

Caracterização da Costa Norte amazônica e os impactos do El Niño sobre a produtividade primária oceânica

Nelson de Almeida Gouveia¹
Luciana Shigihara Lima¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{nelson.gouveia, luciana.lima}@inpe.br

Abstract. Primary productivity indicates about the quality and nutrients availability. Depending of the position in the ocean, the dynamics is affected about the processes that occurs on the continent. The Amazon river contributes with nutrients and fresh water into the ocean. The ocean region near from the river mouth is influenced by this high water flow. In this paper, this region was divided by characteristics in four groups. The variables used were VGPM-Eppley, K490, bathymetry and PAR. To observe similarities in the region in years under influence El Niño, was applied Boolean Method, with the purpose to identify regions where increase and decrease the primary productivity.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, processamento de imagem, fuzzy c-means, geoprocessamento.

1. Introdução

As áreas costeiras são regiões dinâmicas onde ocorrem interações de rios, estuários, oceano, terra, e atmosfera (WALSH, 1988; LIU et al., 2009; CAI, 2011; CANUEL et al., 2012). Essas regiões compõem menos de 20% da superfície terrestre, contendo mais de 40% população humana, e origina 90% da pesca global (CROSSLAND et al., 2005). Apesar de esses ecossistemas apresentarem uma cobertura relativamente pequena em relação à superfície terrestre, estas regiões contribuem, em níveis globais, com valores entre 10 a 15 % de produtividade primária marinha e mais de 40% de do sequestro de carbono (YOOL e FASHAM, 2001; MULLER-KARGER et al., 2005), estando entre as regiões mais produtivas do mundo (DAY et al., 2012; LEGENDRE e RASSOULZADEGAN, 2012; PAERL e JUSTIC, 2012).

Dentre os sistemas costeiros do mundo a plataforma continental Norte do Brasil (PCNB), possui elevada produtividade primária ($730 \text{ gC/m}^2\text{ano}^{-1}$), destacando-se em relação a grandes sistemas fluviais como Changjiang e Mississippi que possuem valores de produtividade de 274 e $584 \text{ gC/m}^2\text{ano}^{-1}$, respectivamente (DAGG et al., 2004; NITTROUER; DEMASTER, 1996). Trabalhos como Smith *et al.* (1996) e Subramaniam *et al.* (2008) mostram que essa produtividade primária na PCNB é limitada pela disponibilidade de luz, em regiões próximas a costa e por nutrientes em regiões mais afastadas.

A PCNB é fortemente influenciada pela grande descarga de água, sedimentos e matéria orgânica pelo do rio Amazonas, que é um reflexo do regime de precipitação em suas bacias hidrográficas. Esta precipitação está intimamente relacionada aos padrões de circulação da

Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (DE SOUZA; ROCHA, 2006). Assim, padrões de interação oceano-atmosfera de grande escala, como eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre o oceano Pacífico, irão influenciar na excursão meridional da ZCIT, modulando o a variabilidade interanual da estação chuvosa na Amazônia (DE SOUZA *et al.*, 2000) e conseqüentemente influenciar na quantidade de água e materiais descarregados na costa e por fim refletir na produtividade primária.

Com a variação na descarga do Rio Amazonas sobre a PCNB em períodos sob o fenômeno ENOS, ocorre alteração na distribuição de nutrientes e mudanças no comportamento dos ecossistemas marinhos. A PCNB apresenta grande importância ecológica e econômica, pois nela está situado o grande ecossistema marinho da plataforma Norte do Brasil além de sustentar grandes pescarias, como por exemplo, o estado do Pará que é o segundo colocado no que se refere ao volume de pesca extrativa no Brasil (MPA, 2013).

Dessa forma, compreender os padrões de variabilidade da produtividade primária na PCNB e quais os possíveis variações interanuais podem ajudar a entender o funcionamento dos ecossistemas e na produtividade pesqueira da região. Assim esse trabalho tem o objetivo de caracterizar o comportamento médio da produtividade primária na PCNB e compreender a influência do ENOS sobre essa variável.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo está compreendida entre as coordenadas 40° e 60° O; e 20°N e 3°S (Figura 1). A região situa-se próximo à foz do Rio Amazonas, sobre o Oceano Atlântico. Sua vazão média anual é de aproximadamente 180.000.000 m³/s (Hidroweb/ANA).

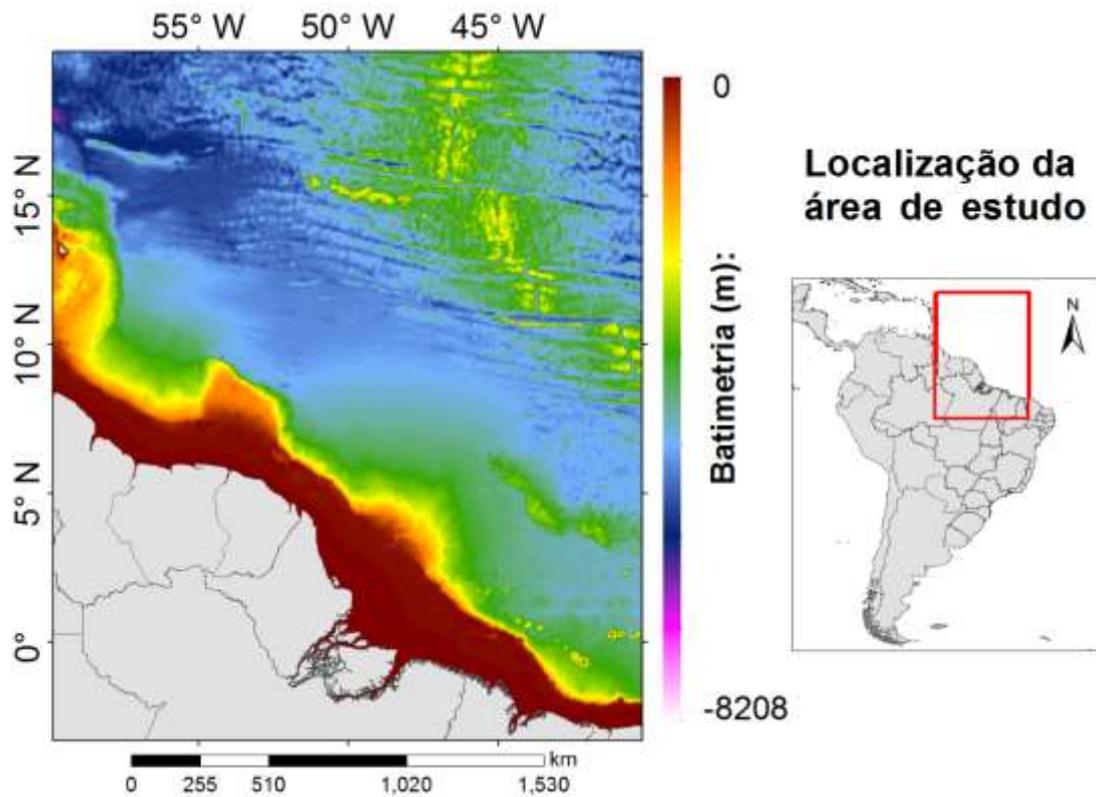


Figura 1: Localização da área de estudo e batimetria.

2.2 Dados

Como a produtividade primária na PCNB é influenciada pela disponibilidade de luz e quantidade de nutrientes disponíveis para o fitoplâncton, e esses processos possuem bastante relação com a vazão do rio Amazonas elencou-se quatro variáveis para o problema em questão, são eles: Produtividade Primária (VGPM-Eppley), Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), coeficiente de atenuação difusa (K490) e a batimetria. Todas essas foram obtidas na forma de produtos mensais em formato matricial de grade regular. Melhor descrição dos dados podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1: Descrição das variáveis.

Produto	Resolução Espacial	Cobertura	Nº de Imagens	Fonte dos dados
VGPM-Eppley	9 km	jan/2003-Dez/2016	168	science.oregonstate.edu
PAR	9 km	jan/2003-Dez/2017	168	oceancolor.gsfc.nasa.gov
K490	9 km	jan/2003-Dez/2018	168	oceancolor.gsfc.nasa.gov
Batimetria	1 km	Imagem única	1	ngdc.noaa.gov/mgg/global/seltopo.html

Cada variável escolhida está de alguma forma relacionada aos processos reguladores da produtividade primária oceânica. Esse processo é controlado pela penetração da radiação solar na região do visível na coluna de água (BYUN et al., 2014). Dessa forma, escolheu-se a variável PAR que representa a quantidade de radiação solar que incide na superfície terrestre na faixa do visível (400 a 700 nm), (GREGG e CARDER, 1990). O K490 representa um *proxi* da influência das águas cotinentais. Del Vecchio e Subramaniam (2004) mostram uma relação inversa entre a salinidade da superfície do mar com o K490. Este produto apresentam o quanto de luz penetra sobre a massa de água. A penetração de luz na água é modificada de acordo com a quantidade de sedimentos estão sendo carregados, nesse contexto o rio Amazonas é o que mais influencia. A batimetria foi escolhida pois alguns trabalhos de províncias biogeoquímicas mostram que essa variável é importante na delimitação de ecoregiões.

O VGPM-Eppley é oriundo de um modelo semiempírico obtido a partir de uma álgebra de mapas dadas pela equação (1), este modelo usa a estrutura do VGPM de Behrenfeld e

Falkowski (1997) e usa Eppley's (1972) que mostra uma função exponencial para a dependência da temperatura em relação a eficiência fotossintética.

$$PP_{EU} = C_{sat} \times Z_{eu} \times P_{opt}^B \times DL \times \left[\frac{0.66125 \times E_o}{E_o + 4.1} \right] \quad (1)$$

P_{opt}^B que é a taxa fotossintética máxima específica da clorofila-a (dependente da temperatura); E_o é a irradiância PAR total; DL é o fotoperíodo [h]; C_{sat} é a concentração de clorofila-a obtida pelo sensor MODIS-Aqua [mg/m³]; Z_{eu} é a profundidade da zona eufótica.

2.3 Caracterização da produtividade primária na PCNB

Para caracterizar a produtividade primária na PCNB, utilizou-se duas abordagens: i) Classificação não-supervisionada, e ii) exploração de amplitudes e picos.

.

2.3.1 Classificação não-supervisionada (*fuzzy c-means*)

Antes de realizar a classificação dos dados foi realizado um processamento de dados com o intuito de calcular uma imagem de valor médio, por pixel, das variáveis PAR, K490, VGPM-Eppley. Como a escala das variáveis é diferente, realizou-se a normalização dos dados através da equação (2).

$$xn_{i,j} = \frac{x_{i,j} - \bar{x}}{s} \quad (2)$$

Onde $xn_{i,j}$ representa o pixel normalizado na posição i e j , $x_{i,j}$ é o valor do pixel da imagem média na posição i e j , \bar{x} é o valor médio da imagem média de cada variável e s o desvio padrão da imagem média de cada variável.

Para a classificação em grupos, foi aplicado o algoritmo *fuzzy c-means*, elaborado por Bezdek (1981). Esta metodologia encontra grupos de dados que compartilham características semelhantes. Para isso, o algoritmo realiza várias interações para obter uma melhor configuração, e são divididos grupos conforme semelhanças, chamados clusters.

Dado um conjunto de dados normalizados $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)$, onde cada uma das variáveis, em geral, apresenta um vetor de características $x_k = [x_{k1}, x_{k2}, x_{k3}, \dots, x_{kn}]$ pertencentes a um espaço p -dimensional, definem-se pseudopartições *fuzzy* que representam a estrutura dos dados da melhor maneira.

Uma pseudopartição *fuzzy* de X é uma família de subconjuntos n *fuzzy* de X , denotados por $P = \{A_1, A_2, A_3\}$, que satisfaçam as equações 3 e 4:

$$\sum_{i=1}^n A_i(x_k) = 1 \quad (3)$$

Sendo x_k todas as variáveis envolvidas no conjunto X. Em outras palavras, a soma dos graus de pertinência de um elemento em todas as famílias deve ser igual a 1.

$$0 < \sum_{i=1}^n A_i(x_k) = 1 < 1 \quad (4)$$

A soma de todos os graus de pertinência de todos os elementos de uma família deve ser menor que o número de elementos existentes no conjunto universo X.

O método *fuzzy c-means* pode ser equacionado por meio de um algoritmo iterativo, baseado na minimização de um índice de desempenho, que indica a adequabilidade da pseudopartição gerada. O desempenho do algoritmo é influenciado pelo número de classes escolhidas, dos centros dos clusters iniciais, da ordem da qual os vetores são processados, da medida de distância Euclidiana, do critério de parada e pelas propriedades geométricas dos dados. Os dados de entrada do algoritmo são: o número desejado de clusters c ; uma medida de distância que irá definir a distância permitida entre os pontos e os centros dos cluster, e um critério de parada, além da instanciação inicial dos graus de pertinência dos objetos a cada uma das classes e dos centros de cluster de cada uma dessas classes.

De maneira geral, o objetivo do algoritmo *fuzzy c-means* é de que a partir de um conjunto de dados descritos por seus atributos, definem-se grupos que compartilham características semelhantes. E, por tratar-se de um agrupamento *fuzzy*, os dados podem pertencer a mais de um grupo, com graus diferentes (Nogueira e Camargo, 2009). Estes graus diferentes, são definidos como graus de pertinência.

Os graus de pertinência querem dizer que, a cada ponto está associado uma chance de pertencer ou não a determinado grupo. O grau de pertinência está compreendido de 0 (não pertence) a 1 (pertence). Há maiores chances de pertencer a um grupo ao aproximar-se de 1 e de não pertencer ao aproximar-se de 0. Quando está próximo de 0,5 indica que pode ou não pertencer ao grupo associado.

2.3.2 Análise de Amplitudes e picos

Foi realizado o processamento da amplitude de produtividade primária para cada mês da série temporal. A partir das 168 imagens, que foram agrupadas por mês, realizou-se uma álgebra de mapas para calcular as médias mensais, formando 12 imagens. A partir disso calculou-se para cada pixel a amplitude média e o mês de máximo pico.

2.4 Análise da produtividade primária na PCNB em anos de El Niño

Para tentar estabelecer a influência do El Niño sobre a produtividade primária, escolheram-se dois anos, 2010 e 2016. O critério de escolha foi realizado com base no cálculo das anomalias de vazão da série histórica da estação fluviométrica de Óbidos (cód. 17050001/Hidroweb-ANA), situada a aproximadamente 800km da foz do Rio Amazonas, com uma área de drenagem de 4670000 km², e na evolução do índice do Niño 3.4(Figura 3).

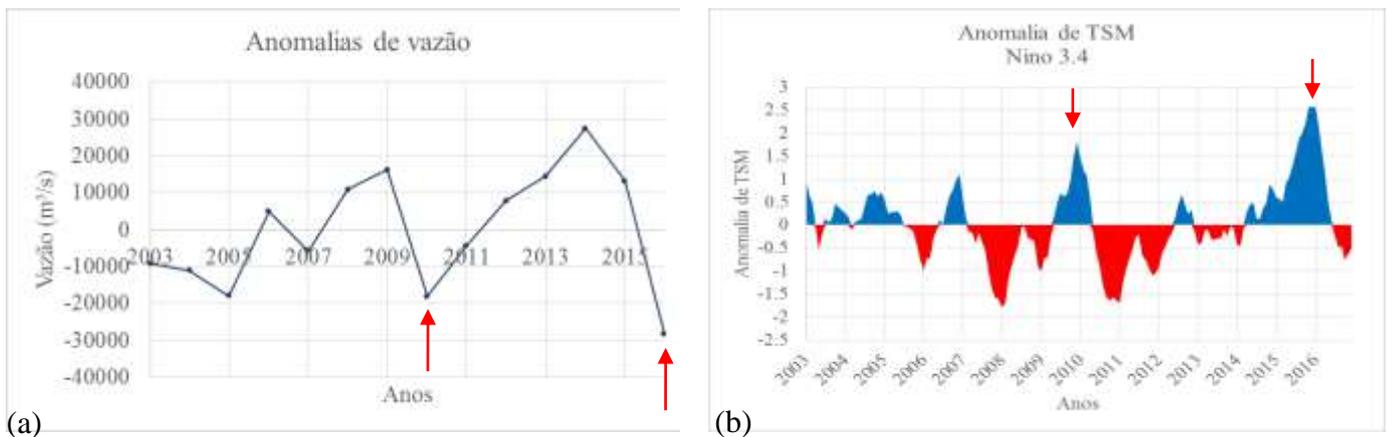


Figura 3: (a) Anomalias de Vazão do rio Amazonas (posto fluviométrico de Óbidos; (b) Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (modelo Niño 3.4).

Realizou-se análise booleana sobre as duas imagens geradas, para observação e determinação de semelhanças nos comportamentos (tabela 2). A primeira análise booleana a determinação dos píxeis onde ambos os anos (2010 e 2016) ocorrem um aumento em relação a média de produtividade primária. A segunda análise booleana foi para definir as regiões onde nas duas situações houve uma diminuição em relação a média da produtividade (1) em. A partir disto, obteve-se como resultado, uma imagem onde houve aumento e diminuição da produtividade nos eventos de El Niño em 2010 e em 2016, e as regiões neutras.

Tabela 2: Análise booleana sobre os anos de 2010 e 2016.

Primeira análise booleana		
2010	2016	Resultado
Aumenta	Aumenta	1
Aumenta	Diminui	0
Diminui	Aumenta	0
Diminui	Diminui	0
Segunda análise booleana		
2010	2016	Resultado

Aumenta	Aumenta	0
Aumenta	Diminui	0
Diminui	Aumenta	0
Diminui	Diminui	1

Todas as etapas da realização do trabalho, incluindo as bases e os processamentos utilizados na caracterização da costa Norte Amazônica e análises da Produtividade primária em anos de El Niño estão apresentadas no fluxograma OMT-Geo na Figura 2.

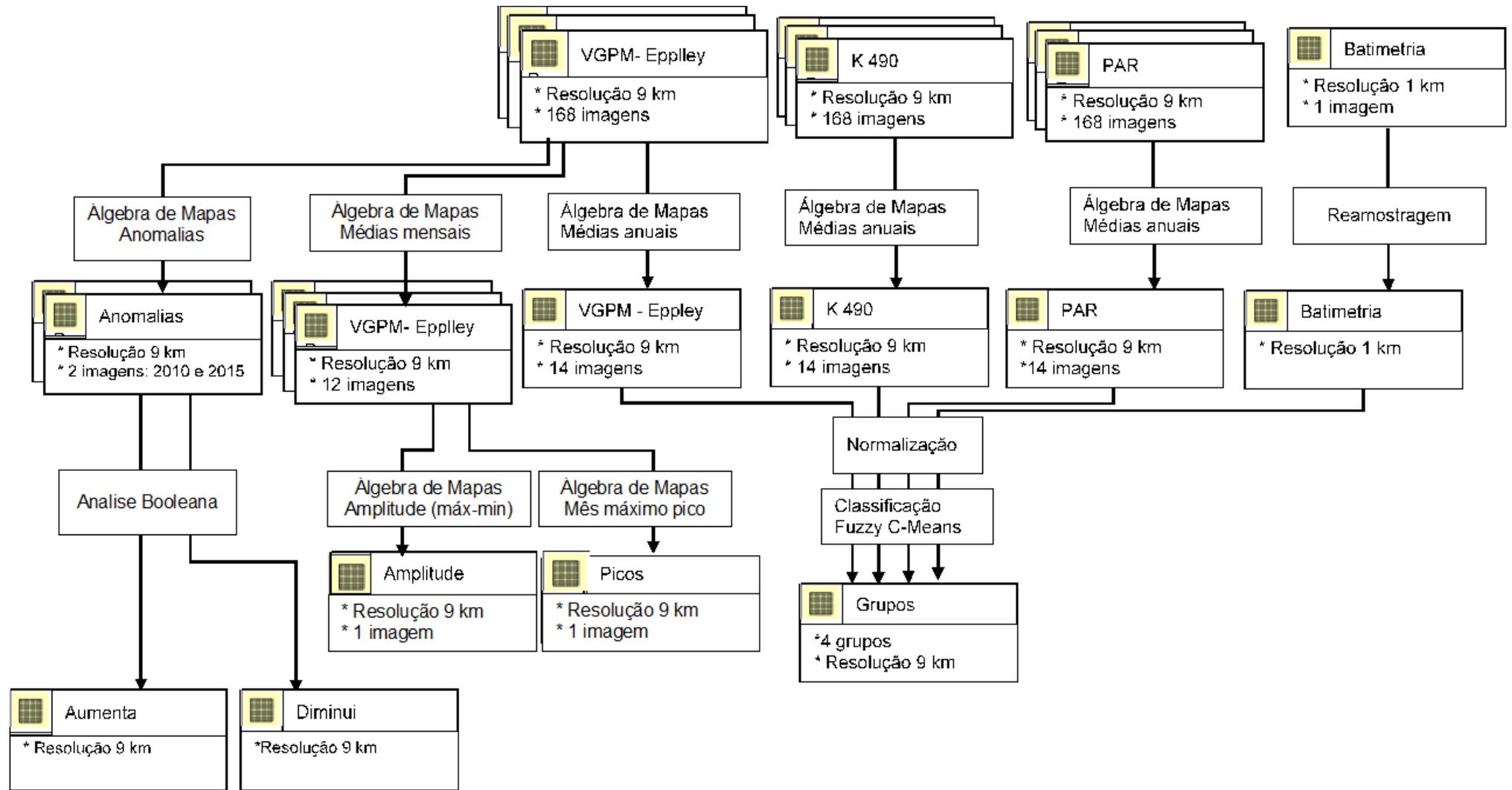


Figura 2: OMT-Geo do processo realizado.

3. Resultados

3.1 Caracterização da Produtividade primária na PCNB

Por meio da técnica *fuzzy c-means*, identificou-se 4 grupos na PCNB (Figura 4.a). Um grupo próximo a foz do rio Amazonas (Grupo 2), caracterizado por ser o grupo com os maiores valores de produtividade primária (7309,39 mgC/m²/ano), valores médios de PAR de 46.15 Einstein/m²/dia, com os maiores valores de atenuação da luz em relação aos outros grupos, localizado nas menores profundidades (Figura 1). Dentro dos limites da plataforma continental, na transição com as águas oceânicas identificou-se o grupo 3, com produtividade primária média de 1809.33 mgC/m²/ano, PAR de 45,09 Einstein/m²/dia. Em águas oceânicas identificou-se dois grupos, o Grupo 1 e o Grupo 4. O grupo 1 localiza-se na região de influência da corrente Norte do Brasil (CNB) enquanto o grupo 4 é uma região puramente oceânica. Na Figura Figura 4.b, percebe-se que as zonas de transição entre os grupos é onde apresentam-se as zonas de menor pertinência, ou seja, zonas em que não é possível definir a qual grupo pertencem, o que já era esperado.

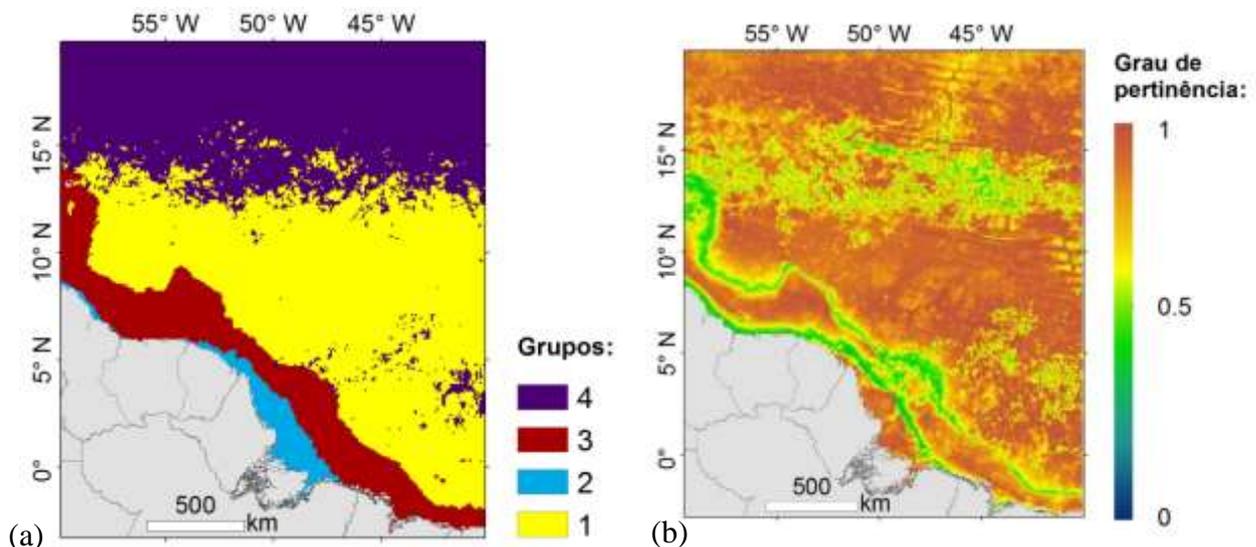


Figura 4. (a) grupos (clusters) identificados na PCNB, (b) mapa dos graus de pertinência associados a classificação.

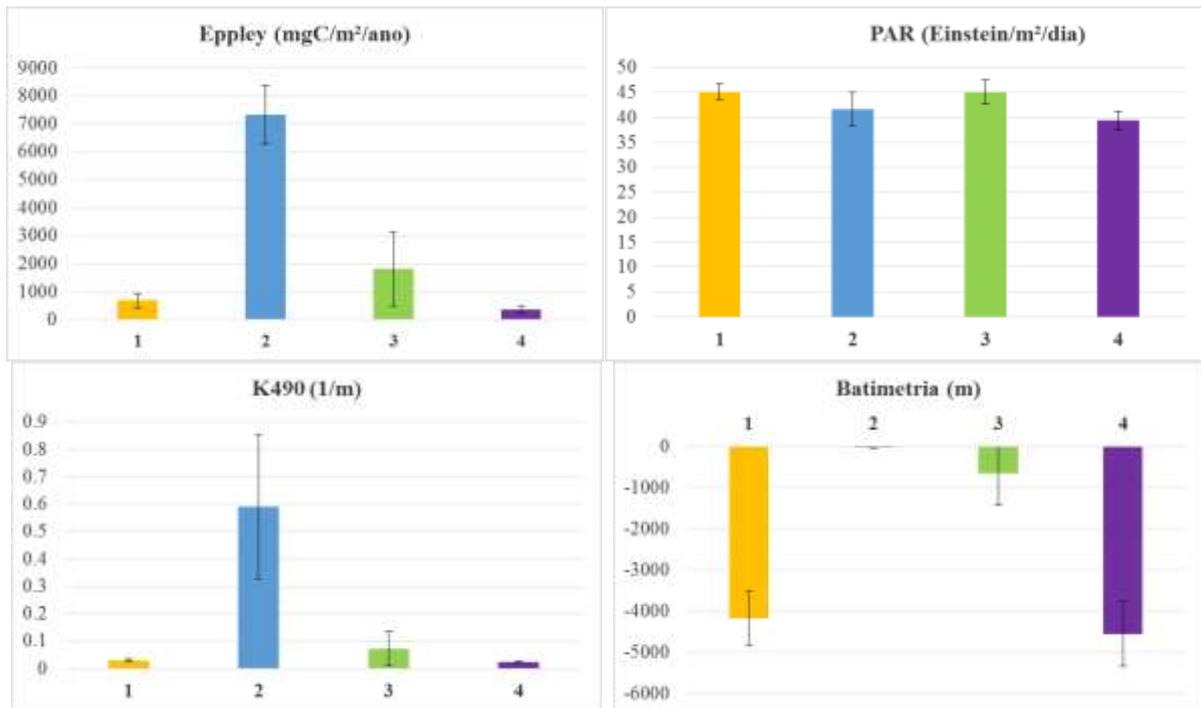


Figura 5: Gráficos de valores médios de cada um dos clusters gerados. Apresentam-se também os índices de erro de cada um dos valores.

As regiões de maiores amplitudes de produtividade primária localizam-se no grupo 3 (Figura 6.a) alcançando valores de cerca de 7000 mgC/m²/ano e no grupo 1 com valores de 2700 mgC/m²/ano. Na mesma figura foi possível identificar 4 vórtices (círculos em vermelho). A Figura 6.b mostra os meses de pico de produtividade primária na PCNB. O grupo 2 possui picos de produção nos meses de Fevereiro e Agosto. O grupo 3 com picos de produtividade primária entre Março e Maio, o grupo 1 com os picos variando entre março e setembro e por fim o grupo 4 com predominância dos picos entre Maio e Junho.

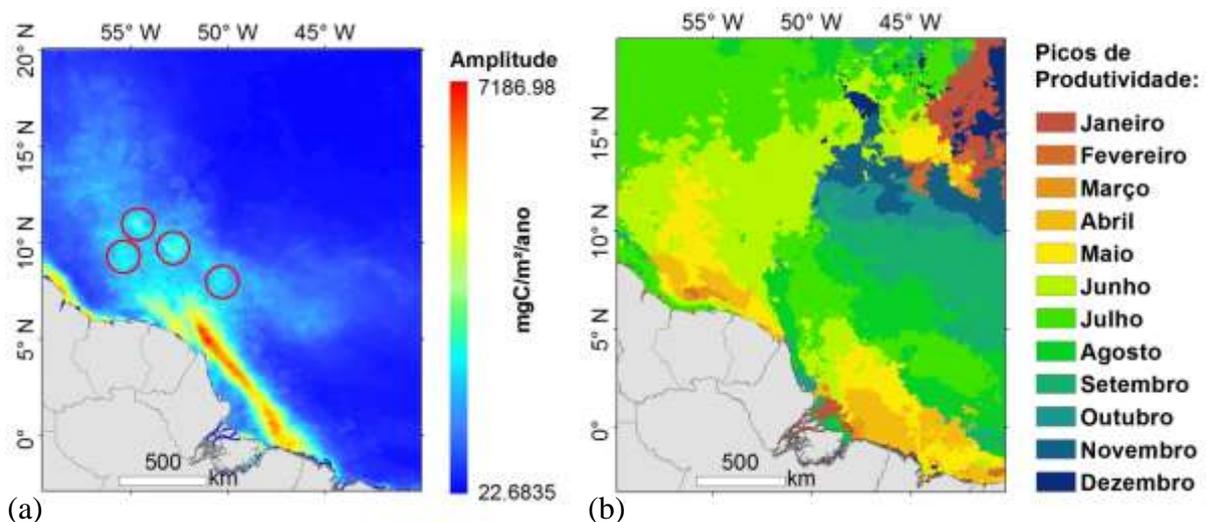


Figura 6: (a) Mapa de amplitude da produtividade primária. Os círculos em vermelho destacam possíveis vórtices em formação; (b) Mapa de picos mensais da produtividade primária.

3.2 Produtividade primária na PCNB nos anos de El Niño

As anomalias de produtividade primária dos em anos de El Niño apresentam-se geralmente positivas dentro do grupo 2 e negativas dentro do grupo 3 (Figura 7). Entretanto dentro desses dois grupos o ano de 2016 foi o que apresentou as maiores anomalias negativas e positivas. O grupo 1 apresenta comportamentos diferentes entre os anos de 2010 e 2016. Tendo anomalias positivas nos limites longitudinais entre 50°W e 60°W. O grupo 4 apresentou somente anomalias comportamentos inversos entre nos limites entre 55°W e 60°W, onde em 2010 apresentou anomalias positivas e em 2016 anomalias negativas. Importante ressaltar que nas zonas próximas ao exutório do Rio Amazonas, próximo à costa, é a região que apresentou maior amplitude nos dois anos estudados, indicando a alta variação da descarga sólida ao longo do ano, devido à época seca e chuvosa. E como isso acaba afetando a produtividade primária da região.

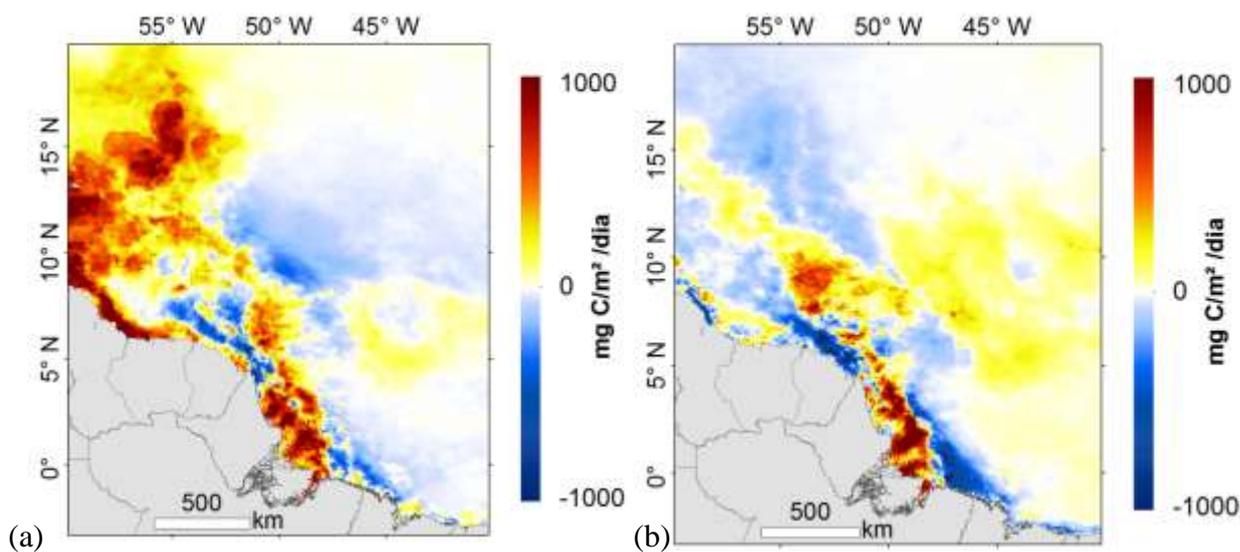


Figura 7: Anomalias da produtividade primária para os anos de (a)2010 e (b) 2016.

Analisando a coerência entre as classificações booleanas percebe-se as regiões onde nos dois anos ocorreu aumento e diminuição de produtividade primária (Figura 8).

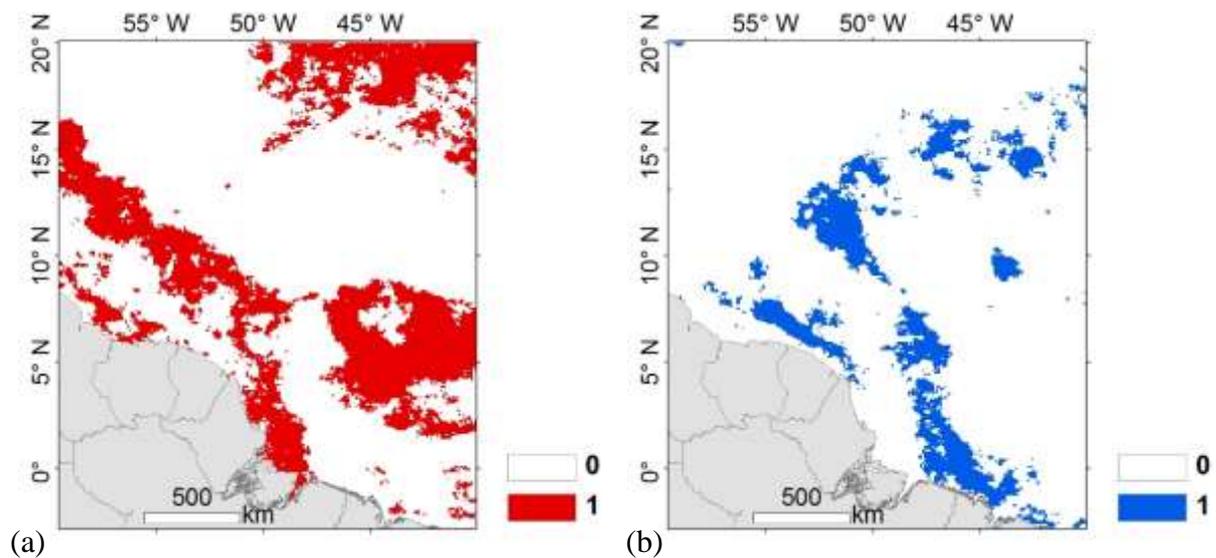


Figura 8: Análise booleana sobre a produtividade primária nos anos de 2010 e 2016: (a) regiões de aumento na produtividade primária (0 - neutro; 1 - aumento) e; (b) diminuição da produtividade primária (0 - neutro; 1 - diminuição).

Pode-se perceber nas duas imagens um maior aumento de produtividade primária em regiões mais próximas à costa, e uma diminuição na região a oeste da foz, possivelmente devido à baixa vazão do rio Amazonas não haver força da água para que cheguem os nutrientes na região mais afastada, indicando que haja maior dependência do grupo 3 à disponibilidade de nutrientes do que a disponibilidade de luz.

Discussão

Os grupos apresentados são estruturados pelos principais processos oceanográficos na região de estudo. O grupo 1 (Figura 4.a) parece estar relacionado principalmente a região de influência da corrente Norte do Brasil (CNB) que se forma a partir da ramificação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (STRAMMA e SCHOTT, 1999). O ciclo anual do fluxo da CNB apresenta padrões de comportamento distintos, durante os meses de março a junho a maior parte da CNB escoava para noroeste acompanhando a linha da costa da América do Sul (RICHARDSON e WALSH, 1986; CHÉRUBIN e RICHARDSON, 2007), já no período de julho a janeiro ocorre a retroflexão para leste alimentando a Contracorrente Norte Equatorial entre 5°N e 10°N (FLAGG et al., 1986; FIELD, 2005), isso corrobora com os meses de pico apresentados na Figura 6.b. Wilson et al., (2002) mostram que nessa segunda etapa podem se formar de 2 a 7 vórtices anticiclônicos por ano que se movimentam em direção ao Caribe. Na análise de amplitudes nesse artigo, identificaram-se 4 vórtices localizados no grupo 1 (Figura 6.a).

O grupo 2 parece ser apenas influenciado pela descarga Rio Amazonas, apresentando os maiores valores de produtividade primária, grande disponibilidade de luz mas também alta atenuação da luz (Figura 5). Nesta região os picos de produtividade não coincidem com os meses de máxima vazão do Amazonas. Isso mostra evidências de que essa região é limitada apenas por luz como discutida em Field et al., (1996) e Subramaniam et al. (2008), onde a maior parte da energia é absorvida pela matéria orgânica dissolvida e particulada descarregada pelo rio Amazonas. Essa evidência mostra-se mais forte porque em anos de El Niño analisados (2010 e 2016) onde a vazão e a quantidade de materiais é menor existe uma tendência de aumento da produtividade nesse grupo.

O grupo 3 é um grupo de transição que sofre influência das descarga do rio Amazonas e da circulação oceânica. Isso apresenta-se consistente pois os seus meses de pico apresentam-se nos meses de maior descarga do Amazonas, aproximadamente em Maio, de acordo com Nittrouer e DeMaster (1996), quando a pluma alcança aquela região levando nutrientes. Esse grupo contém as partes de maiores amplitudes onde o pico se dá geralmente em maio. Nos anos de Niño essas regiões apresentam uma considerável diminuição na produtividade primária (Figura 7), ou seja, como em anos de Niño a vazão diminui e a pluma não alcança essa região levando a quantidade necessária de nutrientes.

Na região do Grupo 4 observa-se, como principal processo oceanográfico o giro do Atlântico Norte, dessa forma esse grupo pode estar relacionado a esse processo oceanográfico. Lunghurst et. al, (2007) identificou 4 províncias biogeográficas para a região de estudo delimitada nesse trabalho. Percebe-se uma semelhança entre os grupos, exceto na região da plataforma continental, em que nesse trabalho identificaram-se 2 grupos (Figura 9). Esta diferença pode estar relacionado a resolução espacial do pixel e a quantidade de variáveis utilizadas. Lunghurst (2007) utilizou apenas uma variável que foi a clorofila-*a* com uma resolução espacial de 100 km, enquanto que nesse trabalho usou-se influências da batimetria, PAR, k490 e VGPM-Eppley.

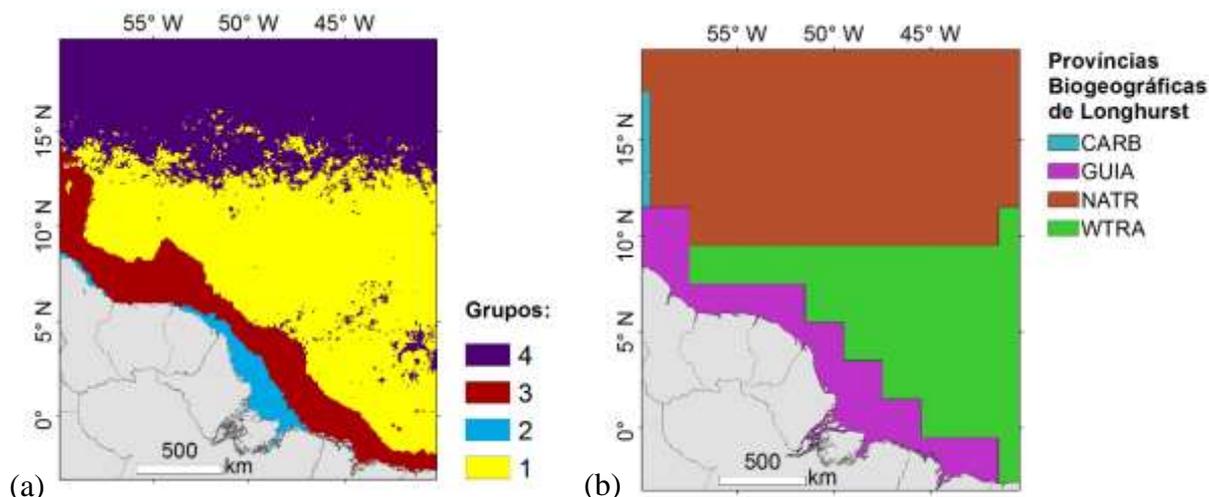


Figura 9: (a) Grupos divididos neste trabalho; (b) Grupos divididos por Longhurst (1995): **CARB**- Trades - Caribbean Province; **GUIA** - Coastal - Guianas Coastal Province; **NATR** - Trades - N. Atlantic Tropical Gyral Province (TRPG); **WTRA** - Trades - Western Tropical Atlantic Province.

Em relação as semelhanças entre a produtividade primária em anos de El Niño percebe-se que a pluma de produtividade primária apresenta-se mais sobre a costa, próximo à foz do rio Amazonas, região onde situa-se o grupo 2 (discretizada no agrupamento a partir dos valores médios anuais da série temporal). Isso deve-se pela menor contribuição de carga de material advindo do interior do continente.

Através da análise booleana retificou-se os pontos onde houve aumento e decréscimo da produtividade em ambos os anos. Percebe-se através da figura 8.a que existe aumento da produtividade em regiões pertencentes aos grupos 2 e 3. E uma diminuição (figura 8.b) justo a oeste da foz, provavelmente devido à corrente Norte do Brasil, que “empurra” a massa de água do Amazonas para regiões mais a leste, forçando assim, a ocorrência de produtividade em regiões mais a oeste.

Conclusões e recomendações

Foram definidos quatro domínios de variabilidade sobre a região da costa norte amazônica, estruturados pelos principais processos oceanográficos. Pode-se identificar padrões de amplitudes e associar a disponibilidade de luz e nutrientes ao longo do ano (hipóteses). Foi possível a identificação de um padrão de representação do fenômeno El Niño na região.

Seria interessante observar a variabilidade espacial e temporal da precipitação, e comparar com os resultados já observados. Observar o comportamento em anos de La Niña e neutros pode contribuir de maneira significativa para entender o comportamento da região frente a fenômenos atípicos.

Obter informação das regiões de maior concentração de pescado, a partir da produtividade. E assim poder discutir os impactos dos fenômenos atípicos sobre a economia da região.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEHRENFELD, M. J.; FALKOWSKI, P. G. A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models. **Limnol Oceanogr.** v. 42, n. 7, p. 1479-1491, 1997.
- BEZDEK, J. C. **Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms.** Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 1981.
- BYUN, D. S. et al. Review of PAR parameterizations in ocean ecosystem models. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 151, p. 318–323, 2014.
- CAI, W. J. Estuarine and coastal ocean carbon paradox: CO₂ sinks or sites of terrestrial carbon incineration? *Ann. Rev. Mar. Sci.* 3: 123–145. 2011.
- CANUEL, E. A.; CAMMER, S. S.; MCINTOSH, H. A.; PONDELL, C. R. Climate change impacts on the organic carbon cycle at the land-ocean interface. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 40: 685–711, 2012.
- CHÉRUBIN, L. M.; RICHARDSON, P. L. Caribbean current variability and the influence of the Amazon and Orinoco freshwater plumes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 54, n. 9, p. 1451-1473, 2007.
- CROSSLAND, C. J.; KREMER, H. H.; LINDEBOOM, H. J.; MARSHALL CROSSLAND, J. I.; LE TISSIER, M. D.(eds.). **Coastal Fluxes in the Anthropocene.** Berlin, Germany: Springer-Verlag. 2005
- 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.
- DAY, J.; KEMP, M.; YANEZ, A.; CRUMP, B. (Eds.). *Estuarine Ecology*, Vol. 2. John Wiley, New York. 2012.
- DE SOUZA, E. B. ET AL. On the influences of the El Nino, La Nina and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. **Acta Amazonica**, v. 30, n. 2, p. 305-318, 2000.
- DE SOUZA, E. B.; ROCHA, E. J. P. Diurnal variations of rainfall in Braganca-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 142-152. 2006.
- DEL VECCHIO, R.; SUBRAMANIAM, A. Influence of the Amazon river on the surface optical properties of the western tropical north Atlantic ocean, *J. Geophys. Res.*, v.109, C11001,2004. doi:10.1029/2004JC002503.

FIELD, A. North Brazil current rings viewed by TRMM Microwave Imager SST and the influence of the Amazon Plume. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 52, n. 1, p. 137-160. 2005.

FIELD, A. North Brazil current rings viewed by TRMM Microwave Imager SST and the influence of the Amazon Plume. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 52, n. 1, p. 137-160. 2005.

FLAGG, C.; GORDON, R. L.; MCDOWELL, S. Hydrographic and current observations on the continental slope and shelf of the western equatorial Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, v. 16, p. 1412–1429, 1986.

GREGG, W. W.; CARDER, K. L. A simple spectral solar irradiance model for cloudless maritime atmospheres. *Limnology and Oceanography*, v. 35, n. December, p. 1657–1675, 1990.

LEGENDRE, L.; RASSOULZADEGAN, F. **Plankton and nutrient dynamics in marine waters**. *Ophelia* 41, p 153 e 172. 2012.

LIU, J. P.; XUE, Z.; ROSS, K.; WANG, H. J.; YANG, Z. S.; LI, A. C.; GAO, S. **Fate of sediments delivered to the sea by Asian large rivers**: long-distance transport and formation of remote alongshore clinothems. *Sediment. Rec.* 7: 4–9. 2009.

MINISTERIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2011. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura. Brasil 2008-2009. 99 pp.

MULLER-KARGER, F. E.; VARELA, R.; THUNELL, R.; LUERSSSEN, R.; HU, C.; WALSH, J. J. The importance of continental margins in the global carbon cycle. *Geophysical Research Letters*. 32. 2005.

NITTROUER, C. A.; DEMASTER, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*. 16 (5–6), 553–573. 1996.

NOGUEIRA, T.M.; CAMARGO, H.A. Fuzzy Rules Generation using Conditional Clustering. *IEEE Latin America Transactions*, v.7, n.4, p.463-471, 2009.

PAERL, H. W.; JUSTIC, D. Estuarine phytoplankton. In: DAY, J.; KEMP, M.; YANEZ, A.; CRUMP, B. (Eds.). *Estuarine Ecology*. John Wiley, New York, pp. 85e110. 2012.

STRAMMA, L.; SCHOTT, F. A. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. *Deep-sea Research II*, v. 46, p. 279-303. 1999.

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, 10460–10465. 2008.

WALSH, J. J.; BISCAYE, P. E.; CSANADY, G. T. The 1983–1984 shelf-edge exchange processes (SEEP) – I experiment: hypothesis and highlights. *Cont. Shelf Res.* 8: 435–456. 1988.

WILSON, W. E.; JOHNS, E.; S. L. Velocity structure of North Brazil Current rings.
Geophys. Res. Lett., v. 29, n. 8. 2002.

YOOL, A.; FASHAM, M. J. R. An examination of the “continental shelf pump” in an open ocean general circulation model. *Global Biogeochem Cycles*. 2001.