podem-se perceber, claramente, os limites de influência entre os processos continentais e oceânicos. A produtividade primária, em regiões mais próximas ao continente (tons de azul escuro na Fig.4a) é influenciada apenas pelo aporte do RA, onde as macromoléculas da MOD são quebradas, principalmente, por atividade bacteriana.

Subramaniam et al. (2008) identificaram, em suas estações de coleta, que em regiões próximas a costa existe quantidade suficiente de fósforo, silicato e nitrogênio para suportar as espécies que ali vivem. Estes autores constataram também que 70% da absorção total da REM é realizada pela matéria orgânica dissolvida. Smith et al. (1996) afirmaram que nessas regiões a produção primária é limitada apenas pela disponibilidade da REM. Evidenciando claramente a influência continental na produção primária marinha, que está sujeita a forma com que a quantidade de materiais, principalmente matéria orgânica dissolvida, descarregados pelo RA influenciam a REM.

Na região mesohalina (Fig.4(b)), identificam-se diferentes níveis de influência do oceano que variam entre 30 a 80%. Essas regiões encontram-se próximas a quebra da plataforma continental, sofrendo grande influência da CNB. Goes et al. (2014) analisaram as concentrações de alguns nutrientes e clorofila-*a* em um perfil vertical na CNA (aproximadamente 4°N a 12°N) e concluíram que a concentração de alguns nutrientes foi limitante para a produção primária nas águas superficiais da PRA apesar de apresentar grande quantidade de clorofila-*a*. Foram encontradas, também, grandes concentrações de nutrientes em profundidades de aproximadamente 120m, sugerindo que a biomassa fitoplanctônica só poderia ser sustentada por um transporte vertical de nutrientes de camadas mais profundas para as mais rasas e que esse processo ocorre devido a interação entre a saída de água doce do rio Amazonas e a CNB. Este transporte vertical de nutrientes pode ser mais intenso entre os meses de junho e julho, quando a vazão do rio Amazonas está em seu pico, os ventos alísios

são fracos, e o movimento para o norte da CNB ao longo da costa da América do Sul é muito forte (25-30 Sv)(Curtin, 1986).

Alguns compostos descarregados pelo rio Amazonas não estão disponíveis imediatamente ao fitoplâncton, entretanto alguns processos como transformação da matéria orgânica dissolvida, por bactérias, fitoplâncton e processos fotoquímicos, durante a sua dispersão (Medeiros et al, 2015) levam a crer que esses compostos, depois de transformados, possam ser utilizados posteriormente longe da costa, já que as águas da pluma são exportadas, relativamente, de forma rápida.

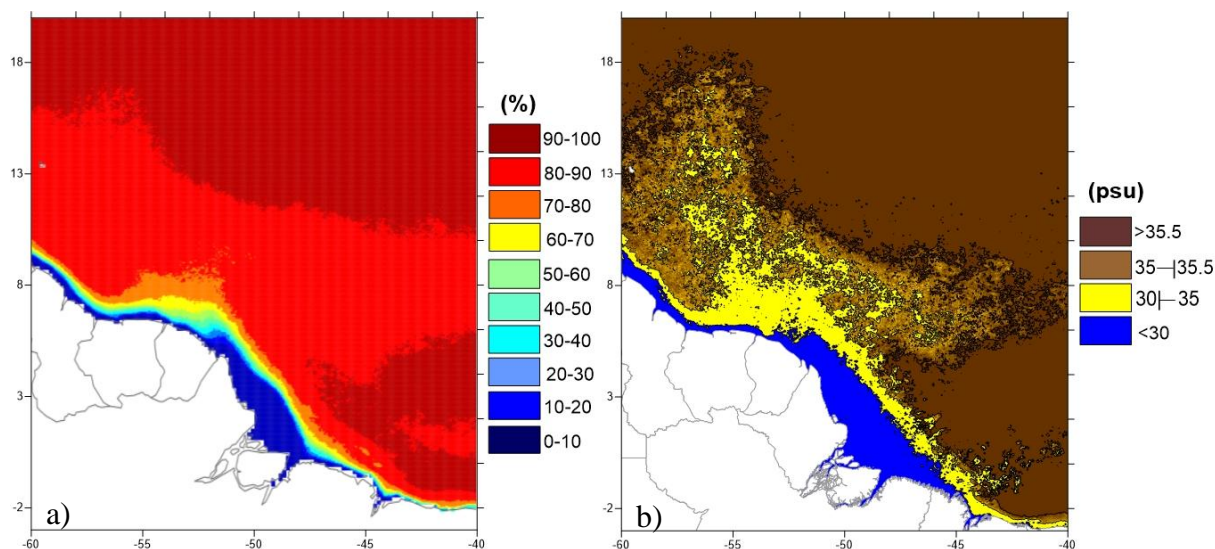


Figura 4. (a) Porcentagem média de explicação da variação de  $PP_{VGPM}$  pela SSM. (b) Extensão máxima média da PRA.

#### 4. Conclusões

O MES conseguiu capturar, de forma eficiente, os principais processos sazonais que ocorrem na costa Norte Amazônica. O MES apresentou resultados coerentes com ambos os satélites, entretanto o Aquarius e SMOS tendem a superestimar e subestimar os valores próximos à região costeira e na região da retroflexão, respectivamente. Dessa forma com a utilização do MES é possível identificar relações entre a SSM e  $PP_{VGPM}$  que não são possíveis de perceber com Aquarius e SMOS.

A relação entre Produtividade marinha oceânica e SSM na região costeira apresenta um comportamento complexo que sofre grande influência do continente e oceano. Em regiões mais próximas à costa a influência é predominantemente continental, à medida que se afasta da costa a participação oceânica começa a aparecer. Concorda-se com Subramaniam et al. (2008) que as regiões mesohalinas são uma importante interface entre os domínios terrestres e oceânicos, entretanto os processos nessas regiões atuam de forma complexa, muitas vezes de forma diferente em regiões de mesma salinidade. Assim, com o método desenvolvido é possível, explicar de forma contínua, a relação entre a  $PP_{VGPM}$  e SSM.

#### Referência

Behrenfeld, M. J.; FALKOWSKI, I. G. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentrations. *Limnol. Oce.,ogr.* 42: 1-20. 1997.

- Coles, V. J.; Brooks, M. T.; Hopkins, J.; Stukel, M. R.; Yager, P. L.; Hood, R. R. **The pathways and properties of the Amazon River plume in the tropical North Atlantic Ocean** *J. Geophys. Res. Oceans*, 118 (12). pp. 6894–6913. 2013.
- Curry, R.; Dickson, B.; Yashayaev, I. A change in the freshwater balance of the Atlantic Ocean over the past four decades, *Nature*, 426(6968), 826–829, doi:10.1038/nature02206. 2003.
- Dagg, M. R. et al. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: Plume processes. **Continental Shelf Research**, v.24. p. 833–858. 2004.
- Devol, A. H.; Richey, J. E.; Forsberg, B. R. in Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems, Regional Workshop 3: South and Central America, eds Tiessen H, LopezHernandez D, Salcedo IH (SCOPE/UNEP Proceedings, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada). pp 9–23. 1991.
- Fournier, S.; Chapron, B.; Salisbury J., Vandemark, D.; Reul, N. Comparison of spaceborne measurements of sea surface salinity and colored detrital matter in the Amazon plume. **Journal Of Geophysical Research-oceans**, 120(5), 3177-3192. 2015.
- Goes, J. I. et al. Influence of the Amazon River discharge on the biogeography of phytoplankton communities in the western tropical north Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 120, p. 29–40, 2014.
- Gordon, A.; Giulivi, C. Sea surface salinity trends over fifty years within the subtropical north Atlantic, *Oceanography*, 21(1), 20–29, doi:10.5670/oceanog.2008.64. 2008.
- Hu, C.; Montgomery, E. T.; Schmitt, R. W.; Muller-Karger, F. E. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: observation from space and S-PALACE floats. **Deep-Sea Research II**, v. 51, n. 10-11, p. 1151–1171. 2004.
- Medeiros, P. M., M. Seidel, N. D. Ward, E. J. Carpenter, H. R. Gomes, J. Niggemann, A. V. Krusche, J. E. Richey, P. L. Yager, and T. Dittmar. Fate of the Amazon River dissolved organic matter in the tropical Atlantic Ocean, **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, p. 677–690, doi:10.1002/2015GB005115, 2015.
- Moller, G. S. F.; Novo, E. M. L. M.; Kampel, M. Space-time variability of the Amazon River plume based on satellite ocean color. **Continental Shelf Research**. 30. 342–352. 2010.
- Smith, W. O. Jr.; DeMaster, D. J. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: Correlation with seasonal river discharge. *Continental Shelf Res.* 6:227–244. 1996.
- Subramaniam, A.; Yager, P. L.; Carpenter, E. J.; Mahaffey, C.; Bjorkman, K.; Cooley, S.; Kustka, A. B.; Montoya, J. P.; Sanudo-Wilhelmy, S. A.; Shipe, R.; Capone, D. G. Amazon River enhances diazotrophy and carbon sequestration in the tropical North Atlantic Ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 105. p. 10460–10465. 2008.
- Vecchio, R.D.; Subramaniam, A. Influence of the Amazon River on the surface optical properties of the western tropical North Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research** 109 (C11001), 1–13. 2004.
- Ward, N. D.; Krusche, A. V.; Sawakuchi, H. O.; Brito, D. C.; Cunha, A. C.; Moura, J. M. S.; Da Silva, R.; Keil, R. G.; Richey, J. E. The compositional evolution of dissolved and particulate organic matter along the lower Amazon River Óbidos to the ocean. **Mar. Chem.** 2015.