



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRESSÃO
PARCIAL DE DIÓXIDO DE CARBONO NA MARGEM EQUATORIAL
BRASILEIRA**

Gabriel Moiano Cesar

Monografia da disciplina de
Introdução a Geoprocessamento
(SER300) apresentada ao Dr.
Antônio Miguel Vieira Monteiro e
Dr. Claudio Clemente Faria
Barbosa.

INPE

São José dos Campos

2018

Resumo

O volume das águas do Rio Amazonas representa aproximadamente um quarto de toda água doce que deságua no oceano. A pluma do Rio Amazonas se estende por centenas de quilômetros no interior do oceano Atlântico Tropical Ocidental, com impacto direto na salinidade e temperatura da água e indireto sobre a biota local. O Rio Amazonas tem um papel importante no balanço de carbono global, e relevante contribuição na emissão de gases do efeito estufa. A região de transição entre o rio e o oceano é altamente dinâmica e complexa e a compreensão dos processos biogeoquímicos ali atuantes pode ser beneficiada pelo uso do Sensoriamento Remoto e aplicação de técnicas de geoprocessamento. Neste trabalho foram aplicados algoritmos para a estimativa da pressão parcial do dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) a partir de uma série temporal de dez anos de dados orbitais na região da margem equatorial brasileira adjacente à foz do Rio Amazonas. Os padrões de distribuição espacial e temporal da $p\text{CO}_2$ na região de estudo foram analisados em ambiente de sistema de informações geográficas. Foi possível observar que os menores valores de da $p\text{CO}_2$ foram observados no período entre julho e setembro (vazante). Os dados de sensoriamento remoto juntamente com as ferramentas de geoprocessamento são fundamentais para esse tipo de abordagem.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento. Pressão parcial do dióxido de carbono, Foz do Rio Amazonas.

1 INTRODUÇÃO

A realização de amostragens *in situ* tradicionais na região da foz do Rio Amazonas representa um desafio logístico relevante considerando as dificuldades inerentes à coleta de dados com boa representatividade espaço-temporal em um ambiente complexo, dinâmico e de difícil acesso logístico. (PAIVA, 2001; WARD et al., 2015; SAWAKUCHI et al., 2017). Neste sentido, o sensoriamento remoto aliado a técnicas de geoprocessamento representa uma ferramenta com bom potencial para a caracterização da variabilidade espaço-temporal de parâmetros biogeoquímicos considerados importantes nos estudos sobre o ciclo do carbono (VALERIO et al., 2018).

A pluma do Rio Amazonas pode se estender por uma área de até 1.020×10^3 km² no oceano Atlântico Norte Tropical Ocidental (MOLLERI et al. , 2010). A salinidade da água é altamente variável e dependente da sazonalidade. A extensão da pluma é resultante de vários processos interatuantes incluindo a descarga do Rio Amazonas que varia sazonalmente, os processos de advecção da pluma causados pelas correntes marinhas, o regime de precipitação e a turbulência causada pela ação de ventos sazonais (GRODSKY et al., 2014).

A matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM, do inglês *Colored Dissolved Organic Matter*) é composta basicamente por ácidos húmicos e fúlvicos (KIRK, 2011). Pode ter origem autóctone, por exemplo, da degradação de células fitoplanctônicas, ou alóctone, quando trazida de uma fonte distante (e.g. folhas provindas da vegetação ripária). Rios que fluem dentro de matas fechadas e/ou sobre solos ricos em matéria orgânica acumulam carga de CDOM em seu curso. De modo geral, o CDOM presente na água do mar proveniente de fontes terrígenas está em maior concentração e maior complexidade molecular do que quando originado por degradação do fitoplâncton (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).

A degradação contínua da matéria orgânica dissolvida através de processos biológicos e fotoquímicos contribui para o aumento da pressão parcial do 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 vêm sendo desenvolvidos em sistemas lênticos boreais e temperados para estimar a $p\text{CO}_2$ utilizando o carbono orgânico dissolvido (DOC) como indicador (LARSEN et al., 2011). Entretanto, ainda existe uma relativa escassez de trabalhos sobre a utilização da relação entre o CDOM e a $p\text{CO}_2$, principalmente em regiões tropicais.

A qualidade espacial e a frequência temporal fazem dos dados de sensoriamento remoto uma excelente ferramenta para esse tipo de estudo, e para a utilização desses dados é fundamental o uso de técnicas de geoprocessamento, que é utilizado nas análises de distribuição e caracterização de padrões espaciais e na variabilidade temporal (GRODSKY, et al. 2014; SAWAKUCHI, et al. 2014).

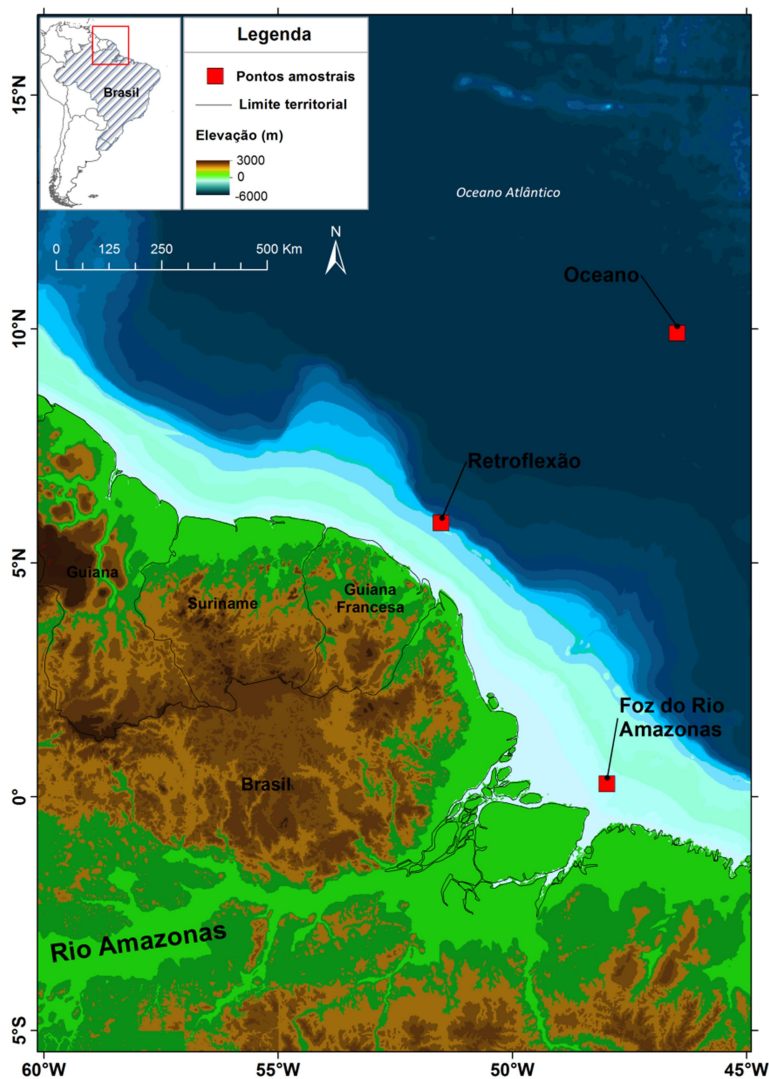
Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é estimar a $p\text{CO}_2$ na região da margem equatorial brasileira adjacente à foz do Rio Amazonas utilizando uma série temporal de dez anos de dados de sensoriamento remoto. A distribuição espacial e temporal da $p\text{CO}_2$ na região de estudo foi caracterizada com o uso de técnicas de geoprocessamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo aqui definida insere-se na margem equatorial norte brasileira, adjacente à foz do Rio Amazonas (Figura 1), delimitada entre 15°N-5°S e 60°W-45°W. É uma área altamente dinâmica com um enorme fluxo de nutrientes e taxas de produtividade primária. Esta região recebe o aporte de grandes quantidades de material orgânico e inorgânico transportado pelo rio Amazonas (VALERIO et al., 2018).

Figura 1 – A área de estudo inserida na margem equatorial norte brasileira, adjacente à foz do Amazonas (15°N-5°S e 60°W-45°W). Observa-se que os pontos amostrais estão localizados em diferentes profundidades e as amostras da retroflexão foram obtidas na quebra de plataforma continental.



2.1 Banco de dados

2.1.1 Dados batimétricos

Os dados de batimetria, com resolução de 30 metros, foram obtidos do GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*), disponíveis em: <http://www.gebco.net>. No mesmo sítio da Internet há um software gratuito de processamento desses dados onde os dados foram recortados no retângulo envolvente da região de estudo e com a utilização do software Q-GIS foram atribuídas as cores para cada profundidade. Estas profundidades são representadas pela sequência de isóbatas que foram utilizadas nesse estudo como referência para a aquisição dos pontos amostrais.

2.1.2 Dados MERIS

O satélite ENVISAT (*Environmental Satellite*) da Agência Espacial Europeia (ESA) operou entre 2002 e 2012. O sensor *MEdium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS) era um espectrômetro de média resolução espacial, operando na faixa do visível ao infravermelho próximo (400 a 900 nm). Os dados obtidos pelo MERIS representam uma base de dados globais representativa de uma década. Esses dados ainda são muito utilizados para estudos e caracterizações ambientais, principalmente em regiões costeiras e oceânicas (OLIVEIRA et al., 2016; TISLTONE et al., 2017; LOISEL et al. 2017). Um dos aspectos mais atraentes para a utilização desses dados em estudos de sistemas aquáticos é a sensibilidade do sensor MERIS aos principais constituintes opticamente significativos da água, devido às suas características espectrais (MERIS, 2006). Os dados de absorção de luz pelo CDOM em 412 nm do sensor MERIS utilizados neste trabalho foram processados por um algoritmo de correção atmosférica denominado POLYMER (STEINMETZ et al., 2011).

2.1.3 Algoritmo para o cálculo da Salinidade Sintética

O algoritmo utilizado nesse estudo para o cálculo da salinidade sintética superficial foi desenvolvido por MOLLELI et al., 2010 onde o produto *adg_443_gsm* do SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*) e um conjunto de dados de salinidade resultaram no desenvolvimento de um modelo de salinidade sintética dado pela Equação 1.

$$SSS = -126.032 (\text{adg_443_gsm}) + 37.259 \quad (1)$$

As matrizes de dados de SSS, foram adquiridas por meio do coeficiente de absorção de luz pelo CDOM em 412 nm - $a_{\text{CDOM}(412)}$ onde foram analisados 116 meses (compreendendo os meses da série do satélite MERIS – Julho de 2002 a Fevereiro de 2012) nos cálculos médios.

2.1.4 Dados de temperatura da superfície do mar

Outro conjunto de dados utilizado nesse trabalho foi a série de temperaturas mensais da superfície do mar SST (do inglês *Sea Surface Temperature*) com resolução espacial nominal de 1 km, adquirida pelo sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), disponível em: oceancolor.gsfc.nasa.gov. O sensor MODIS está a bordo do satélite Aqua do programa espacial *Earth Observing System* (EOS) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com dados de SST disponíveis a partir de 2002. Esse satélite possui órbita heliossíncrona, obtendo uma cobertura global diária da superfície terrestre. Com 36 bandas espectrais o sensor MODIS, dentro do espectro do visível e infravermelho-próximo (NIR) tem no nadir as bandas centradas em 645 nm e 859 nm com resolução espacial de 250 m e as demais bandas tem resolução de 500 m, 1 km e 4 km. A qualidade do imageamento junto com grande e ininterrupta série temporal colocam o sensor MODIS como um dos principais instrumentos de estudo do para o monitoramento do planeta. Todas as operações de matrizes com os produtos de satélites foram realizadas por meio de rotinas específicas desenvolvidas por linguagem de programação,

onde houve o mascaramento de pixels espúrios, como nuvens e pixels sem informação assim como a exclusão do continente nos cálculos.

2.1.5 Dados de precipitação

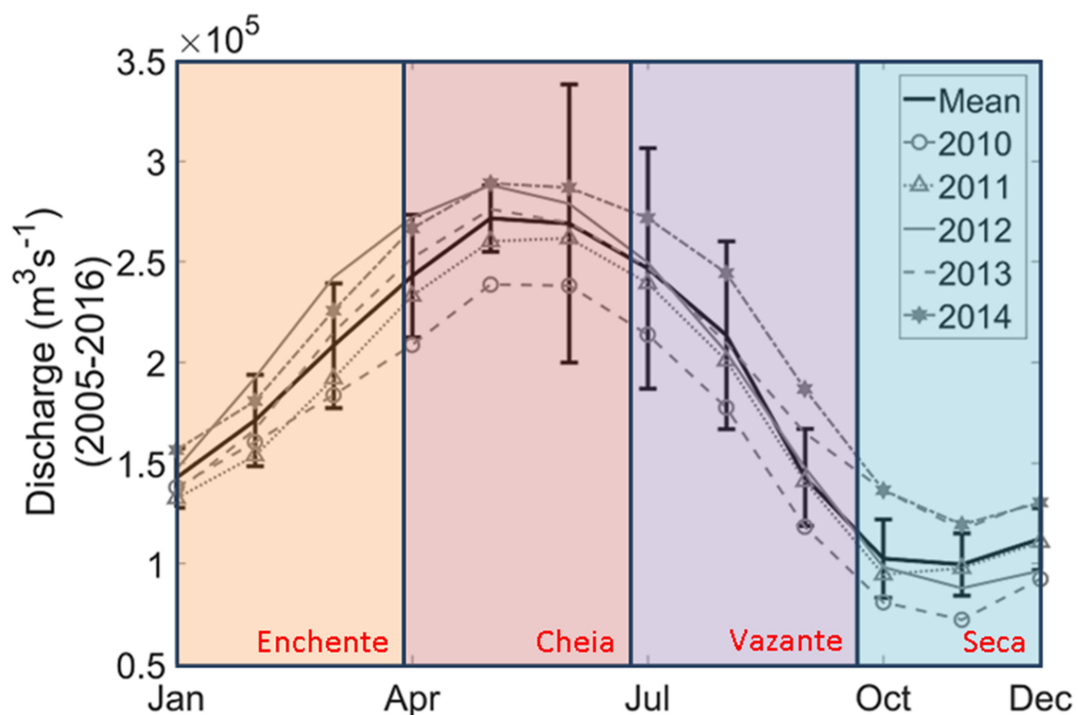
Foram obtidos dados de precipitação acumulada do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponíveis em: <http://www.inmet.gov.br>. Os dados pontuais das estações da região Norte foram obtidos para o mesmo período da série de estudo. Foi realizado o cálculo da média dos valores para as estações disponíveis.

2.1.6 Processamento dos dados

A série de dados foi limitada pela disponibilidade do banco de dados mensal do MERIS, assim, para o período de Julho de 2002 até Fevereiro de 2012 (116 imagens) foram feitas as médias mensais e sazonais para todo o período.

Com a utilização da linguagem Python e das ferramentas disponibilizadas de forma livre (especialmente as bibliotecas numpy, os, datetime, netCDF4 e matplotlib) foram realizados os cálculos dos algoritmos e as operações entre as matrizes. Os mapas foram desenvolvidos no Sistema de Informação Geográfica Q-GIS e no 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. As imagens médias mensais e sazonais foram geradas utilizando matemática de bandas e os valores foram selecionados de acordo com o período de descarga já descrito em trabalhos anteriores (Figura 2).

Figura 2 – Valores de descarga do Rio Amazonas entre os anos de 2010 e 2014. (Adaptado de: Valério et. al. 2018).



2.3 Algoritmo para o cálculo do $p\text{CO}_2$

A utilização de algoritmos empíricos para a estimativa de parâmetros biogeoquímicos no oceano vem sendo amplamente aplicada em séries de dados para diferentes aplicações científicas. O algoritmo aqui utilizado para a estimativa do $p\text{CO}_2$ foi desenvolvido por Valério et. al. (2018), que se baseou em dados in situ coletados no Baixo Rio Amazonas durante os anos de 2014-2017, em diferentes condições hidrológicas. Com a utilização de técnicas estatísticas, os autores desenvolveram um modelo empírico para a estimativa de valores de $p\text{CO}_2$ utilizando dados do satélite SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*).

O trabalho de Valerio et al. (2018) descreve as relações entre a distribuição da $p\text{CO}_2$ com outros parâmetros ambientais como clorofila, temperatura e CDOM.

Um dos algoritmos empíricos propostos é o que estima a $p\text{CO}_2$ por meio dos valores de salinidade e temperatura, como descrito na Equação 2.

$$p\text{CO}_2 = 0.05(\text{SSS})^2 + 34.81(\text{SST})^2 + 19.71(\text{SSS} \cdot \text{SST}) + 48792.07 - 560.47(\text{SSS}) - 2694.56(\text{SST}) \quad (2)$$

2.4 Seleção dos dados

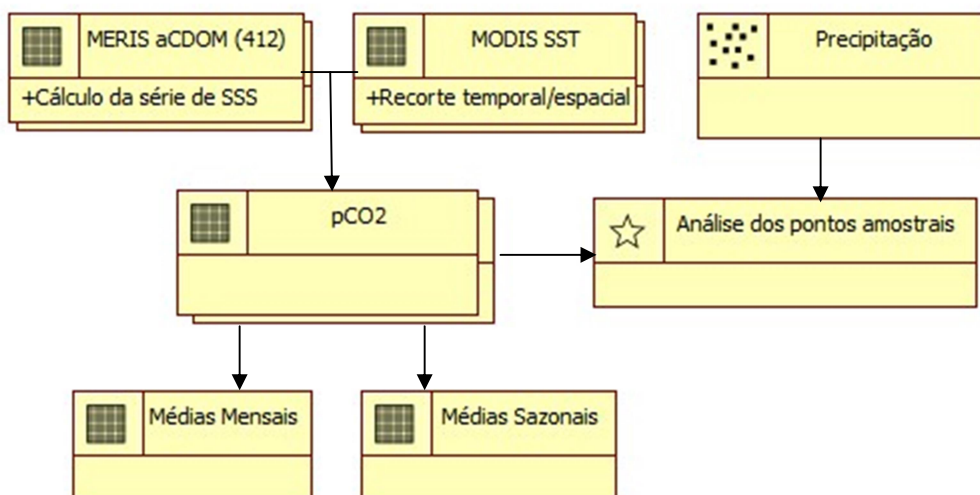
Os cálculos dos algoritmos bem como a seleção dos dados foram feitos utilizando a linguagem Python diretamente sobre as matrizes de dados. A série de 10 anos de dados mostra alguns padrões interessantes. Foram desprezados os valores nulos e pixels contaminados por nuvens, o continente foi mascarado para a realização das seleções. Assim, os dados de médias mensais representam os valores médios de todas as imagens do mesmo mês.

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), as médias sazonais foram realizadas utilizando os mesmos períodos

A seleção dos pontos amostrais (Figura 1) foi realizada levando em consideração as regiões de influência da pluma do Rio Amazonas e as posições dos pontos em relação à profundidade. Foi feita uma média em uma janela 3x3 pixels na Foz do Rio Amazonas (-47.98 W, 0.28 N), na região de influência da Corrente Norte do Brasil, aqui denominada Retroflexão (-51.52 W, 5.86 N) e no Oceano (-46.48 W, 9.92 N). As informações temporais foram exportadas para uma tabela (Excel do Microsoft Office), onde foram realizadas as estatísticas básicas (cálculo dos valores máximos, mínimos, médias, medianas, desvios padrões e outliers) desses conjuntos de dados e foi realizada comparação com os dados médios de precipitação da região (Correlação de Pearson).

A Figura 3 apresenta o diagrama de classes do banco de dados (modelo OMT-G).

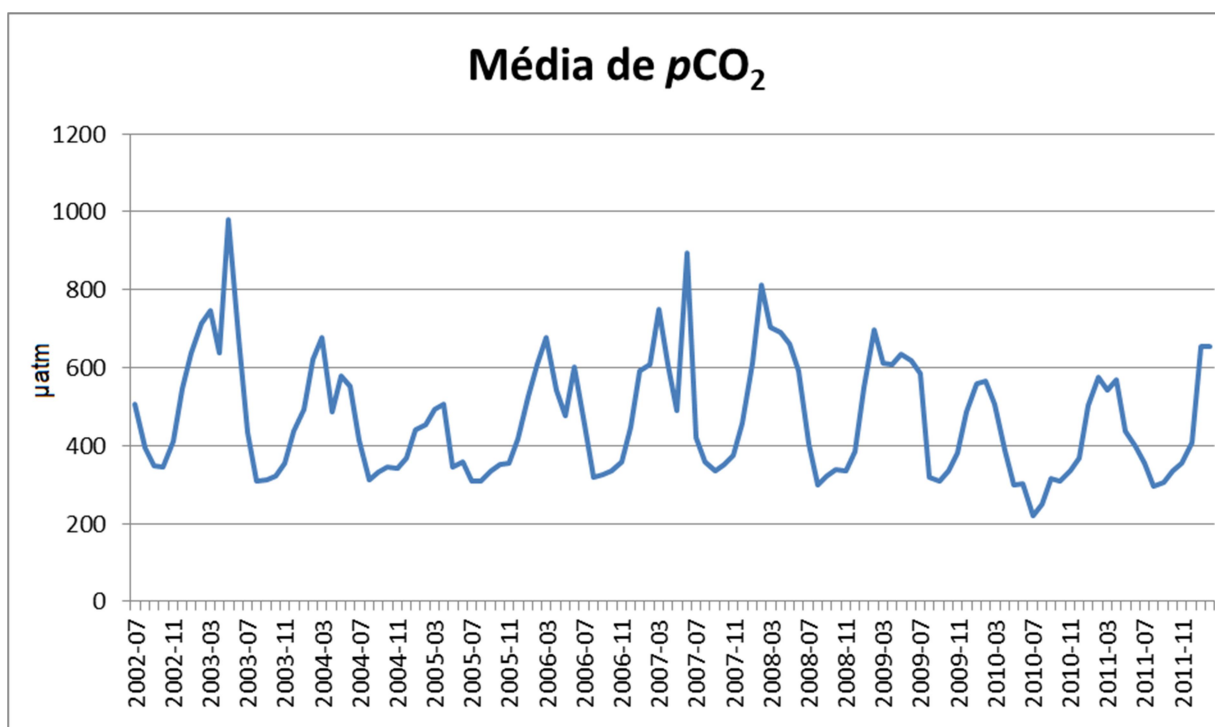
Figura 3 - Representação semântica do modelo de dados.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a utilização de técnicas estatísticas básicas foi possível observar alguns padrões cíclicos nas séries de dados. A Figura 4 apresenta os valores de $p\text{CO}_2$ médios considerando a área de estudo. No geral os valores calculados pelo algoritmo utilizado apresentaram resultados condizentes com os encontrados na literatura.

Figura 4 – Valores médios de $p\text{CO}_2$ para toda a imagem.



A Figura 5 apresenta os valores de $p\text{CO}_2$ na Foz do rio Amazonas (-47.98 W, 0.28 N). Apesar da sequência não ter uma variação padronizada (pelo menos não tão óbvia quanto à observada na figura 4), também apresenta resultados realísticos, considerando os trabalhos anteriores (VALERIO et al., 2018). Além da complexidade natural da variação do parâmetro, deve-se levar em conta primeiramente o erro inerente ao cálculo do algoritmo da salinidade sintética (desenvolvido para outro conjunto de dados) e a região selecionada, que tem maior susceptibilidade à presença de nuvens, interferindo nas médias. Contudo, tanto na sequência da figura 4, quanto na figura 5, os menores valores registrados foram na vazante do ano de 2010, isso pode estar

relacionado com a forte seca que houve nesse período (MARENGO et al. 2011).

Figura 5 – Variação da $p\text{CO}_2$ na Foz do rio Amazonas.

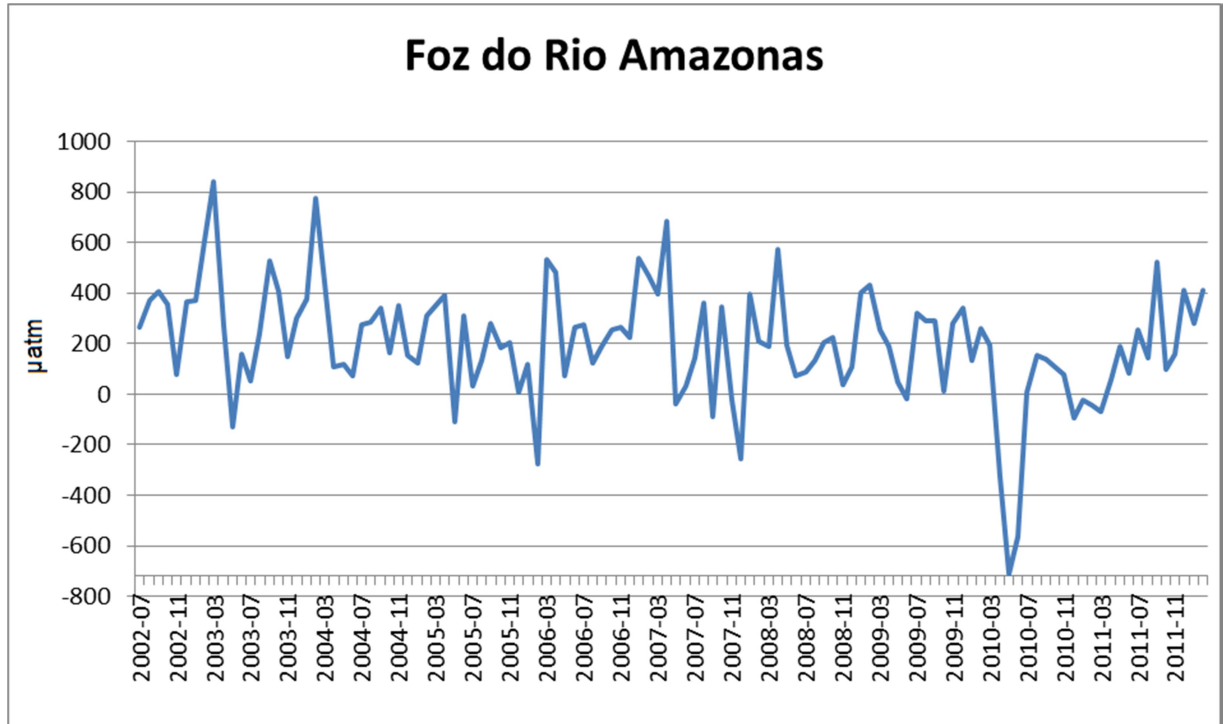
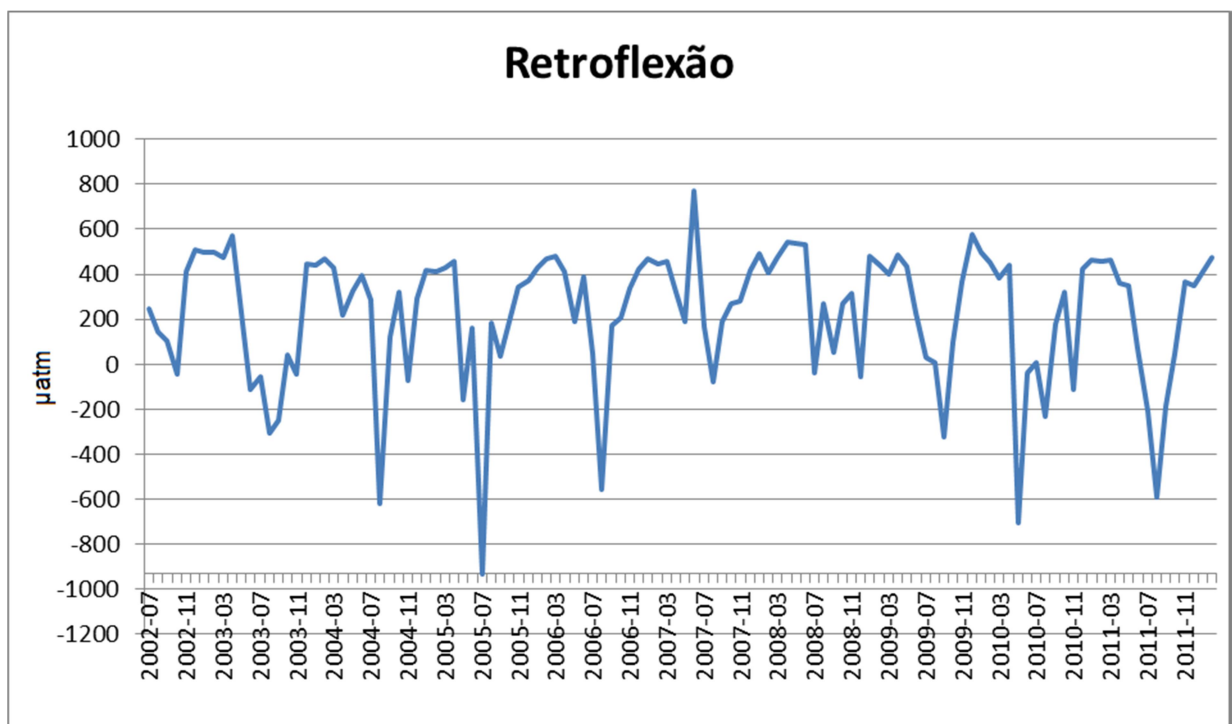
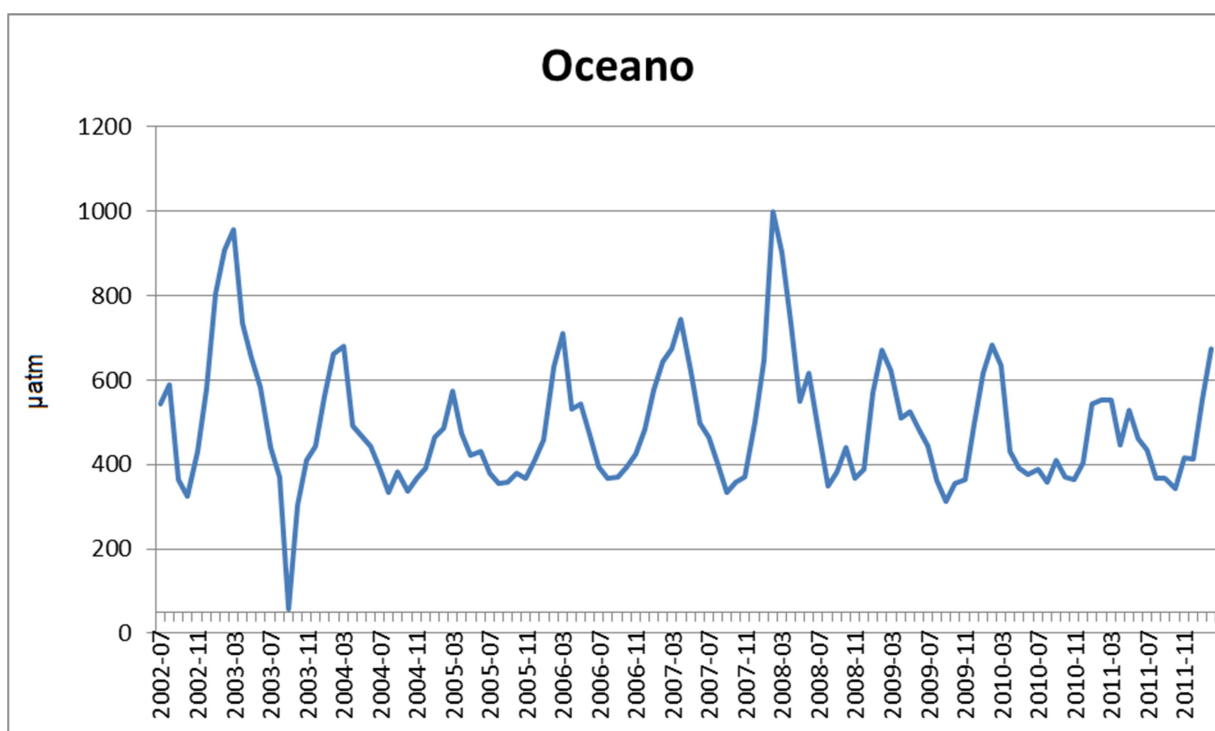


Figura 6 - Variação da $p\text{CO}_2$ na região da retroflexão da pluma do Rio Amazonas.



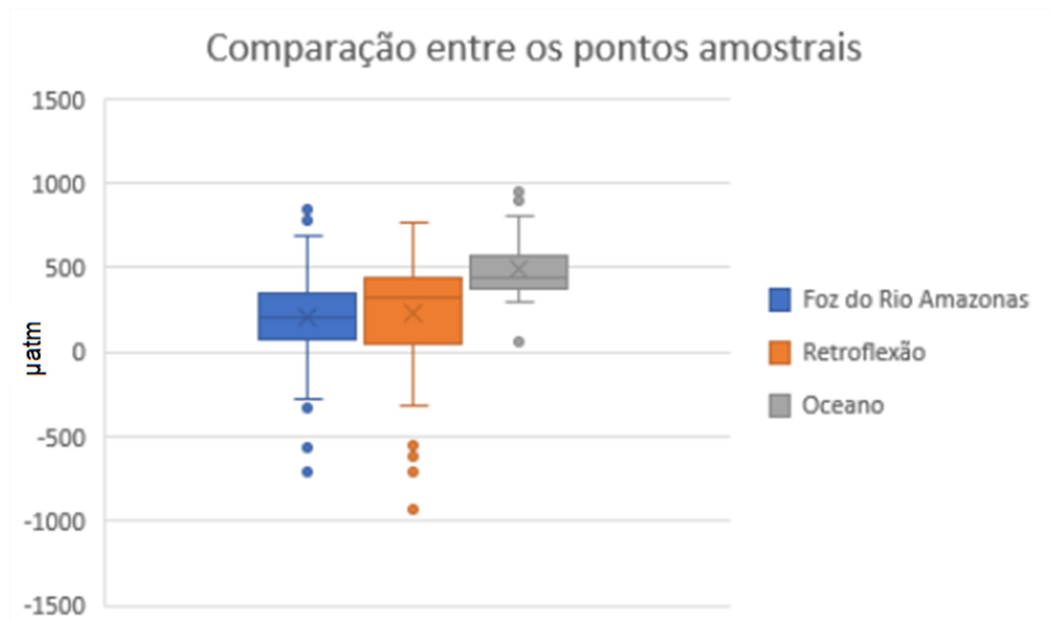
No período de vazante pode-se observar a retroflexão da pluma do Rio Amazonas pela interação com a Corrente Norte do Brasil, que está ligada a formação de anéis que se desprendem da pluma e se deslocam para o norte (CASTELÃO; JOHNS, 2011). A Figura 6 apresenta a série de dados obtidos pela média do ponto referente à região da retroflexão da pluma do Rio Amazonas (51.52 W, 5.86 N). É possível observar que os menores valores da série (frequentemente negativos) ocorreram no período de vazante, que é quando a retroflexão da pluma tem a maior expressão. Os valores de $p\text{CO}_2$ na região oceânica apresentaram um comportamento mais estável, isso pode ser explicado pela fraca influência da Foz do Amazonas, já que é o conjunto amostral mais distante da desembocadura do rio.

Figura 7 - Variação da $p\text{CO}_2$ na região oceânica.



Na Figura 8 são apresentadas as estatísticas básicas dos pontos amostrais de forma simplificada.

Figura 8 – Gráfico de box-whiskers dos pontos amostrais. Onde o x representa a média da série, o traço representa o valor da mediana, a “caixa” mostra o desvio padrão, os “*whiskers*” mostram os valores máximos e mínimos da série e os pontos representam os *outliers*.



As séries dos pontos amostrais foram correlacionadas com os dados de precipitação (figura 9).

Figura 9 – Valores de precipitação média da Região Norte (INMET)

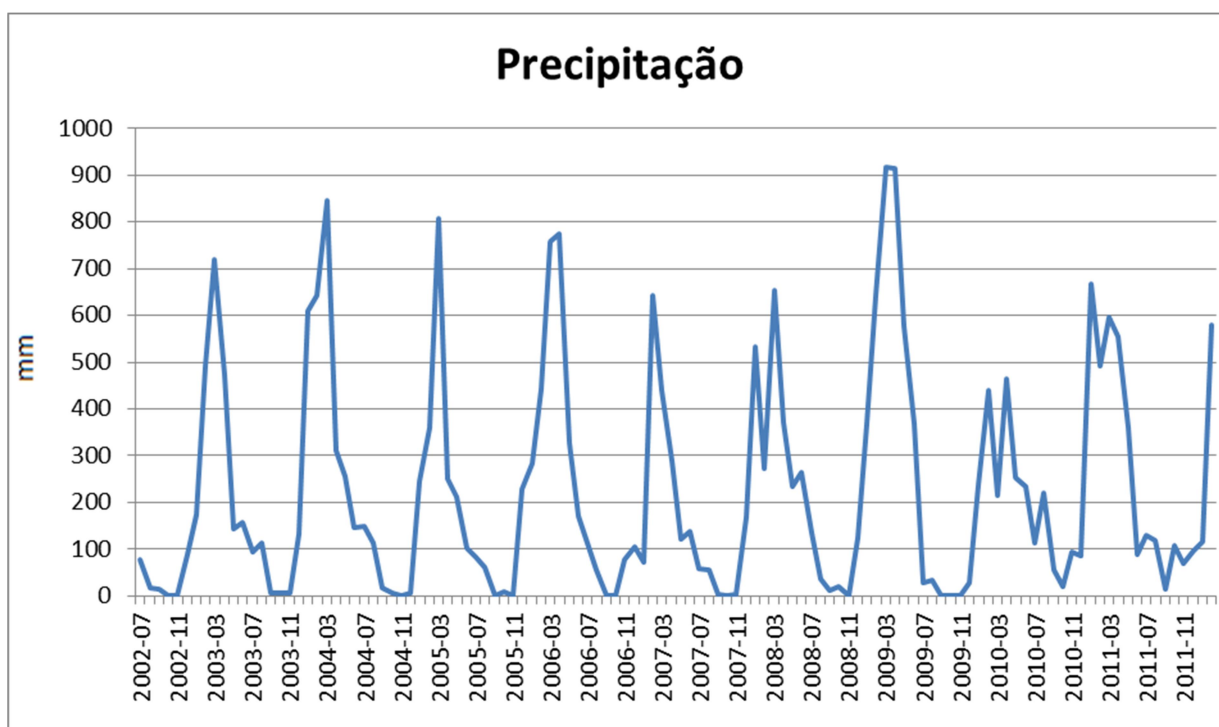


Tabela 1 Correlação entre as séries de dados dos pontos amostrais com os valores de precipitação.

Correlação de Pearson (R)	
Foz X Precipitação	0,16
Retroflexão X Precipitação	0,43
Oceano X Precipitação	0,63
Média X Precipitação	0,60

Os valores de precipitação segundo a análise se correlacionam mais fortemente com a série de dados da média de pontos amostrais da região oceânica, o padrão sazonal provavelmente possibilitou essa maior correlação entre as séries.

A figura 10 apresenta os valores médios mensais especializados da $p\text{CO}_2$ e a figura 11 agrupa as imagens sazonalmente de acordo com o período de vazão do Rio Amazonas para toda a série (Julho de 2002 a Fevereiro de 2012). Por

meio de um fatiamento os valores foram organizados por classes, nas figuras 10 e 11 é possível observar a influência da pluma com valores negativos no período de vazão (Julho, Agosto e Setembro), especialmente os valores mais baixos foram observados no período de seca (Outubro, Novembro e Dezembro). O período de enchente concentrou os valores mais altos de $p\text{CO}_2$.

Figura 10 - Média Mensal dos valores de $p\text{CO}_2$ (2002-2012)

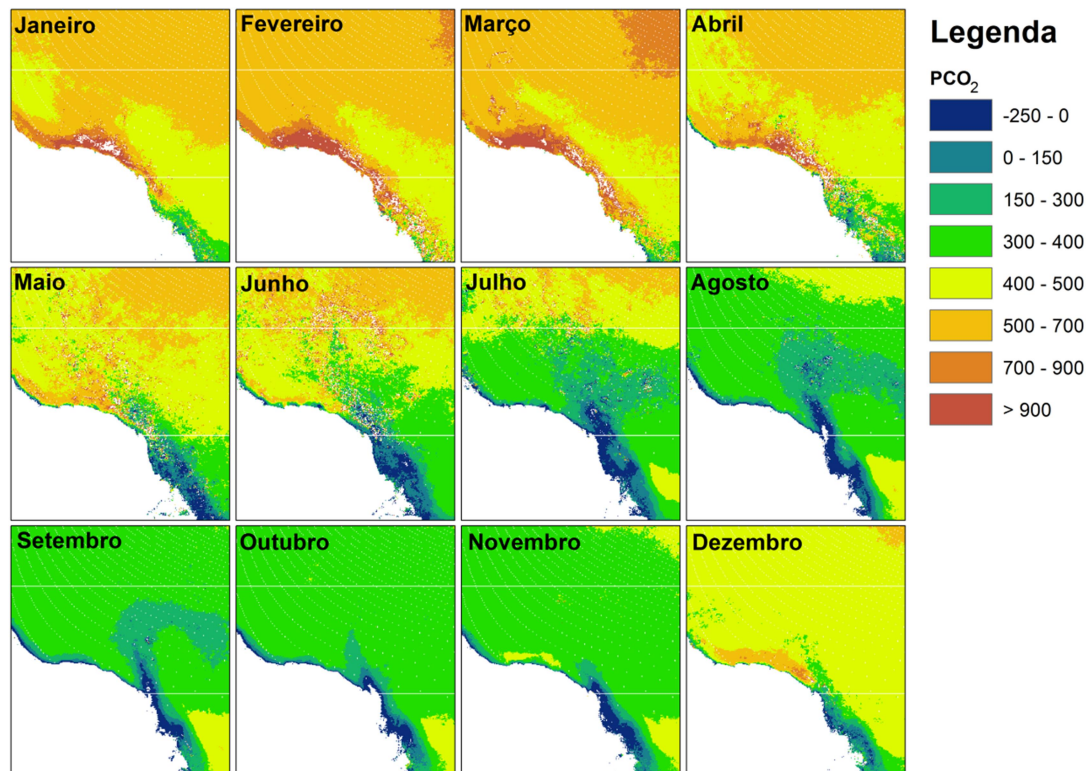
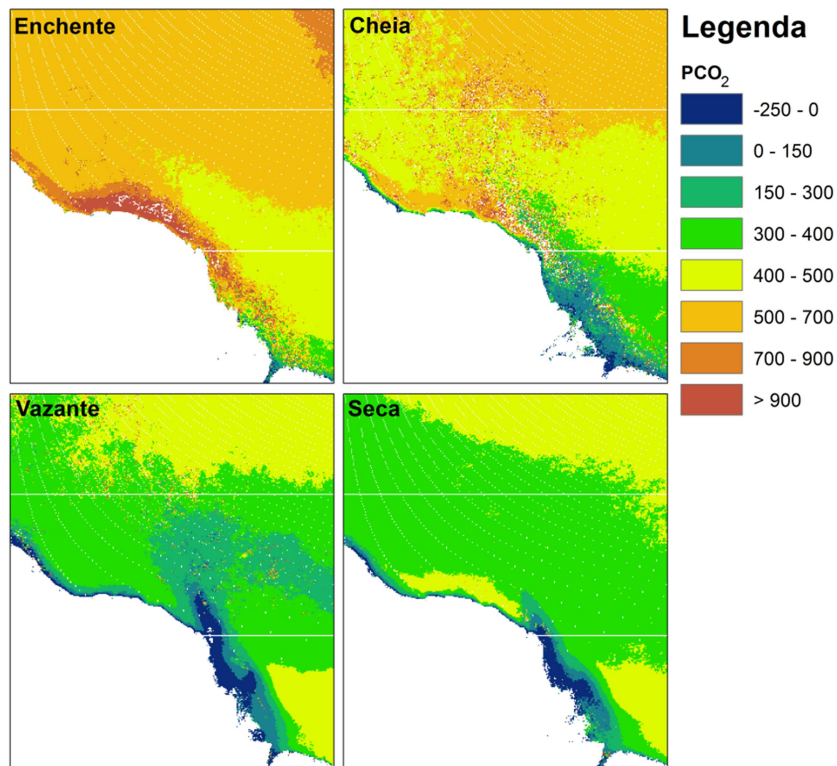
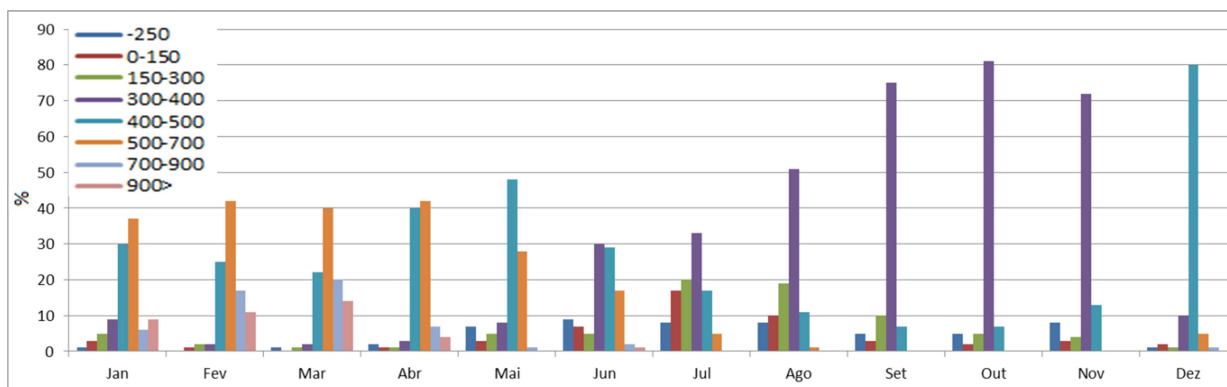


Figura 11 - Variação sazonal dos valores de $p\text{CO}_2$ (2002-2012).



Com os valores da porcentagem da distribuição das classes do fatiamento realizado nas imagens médias mensais foi possível observar uma dominância da classe representada pelos valores entre 500 e 700 μatm desde Janeiro até o mês de Abril. A classe entre 300 e 400 μatm foi dominante desde o mês de Junho até Novembro. É interessante observar a pouca representatividade das classes com maiores valores nos períodos de vazante e seca (de Julho a Dezembro).

Figura 12 – Porcentagem das classes do fatiamento realizado nas imagens médias mensais.



4 CONCLUSÃO

Com a utilização de técnicas estatísticas e de geoprocessamento para análise de variabilidade espaço temporal foi feita a caracterização sazonal da $p\text{CO}_2$ na margem equatorial da foz do rio Amazonas utilizando dados de sensoriamento remoto. O fatiamento das imagens médias mostrou os padrões médios de cada período considerando as variações mensais e sazonais de acordo com o período de descarga do Rio Amazonas, onde foi possível observar que os menores valores de da $p\text{CO}_2$ foram observados no período de vazante. A seleção de pontos amostrais em diferentes profundidades foi importante para a observação do comportamento da série de $p\text{CO}_2$. O ponto amostral que melhor se correlacionou com a variável precipitação foi a amostra dos pontos do Oceano. Outros algoritmos são mais eficientes para o cálculo do $p\text{CO}_2$ na região da Foz do Rio Amazonas. O período de vazante apresentou os menores valores de $p\text{CO}_2$ agrupados na boca do rio e na região da retroflexão e a classe com valores entre 300 e 400 μatm foi dominante no período de vazante e seca.

Apesar da boa resolução espacial dos dados MERIS, em futuros trabalhos deve-se avaliar o uso de outros satélites ainda em atividade.

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.

CASTELÃO, G. P.; JOHNS, W. E. 2011 Sea surface structure of North Brazil Current rings derived from shipboard and moored acoustic Doppler current profiler observations. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, p. 1–12.

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.

KIRK, J. T. O. **Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2011.

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.

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.

LOISEL, H.; VANTREPOTTE, V.; OUIILLON, S.; NGOC, D. D.; HERRMANN, M.; TRAN, V.; MÉRIAUX, X.; DESSAILLY, D.; JAMET, C.; DUHAUT, T.; NGUYEN, H. H.; NGUYEN, T. V. 2017. Assessment and analysis of the chlorophyll-a concentration variability over the Vietnamese coastal waters from the MERIS ocean color sensor (2002–2012), *Remote Sensing of Environment*, v. 190, p. 217-232.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v. 38, L12703.

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. Disponible em: <https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/ENVISAT/MERIS/meris.ProductHandbook.2_1.pdf>

OLIVEIRA, E. N., FERNANDES, A. M.; KAMPEL, M.; CORDEIRO, R. C.; BRANDINI, N. VINZON, S. B.; GRASSI, R. M.; PINTO, F. N.; FILLIPO, A. M.; PARANHOS, R.; 2016. Assessment of remotely sensed chlorophyll- a concentration in Guanabara Bay, Brazil, **J. Appl. Remote Sens.** 10(2), 026003.

PAIVA, R. S. **Parâmetros físicos, químicos, biomassa e produção primária do fitoplâncton na Plataforma Continental Amazônica.**2001. 153 f. -Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B. R. 1990. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, v. 35, n. 2, p. 352–371.

SAWAKUCHI, H. O.; BASTVIKEN, D.; SAWAKUCHI, A. O.; KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; RICHEY, J. E.; 2014. Methane emissions from Amazonian Rivers and their contribution to the global methane budget, **Global Change Biology**, v. 20, n. 9, p. 2829-2840.

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.

TILSTONE, G.; MALLOR-HOYA S.; GOHIN F., COUTO A. B.; SÁ, C. GOELA, P.; CRISTINA, S.; AIRS, R.; ICELY, J.; ZÜHLKE, M.; GROOM, S.; 2017. Which ocean colour algorithm for MERIS in North West European waters? **Remote Sensing of Environment**. v. 189, p. 132-151.

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.