

# ESTIMATIVAS DE NITROGÊNIO DE SUPERFÍCIE NA BACIA DE CAMPOS – RJ, A PARTIR DE DADOS DE TEMPERATURA E CLOROFILA-A OBTIDOS POR SATÉLITE

LEANDRO RODRIGUES DE FREITAS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
lfreitas@dsr.inpe.br

**RESUMO:** O mapeamento da distribuição de do nitrogênio é um fator importante na compreensão da variabilidade espaço-temporal dos processos de produtividade primária marinha. O uso de dados orbitais em conjunto com amostragem convencional pode estender a capacidade de monitoramento para uma escala sinótica. O presente trabalho utiliza técnicas de regressão multivariada para modelar empiricamente o nitrogênio de superfície a partir de dados *in-situ* para posterior utilização de dados de temperatura e clorofila-a de superfície do mar obtidos remotamente e investiga o desempenho do modelo. Embora não tenha sido considerada satisfatória, foi possível avaliar o uso das técnicas de geoprocessamento e estatística para a inferência de dados oceanográficos na Baía de Campos.

Palavras-Chave: **AVHRR, MODIS, nitrogênio, Baía de Campos, regressão.**

## 1 INTRODUÇÃO

A produção primária marinha devido ao fitoplâncton é limitada pela presença de nutrientes, especialmente o nitrogênio (SWITZER, 2003). O crescimento do fitoplâncton pode se dar pelo uso do nitrogênio de fontes alóctones, como o nitrato existente em massas d'água profundas, ou de fontes autóctones, como a amônia, produto da reciclagem da matéria orgânica na própria zona eufótica (MANN e LAZIER, 2006) Esses dois mecanismos são conhecidos como produção primária “nova” e “regenerada”, respectivamente (DUGDALE e GOERING, 1967). A magnitude da produção primária e todos os processos biogeoquímicos marinhos subsequentes – transferência trófica de matéria orgânica, aprisionamento de CO<sub>2</sub> atmosférico, etc – estão intimamente relacionados à presença dos nutrientes e a sua dinâmica temporal e espacial (MANN e LAZIER, 2006).

Eppley et al. (1967) identificaram o relacionamento inverso entre a temperatura e a concentração de nutrientes no oceano superficial. Esta relação foi estendida aos dados orbitais de temperatura de superfície do mar (SST, do inglês *sea surface temperature*) por muitos outros autores (DUGDALE et al., 1994; SWITZER et al., 2003; SILIÓ-CALZADA et al., 2008) com algumas variações (recomenda-se a revisão bibliográfica em SILIÓ-CALZADA et al., 2008). Goes et al. (1999) propuseram a inclusão da clorofila-a como outra variável preditiva da concentração de nitrato na superfície do mar, pela sua influência na distribuição regional do nutriente.

As variações espaço-temporais do nitrogênio na superfície do mar, mesmo em escala regional, são muito grandes (BRAGA e NIENCHESKI, 2006), tornando os métodos convencionais de amostragem inadequados para caracterizar estas flutuações. Justifica-se portanto a busca por métodos de inferir a concentração de nutrientes, especialmente o nitrogênio, a partir de fontes sinóticas de dados oceanográficos.

No presente trabalho será utilizada a abordagem proposta por Goes et al. (1999) de utilização da temperatura e clorofila-a para a modelagem empírica da distribuição do nitrogênio *in-situ*, com posterior substituição das variáveis preditivas pelas mesmas, mas desta vez medidas por sensores orbitais, para a sintetização de um dado de nitrogênio da superfície do mar (NSM). Os resultados serão comparados aos dados *in-situ* para averiguar a capacidade do modelo em predizer a concentração do nutriente.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

A Bacia de Campos fica entre os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, na costa brasileira. Fica compreendida aproximadamente entre 37°10' - 42° W

e 20°26' – 25°22' S, tendo quase 100 mil km<sup>2</sup> de área (Figura 1). O regime hidrodinâmico é regido principalmente pela corrente do Brasil, que apresenta frente térmica situada sobre a quebra da plataforma continental (cerca de 200 m de profundidade) e constantes meandramentos, que evoluem para vórtices, como o Vórtice do Cabo de São Tomé. São frequentes os eventos de ressurgência costeira próximo a Cabo Frio e Campos, onde a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) pode aproximar-se ou atingir a superfície, reduzindo a temperatura do mar e trazendo altas concentrações de nutrientes (CASTRO et al., 2006). Entre 2008 e 2010, vários cruzeiros oceanográficos foram realizados na região para compor o projeto Habitats – Heterogeneidade Ambiental da Bacia de Campos – Rio de Janeiro. Este projeto foi coordenado pelo Centro de Pesquisas da Petrobras. Foram utilizados dados *in-situ* e remotos adquiridos em duas épocas do ano (Períodos Chuvoso: 4/mar a 13/abr e Seco: 5/ago a 17/set/2009), a fim de caracterizar a sazonalidade da região.

## **2.2. Dados**

Foram utilizados dados de temperatura, clorofila-a e nitrogênio, medidos na coluna d'água, além de temperatura e clorofila-a estimados por satélites.

Todos os dados *in-situ* utilizados foram apenas de subsuperfície (aproximadamente 1m de profundidade). A temperatura foi perfilada por meio de um sensor CTD Seabird acoplado a uma rosette. O nitrogênio e a clorofila-a foram determinados a partir de amostras d'água coletados por abertura de garrafas oceanográficas.

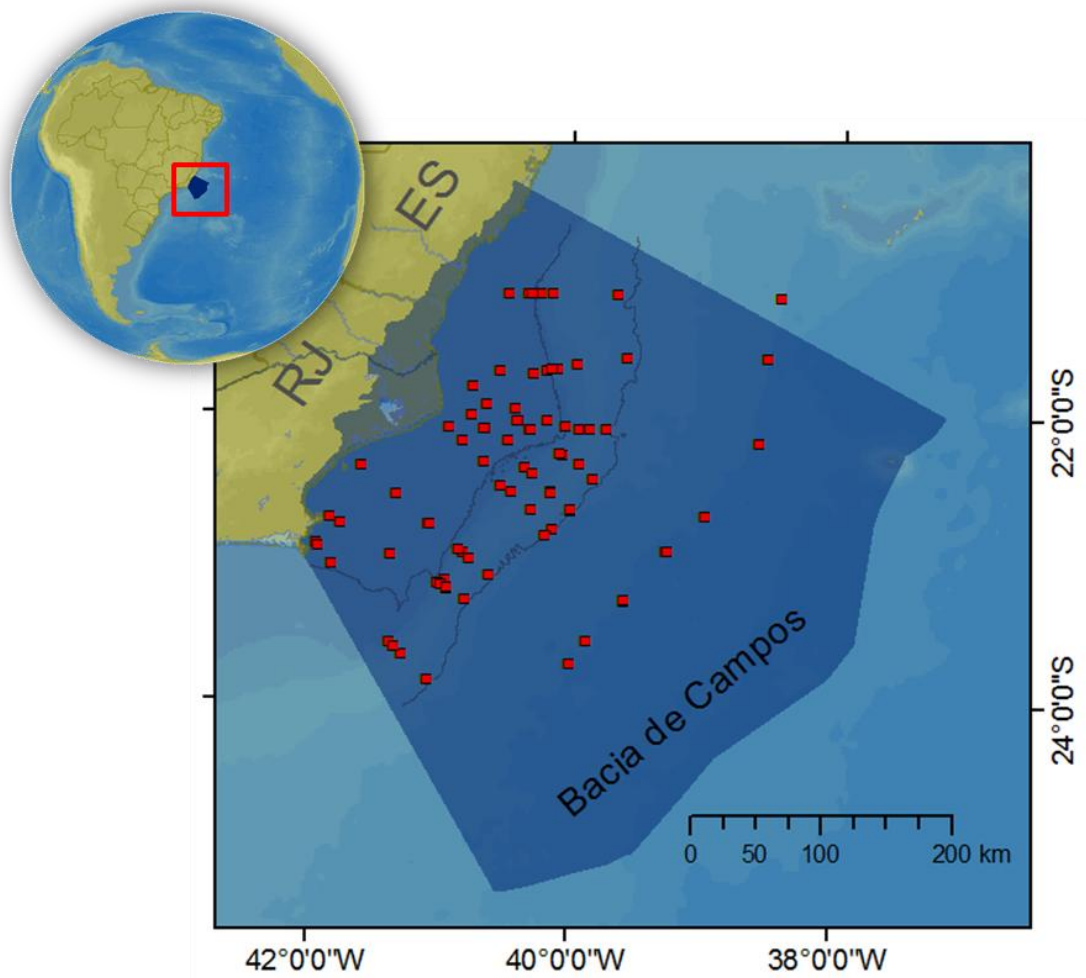


Figura 1: Mapa com a localização da área de estudo (polígono escuro) e das estações amostrais (pontos vermelhos). São mostradas duas isóbatas: 100 (mais próximo à costa) e 2000 m.

Para os dados orbitais foram utilizados a temperatura da superfície do mar (TSM) e a clorofila-a da superfície do mar (CSM) estimados pelos sensores AVHRR e MODIS, respectivamente. A resolução espacial destes dados é de 1km no nadir, aproximadamente. As imagens diárias foram fornecidas pela DSA-INPE (<http://satelite.cptec.inpe.br/oceano/?i=br>).

## 2.3. Metodologia

A metodologia seguiu basicamente as etapas de determinação dos coeficientes de regressão para o nitrogênio, obtenção das médias de TSM e CSM e aplicação do modelo. Um diagrama OMT-G é mostrado na Figura 2 sintetizando o fluxo de trabalho.

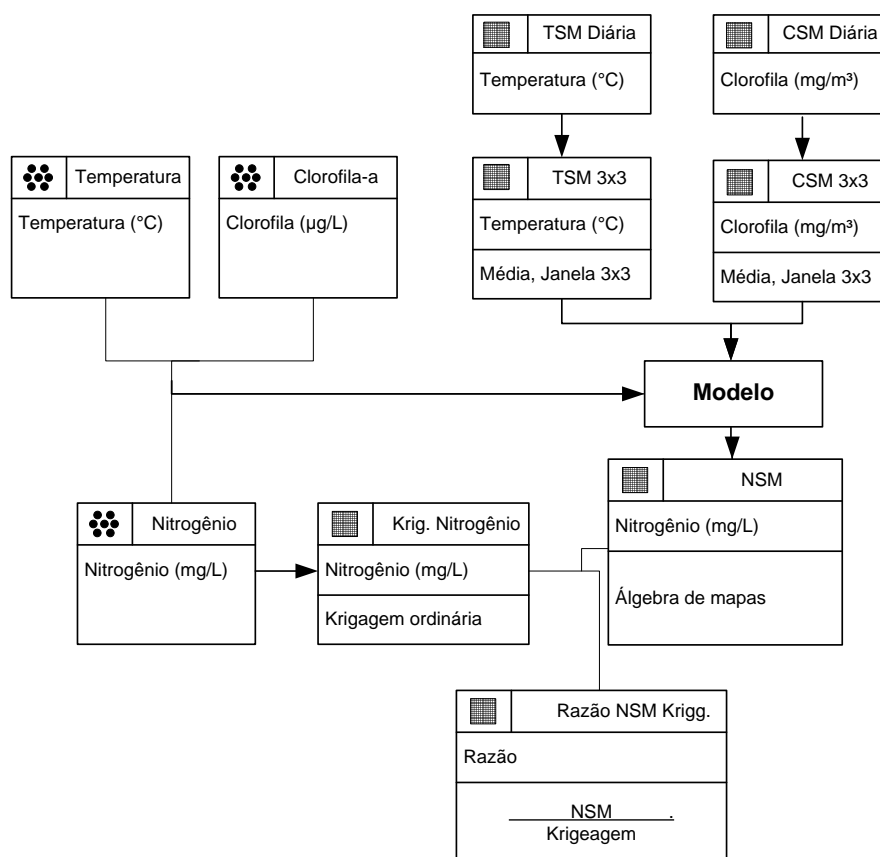


Figura 2: Diagrama OMT-G do fluxo de trabalho realizado.

A investigação das correlações entre variáveis foi feita no software Matlab, com a utilização da função *stepwise*, utilizando como variáveis independentes a temperatura e clorofila-a (primeira e segunda ordens), além do produto da temperatura pela clorofila.

As imagens diárias de TSM e CSM foram convertidas em médias, para cada intervalo de datas dos períodos Chuvoso e Seco. Estas imagens médias foram suavizadas por uma janela 3x3 para comparação com os dados *in-situ*.

Tendo sido obtidos os coeficientes de regressão, procedeu-se a criação das superfícies de NSM utilizando a álgebra de mapas, substituindo as variáveis *in-situ* pelas orbitais.

A comparação entre os resultados obtidos foi realizada pela determinação do coeficiente de regressão linear entre o nitrogênio *in-situ* e o proveniente das superfícies geradas. O modelo foi comparado, também, a uma superfície gerada por interpolação por krigeagem ordinária isotrópica. Todos os procedimentos de preparação dos dados espaciais, álgebra de mapas e geoestatística foram realizados no software ArcGIS.

### **3 Resultados e discussão**

#### **3.1. Análise das variáveis**

A análise das variáveis mostrou que ambas CSM e TSM médias não mostravam uma boa correlação com as respectivas variáveis *in-situ* (clorofila-a e temperatura), como pode ser visto na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Em geral a CSM subestimou a clorofila-a *in-situ*, enquanto a temperatura foi apenas bastante dispersa.

#### **3.2. Determinação do modelo**

A determinação do modelo de regressão múltipla, tanto para o período Seco quanto Chuvoso, apontou para a utilização das variáveis temperatura, temperatura de segunda ordem e clorofila-a. A Tabela 1 mostra o resultado do modelo ajustado na forma de equação, o coeficiente de relação e o erro médio quadrático.

Tabela 1: Resultado da regressão múltipla para o nitrogênio in-situ para os períodos Chuvoso e Seco.

Período	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE	N
Chuvoso	$N=0,6719 - [0,0489 T] + [0,0009 T^2] + [0,0107 \text{ Clor-a}]$	0,6658	0,0023	70
Seco	$N=0,2612 - [0,0217 T] + [0,0005 T^2] + [0,0078 \text{ Clor-a}]$	0,5442	0,0037	68

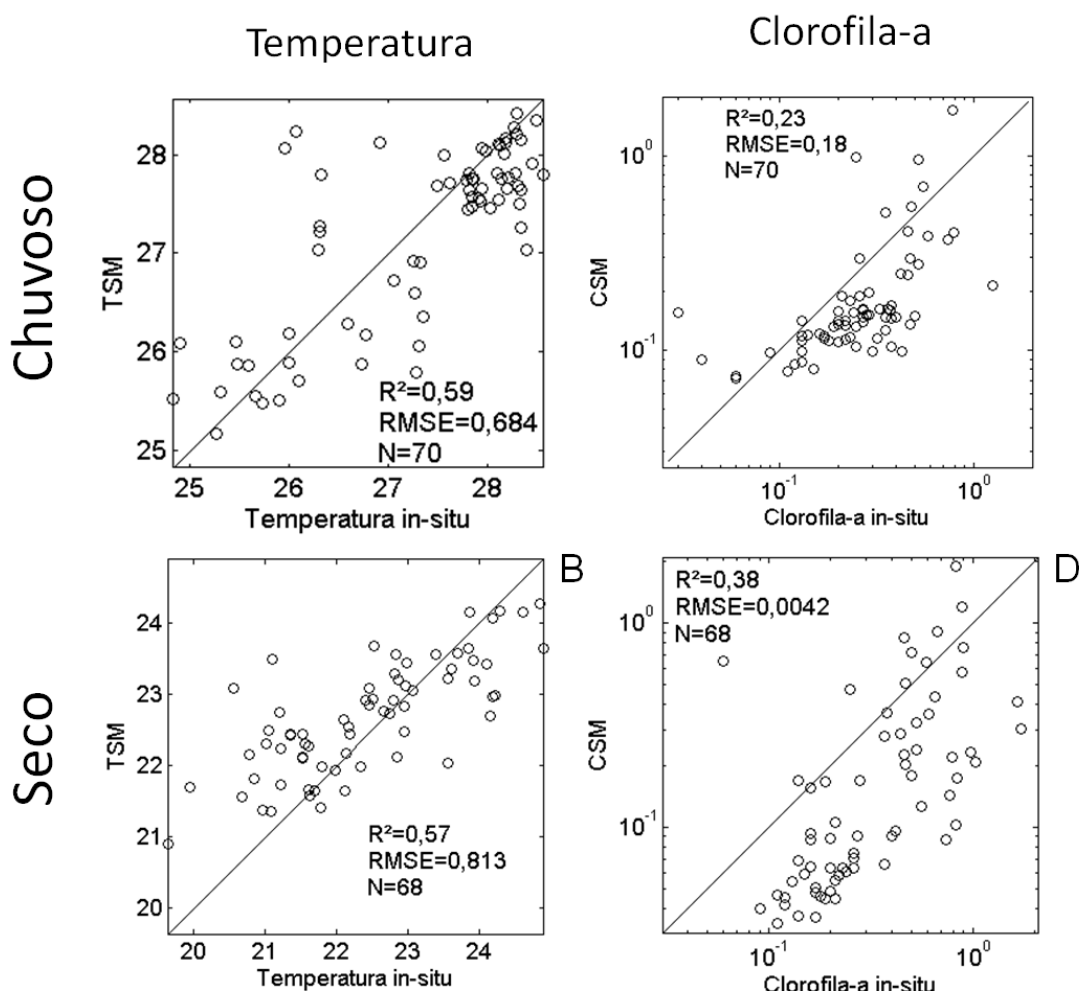


Figura 3: Scatter-plots das variáveis independentes. Temperatura in-situ X TSM (A e B) e CLorofila-a in-situ X CSM (C e D) para os períodos Chuvoso (linha superior) e Seco (linha inferior).

Nota-se que o coeficiente de relação obtido para os modelos é alto (R<sup>2</sup> >55%) mas muito inferior a resultados obtidos para outros estudos (GOES et al.,

1999). A relação inversa entre temperatura e nitrogênio aparece na forma de coeficiente com sinal negativo, assim como a relação direta da clorofila-a com o nitrogênio.

### 3.3. Teste do modelo

As figuras Figura 4 e Figura 5 mostram os resultados do modelo aplicando os dados orbitais nas equações anteriormente mostradas para o período Chuvoso e Seco, respectivamente. Para o período chuvoso, a relação entre o nitrato *in-situ* e NSM, extraído nas mesmas coordenadas, foi de 0,35, onde nota-se uma superestimativa, em geral, para o campo de NSM. Já para o período Seco nota-se uma subestimativa do NSM, e também uma relação baixa, de 0,39.

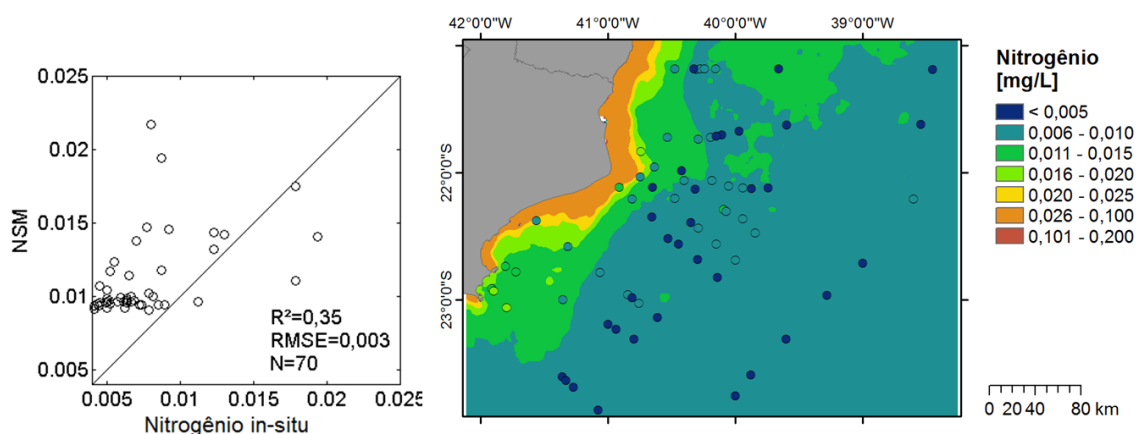


Figura 4: Resultado do modelo para o período Chuvoso. Scatter plot (esquerda) e mapa (direita) do nitrogênio in-situ X NSM.



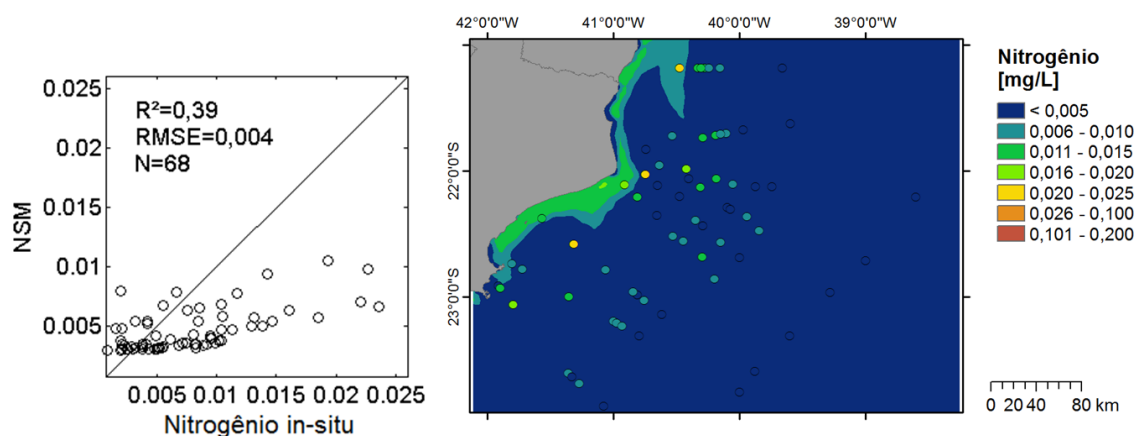


Figura 5: Resultado do modelo para o período Seco. *Scatter plot* (esquerda) e mapa (direita) do nitrogênio in-situ X NSM.

### 3.4. Comparação com uma superfície interpolada

Foi realizada uma tentativa de geostatística a partir dos dados pontuais, a título de exercício. A malha amostral foi interpolada utilizando-se a krigagem ordinária isotrópica. Foi adotado o modelo circular e os resultados estão sintetizados na Tabela 2. O fenômeno foi pouco explicado pela krigagem, de modo que foram utilizados os resultados apenas para fornecer mais uma comparação com os modelos.

Tabela 2: Parâmetros determinados pela krigagem das malhas dos períodos Chuvoso e Seco do nitrogênio in-situ.

Parâmetro	Chuvoso	Seco
Efeito Pepita	0,000003	0,000014
Contribuição	0,000011	0,000012
Alcance (km)	106,6752	52,2264

Foi computada a razão entre o modelo (NSM) e as superfícies interpoladas (Krigagem), mostrada nas figuras Figura 6 e Figura 7. Nota-se novamente a superestimativa (razão > 1) do modelo no período Chuvoso (chegando a mais de 8x na região costeira) e a subestimativa (razão < 1) no período Seco para a maior parte da área.

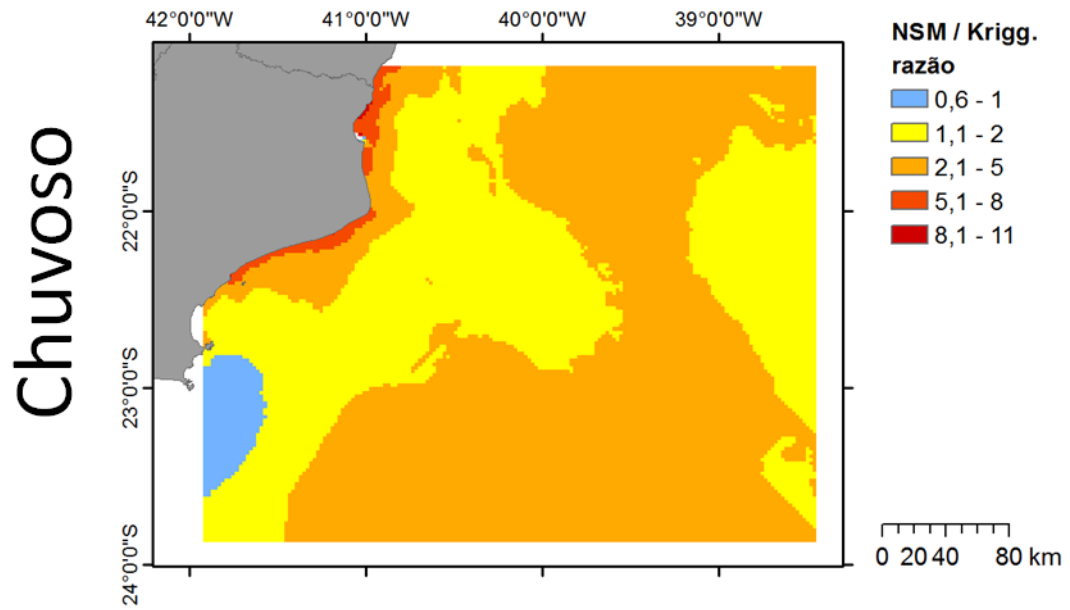


Figura 6: Razão entre NSM e a krigagem para o período Chuvoso.

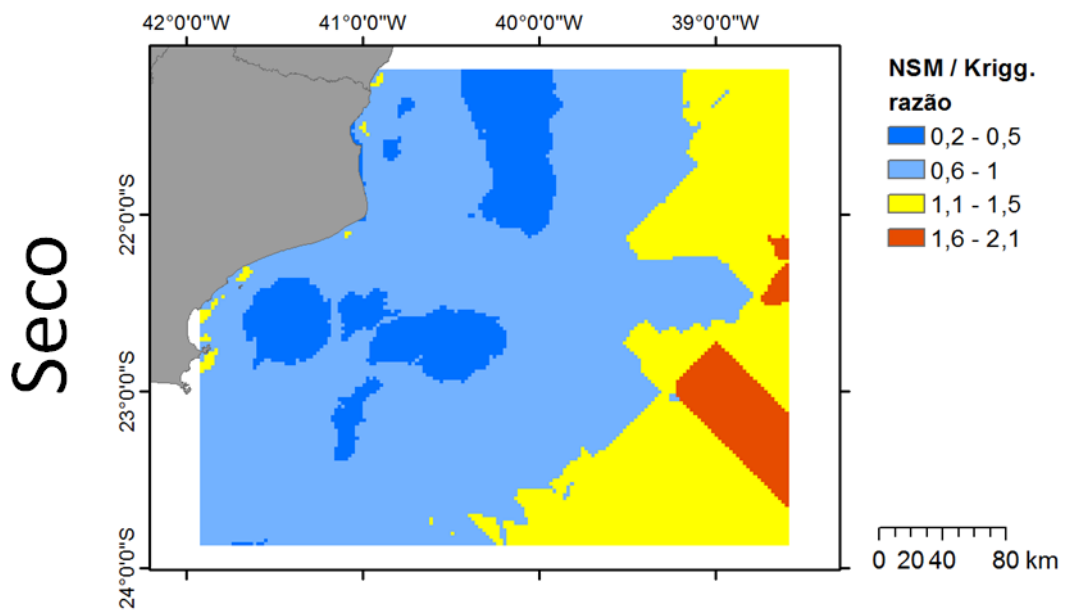


Figura 7: Razão entre NSM e a krigagem para o período Seco.

#### 4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A possibilidade de modelar o nitrato de superfície a partir de dados in-situ e inferi-lo pelo uso de dados orbitais foi investigada. O desempenho do modelo não foi considerado satisfatória, tendo sido parte do erro aparentemente devido aos desvios entre as variáveis independentes (temperatura e clorofila-a) in-situ e orbitais, uma vez que a primeira era instantânea e a segunda, uma média de quase 40 dias. O modelo polinomial atingiu uma boa relação, mas maiores investigações podem ser feitas a fim de que se consiga melhores resultados no ajuste da curva. O baixo desempenho do modelo é também em parte devido a complexidade hidrodinâmica da área e a baixa representatividade temporal das amostras, se comparado aos estudos anteriores (por exemplo GOES, 1999), onde o número de amostras foi maior que 500.

Um resultado interessante é que a superfície gerada pelo modelo captura todas as feições presentes nos dados orbitais de entrada, ao contrário da simples interpolação, que tende a suavizar bastante o produto final.

No decorrer do trabalho, a correlação com o nitrato também foi investigada, mas não mostrou bons resultados para o conjunto de dados disponível.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, E.S.; NIENCHESKI, L.F.H. COMPOSIÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA E SEUS POTENCIAIS PRODUTIVOS NA ÁREA ENTRE O CABO DE SÃO TOMÉ (RJ) E O CHUÍ (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L.S. (Orgs.). **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006. Cap.3, p.161-218.

DUGDALE, R.C.; GOERING, J.J. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. **Limnology and Oceanography**, v. 9, p.. 507–510. 1967.

DUGDALE, R.; WILKERSON, F.; HALPERN, D.; CHAVEZ, F.; BARBER, R. Remote sensing of seasonal and annual variation of equatorial new production:

A model for global estimates. **Advances in Space Research**, v. 14, n. 1, p. 169-178. 1994.

GOES, J.I.; SAINO, T.; OAKU, H.; JIANG, D.L. A Method for Estimating Sea Surface Nitrate Concentrations from Remotely Sensed SST and Chlorophyll — A Case Study for the North Pacific Ocean Using OCTS/ADEOS Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 37, n. 3, p. 1633-1644. 1999.

MANN, K.H.; LAZIER, J.R.N. Vertical structure of the open ocean: biology of the mixed layer. In: \_\_\_\_\_. **Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-Physical Interactions in the Oceans**. 3<sup>a</sup> ed. USA: Blackwell Publishing, 2006. Cap.3, p. 68-117.

SILIÓ-CALZADA, A.; BRICAUD, A.; GENTILI, B. Estimates of sea surface nitrate concentrations from sea surface temperature and chlorophyll concentration in upwelling areas: A case study for the Benguela system. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 6, p. 3173-3180. 2008.

EPPLEY, R. W.; REID, F. M. H.; STRICKLAND, J. D. H. ESTIMATES OF PHYTOPLANKTON CROP SIZE, GROWTH RATE, AND PRIMARY PRODUCTION. In: STRICKLAND, J.D. H. (Ed.). **The Ecology of the Plankton Off La Jolla, California, in the Period April Through September, 1967**. UC San Diego: Scripps Institution of Oceanography. Disponível em <<http://escholarship.org/uc/item/4q01m9gk>>. 1970. Parte III, p. 33-42.

SWITZER, A.C.; KAMYKOWSKI, D.; ZENTARA, S.J. Mapping nitrate in the global ocean using remotely sensed sea surface temperature. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, p. 3280-3292. 2003.