

Variabilidade sazonal e ciclos da temperatura e clorofila-a superficiais na costa sudoeste do Oceano Atlântico Sul, através de imagens do sensor MODIS-Aqua

Maria Fernanda Coló Giannini
Carlos Alberto Eiras Garcia

Universidade Federal de Rio Grande - FURG
Av. Itália, Km 8 - Rio Grande - RS, Brasil
fernandacgiannini@hotmail.com
dfscar@furg.br

Abstract. The Southwestern Atlantic Ocean is a region of high dynamism and several works have delimited patterns and cycles of physical, chemical and biological process. In this work, satellite-derived temperature and chlorophyll-a field were used to investigate temporal and spatial variability over the continental shelf zone close to the La Plata River estuary. A non linear model was used to fit the annual cycle of the logarithm chlorophyll concentration and sea surface temperature in the region. Spectral analysis were performed in certain areas to find other cycles, besides the annual. It was clearly verified the existence of an annual cycle of temperature, except in the Brazil-Malvinas confluence zone, due to the dynamic of the frontal zone and existing eddies. Close to the Uruguayan and Brazilian coasts, the variability of chlorophyll-a is highly controlled by the plume extension of La Plata river, that flows northward in the winter and restricts to the estuary mouth in other seasons because of the wind pattern. The annual cycle dominates over a large area, specially north of 35°S. The coast of Rio Grande state, presented a strong annual cycle, mostly due to the arrival of La Plata plume during the winter. In the Brazil-Malvinas Confluence, an annual and semi-annual cycles persist, but other higher frequency cycles associated to mesoscale features are also present in this complex region.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Cor do Oceano, Rio La Plata, Confluência Brasil-Malvinas, Remote Sensing, Ocean Color, La Plata River, Brazil-Malvinas Confluence

1. Introdução

A costa sul do Brasil é influenciada por um forte padrão sazonal de ventos e correntes marinhas, tendo como principais forçantes a circulação associada às correntes de oeste, a posição da Convergência Subtropical e o volume da descarga continental (Seeliger e Odebrecht, 1998). De um modo geral, estes processos influenciam a costa sudoeste do Atlântico Sul, principalmente na região associada ao rio La Plata. Durante o verão, a região é dominada por ventos de nordeste e leste, e as águas da plataforma possuem temperaturas mais elevadas devido à entrada da Corrente do Brasil. Esta flui para o sul, bordejando o continente até a região da Convergência Subtropical, confluindo com a Corrente das Malvinas, a qual carrega águas ricas de origem subantártica. Durante o inverno, predominam ventos de Sudeste, e águas da SAW (Água Subantártica) fluem para o norte, formando uma frente entre esta e as águas da Corrente do Brasil (Lima et al., 1996). O aporte do Rio La Plata gera um fluxo de água na plataforma que, reforçado pelos ventos de sudoeste durante o outono e inverno, flui para o norte, enquanto ventos nordeste tendem a reverterem este fluxo, principalmente nos períodos de primavera e verão (Soares e Möller, 2001; Zavialov et al., 2002).

Além da descarga de água doce do rio La Plata, a desembocadura da Lagoa dos Patos também possui grande papel no aporte de matéria orgânica e inorgânica na plataforma, visto que se trata de uma lagoa de grande extensão. A elevada precipitação e um complexo fluxo da bacia de drenagem que abastece a lagoa resultam em processos hidrográficos altamente dinâmicos nessa área (Asmus, 1998). O aporte do rio La Plata e da lagoa dos Patos, a convergência entre as águas da Corrente do Brasil e Corrente das Malvinas (rica em nutrientes), e a ressurgência de água subtropical (Água Central do Atlântico Sul, ACAS), resultam em uma alta diversidade de fitoplâncton na plataforma e no talude continental, contribuindo para altos valores de produção primária na região (Odebrecht e Garcia, 1998).

O objetivo deste trabalho foi verificar, através de imagens termais e da cor do oceano, a variabilidade espaço-temporal da temperatura da superfície do mar (SST – *Sea Surface Temperature*) e clorofila-a (CHL - *Chlorophyll*) na costa sudoeste do Atlântico Sul, desde julho de 2002 até junho de 2008. Além disso, foi verificado se as variações da concentração de clorofila-a seguem algum ciclo periódico.

2. Materiais e Métodos

Imagens mensais e semanais L3 do sensor MODIS a bordo do satélite Aqua, de SST e CHL, com resolução de 4Km, foram obtidas do site oceancolor.gsfc.nasa.gov. O período das imagens utilizadas é de Julho de 2002 a Junho de 2008, totalizando 6 anos de dados, e a região abrange os limites de 25-40°S de latitude e 45-60°W de longitude (Figura 1).

Imagens médias e de desvio padrão de SST e CHL foram geradas a partir das imagens mensais, assim como médias sazonais e imagens do número de pixels válidos, que indicam falhas na aquisição dos dados por cobertura de nuvens ou algum outro problema.

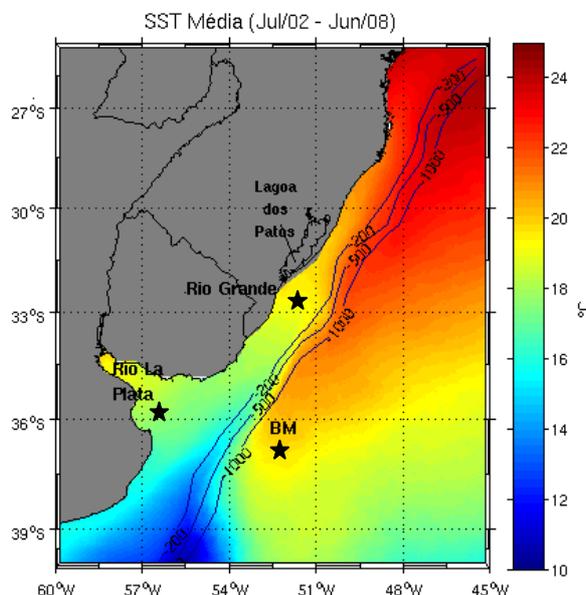


Figura 1. Temperatura média para todo o período analisado. As estrelas indicam os locais escolhidos para análises temporais.

Para testar a existência de ciclos nestas regiões, foi usada uma análise de frequências, através da transformada de Fourier, sobre alguns pontos da região (Figura 1), porém com imagens semanais. A existência de um ciclo anual em toda a região foi verificada através da correlação entre a série de dados temporais e o modelo não linear de um ciclo anual. Utilizamos uma curva cossenoidal, cujos parâmetros da curva (amplitude e fase) ajustam-se a um ciclo anual perfeito, resultando em uma imagem de r^2 (coeficiente de determinação) entre a série e o modelo. Consideramos que o ajuste foi significativo para os pixels onde o valor de r^2 foi maior que 40%. Além disso, foram gerados diagramas Hovmoller (espaço-tempo) de seções de interesse (pluma do rio La Plata e região de confluência Brasil-Malvinas).

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra as médias de inverno e verão para SST e, assim como na Figura 1, podem ser observadas as diferenças de temperatura entre as águas da Corrente do Brasil (CB), ao norte, e da Corrente das Malvinas (CM), mais fria ao sul. Durante o inverno, as águas costeiras e da plataforma são influenciadas por águas mais frias, oriundas da plataforma

interna da Argentina, rio La Plata e CM, enquanto que no verão é nítida a dominância da CB, que ocupa também a região do talude e o mar aberto. As maiores variações de temperatura, detectadas pelo desvio padrão, ocorrem na região costeira, principalmente na desembocadura do Rio La Plata (Figura 3A). A clorofila-a apresentou maior desvio padrão (Figura 3B) na região da plataforma e na porção sul, onde foi observado o bloom da primavera.

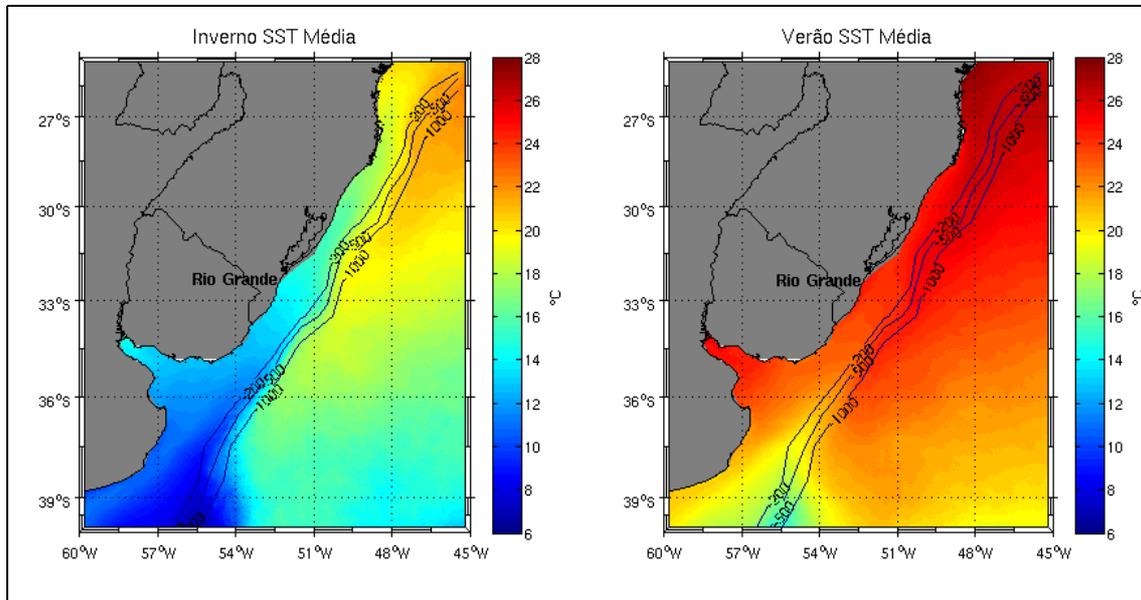


Figura 2. Médias de SST na costa sul do Brasil

Quanto à concentração de clorofila-a (Figura 4), as principais variações sazonais são referentes à pluma do Rio La Plata, fluindo para o Norte durante o inverno e se estendendo até aproximadamente os 32°S, devido ao vento sudoeste predominante neste período. Já no verão, a pluma fica restrita à desembocadura do rio, limitada pelos ventos nordeste neste período, como também observado por Piola et al. (2008). Outra característica observada foi um aumento da concentração na primavera, na plataforma argentina (ao sul de 36°S), provavelmente influenciado pela estratificação das águas devido ao aumento da radiação solar. As imagens de clorofila-a utilizadas neste trabalho, processadas através do algoritmo global (OC3) da NASA, apresentam falhas para a região do Rio La Plata (porções brancas), assim como nas imagens do SeaWifs (Garcia et al., 2005), que pode também ser observado pela imagem do número de pixels válidos.

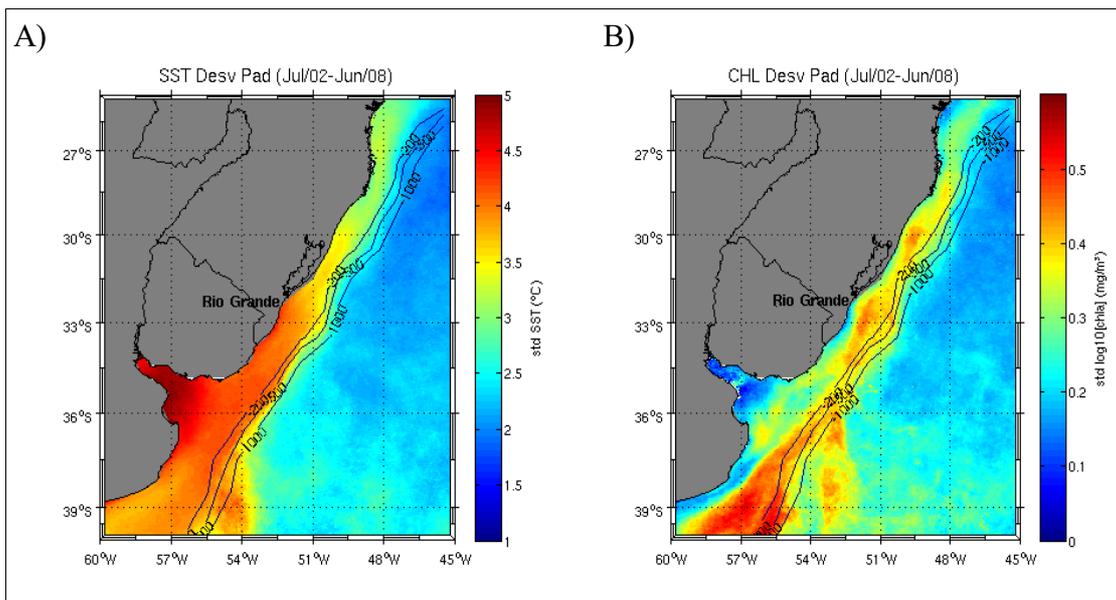


Figura 3. Desvio padrão de SST e CHL para o período analisado

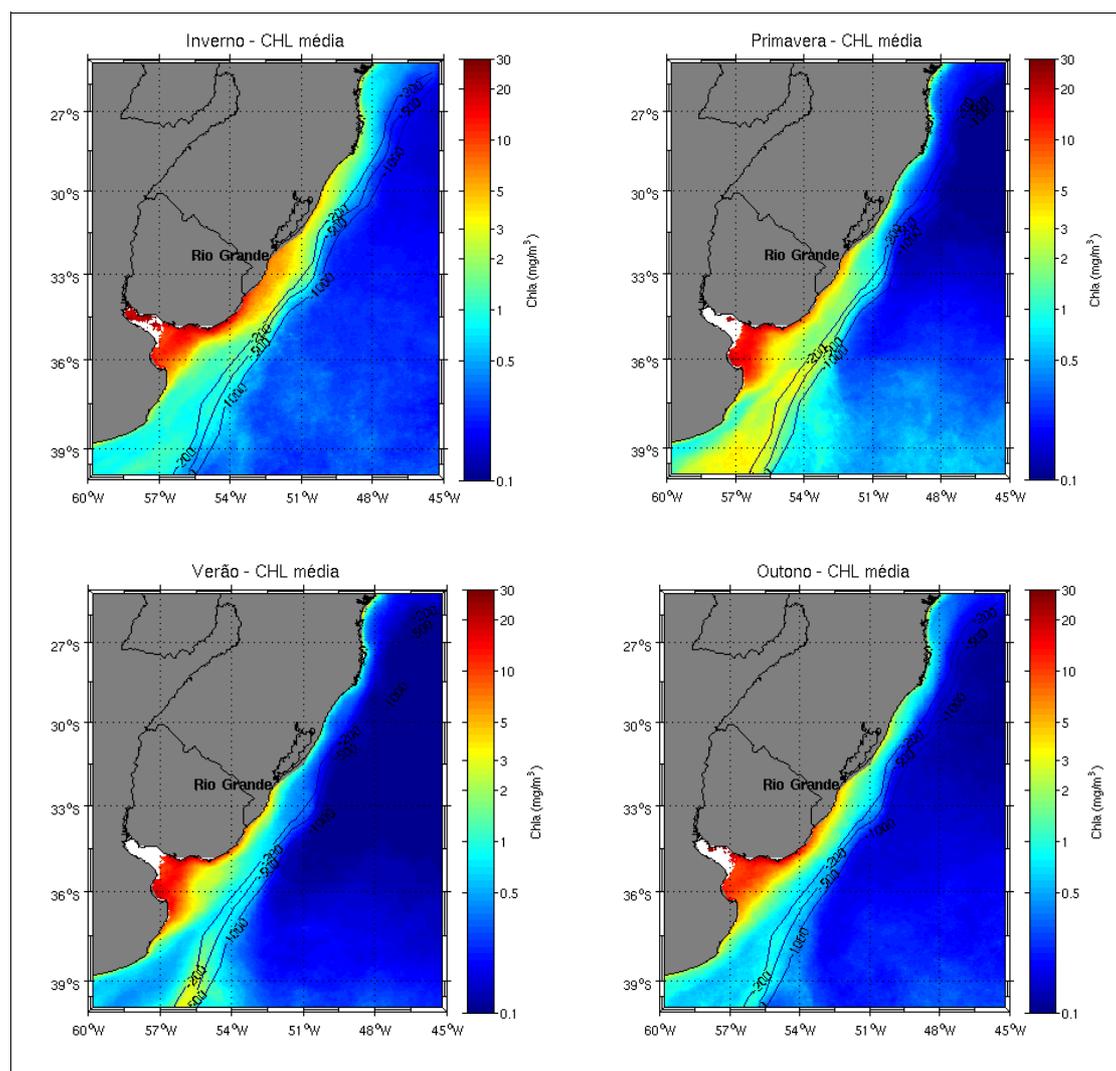


Figura 4. Médias sazonais de clorofila-a na costa do Atlântico Sudoeste

Quanto à análise do ciclo anual da clorofila-a nos pontos demonstrados na Figura 1, aquele situado na desembocadura do rio La Plata não apresentou ciclo anual, através das análises de frequências da transformada de Fourier, como foi visto para os outros pontos. O Rio La Plata, embora apresente variações na sua descarga ao longo do ano, as águas possuem sempre altos valores de material em suspensão, observado pelas imagens médias de clorofila-a e, portanto, não há uma variação periódica, apenas na extensão de sua pluma, como já explicado anteriormente. Esta variação da extensão da pluma apresentou um ciclo anual bastante visível no diagrama de Hovmoller (Figura 5) gerado para uma seção em toda a sua extensão, onde se observa um alcance da pluma na última estação da seção durante o inverno.

A análise de frequências pela transformada de Fourier mostrou um ciclo anual bem definido na costa de Rio Grande (Figura 6), visto que a pluma se estende até próximo aos 30°S de latitude durante o inverno. A influência do rio nesta região pode estar mais relacionada à quantidade de material particulado em suspensão e dissolvido, tanto orgânico como inorgânico, do que especificamente à clorofila-a. Isso ocorre uma vez que os algoritmos globais utilizados para processamento das imagens de clorofila-a nesta região sofrem interferência do material particulado e dissolvido com alta concentração em regiões costeiras, superestimando a clorofila-a (Garcia et al., 2005).

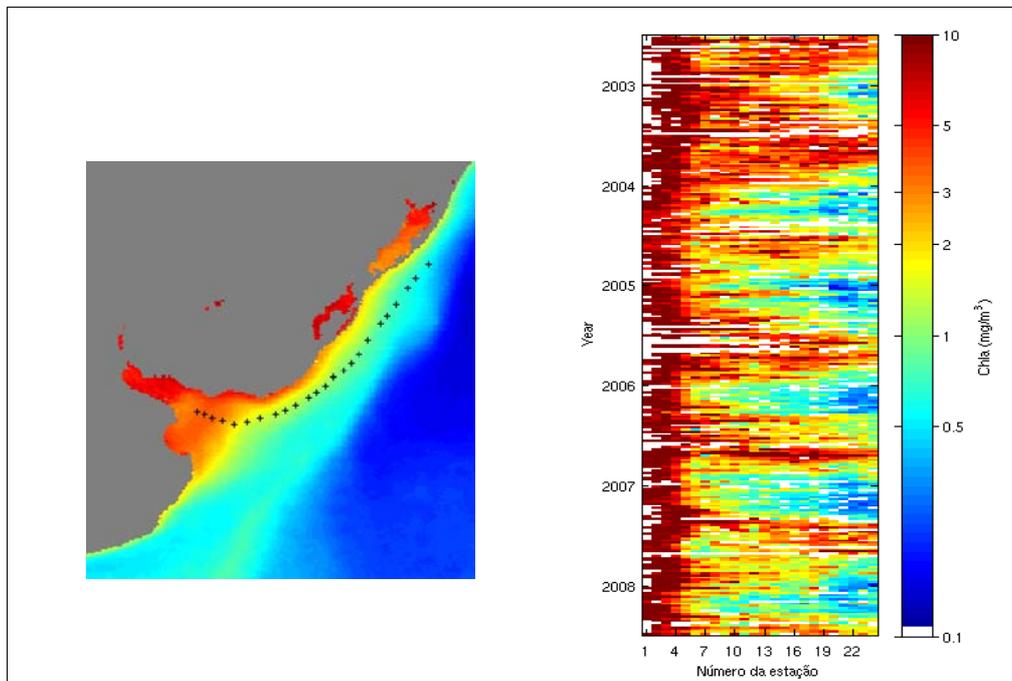


Figura 5. Representação da seção (à esquerda) obtida para o diagrama de Hovmoller (à direita).

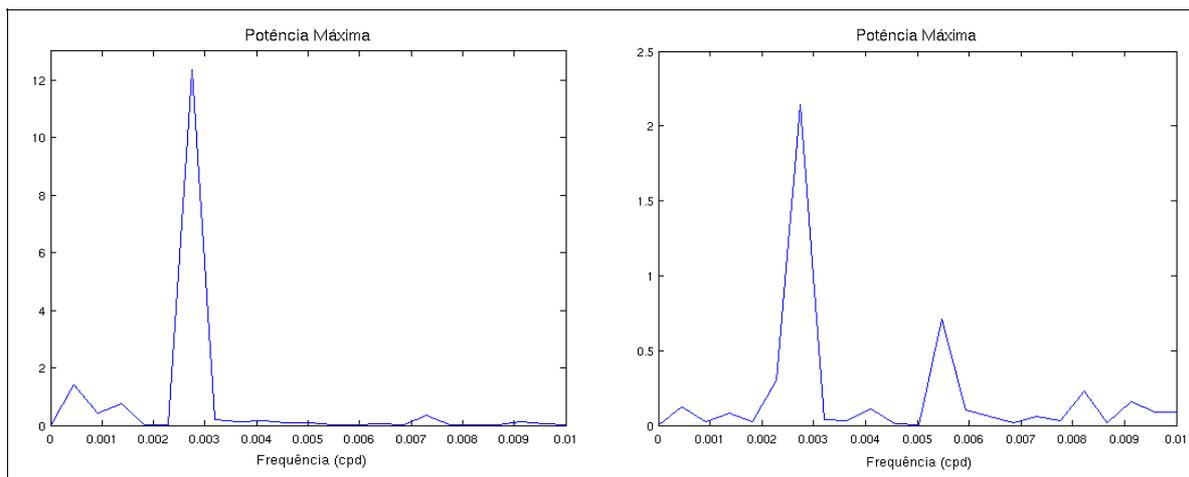


Figura 6. Análise de freqüências dos ciclos da clorofila-a na costa de Rio Grande (à esquerda) e na região da confluência BM (à direita). Os valores 0,0027 e 0,0055 referem-se aos ciclos anuais e semi-anuais, respectivamente. Notar diferenças nas escalas da potência nas figuras.

Na região da Confluência Brasil-Malvinas, foram encontrados dois principais ciclos (Figura 6), o anual e o semi-anual, porém de menor intensidade se comparado à costa de Rio Grande (potência máxima aproximadamente igual a 2). Além destes, nota-se a presença de ciclos de maiores freqüências, porém de menores intensidades. A presença destes dois principais ciclos também foi registrada por Garcia et al. (2004), os quais acreditam que esta região está mais associada às freqüências maiores de padrões termais e de cor do mar de mesoscala, que age como um ruído no ciclo sazonal da região, o que foi observado posteriormente por Garcia e Garcia (2008). Optou-se por não apresentar o gráfico de Hovmoller para esta região, pois não demonstrou claramente estes ciclos.

De modo geral, foi observado um ciclo anual de SST em toda a região (Figura 7), porém uma relação menor próximo à região da confluência Brasil-Malvinas, o que pode ser explicado por um alto dinamismo na região, devido aos vórtices associados à confluência (Garcia et al., 2004). Já para a concentração de clorofila-a, existe um marcado ciclo anual ao norte de 35°S, como já observado por Garcia e Garcia (2008), pelas imagens do sensor SeaWiFS. O ciclo fora da plataforma continental indica uma variabilidade natural da concentração de clorofila-a ao longo do ano, ocorrendo também na plataforma e região costeira. Porém, nestas regiões, há a influência da pluma que quando alcança esta região, eleva ainda mais as concentrações de clorofila-a, ou de material em suspensão como um todo. Este aporte causado pela pluma pode ser claramente observado na imagem da amplitude do ciclo anual (Figura 9), onde as maiores amplitudes (variações) de clorofila-a encontram-se na plataforma e costa de Rio Grande.

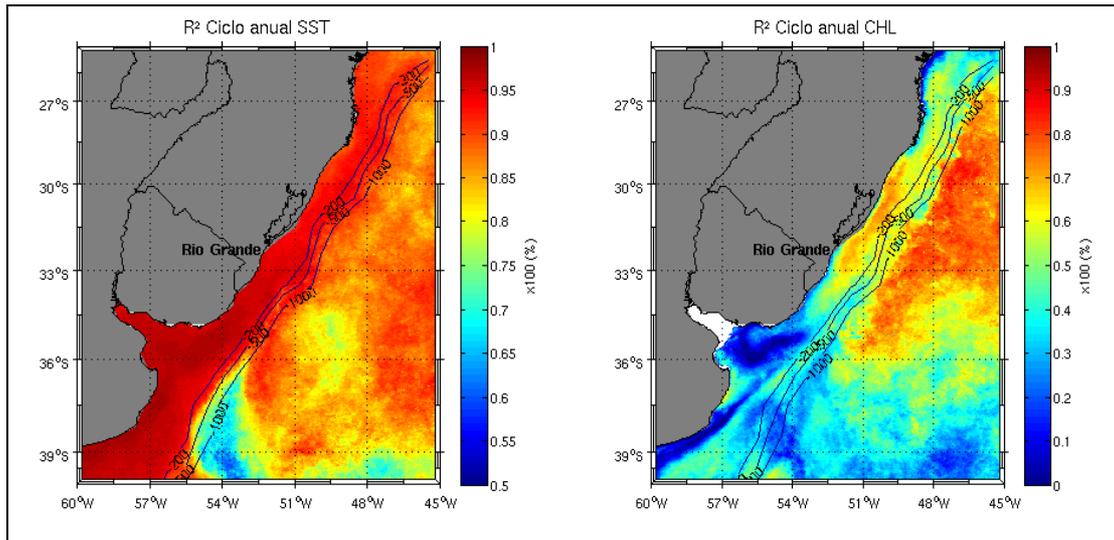


Figura 8. Porcentagem da variabilidade de clorofila-a explicada por um ciclo anual.

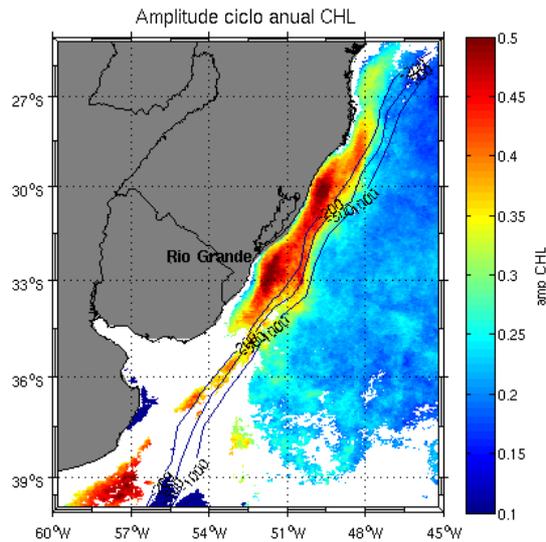


Figura 9. Amplitude do ciclo anual. As áreas brancas mostram a inexistência de ciclo anual ($r^2 < 0,4$)

4. Conclusão

Existe uma clara variação sazonal de temperatura superficial na região, com um ciclo anual entre os domínios da Corrente do Brasil e Corrente das Malvinas. O ciclo anual de SST é menos intenso apenas na região de vórtices da Confluência Brasil-Malvinas. A variação sazonal de clorofila-a relaciona-se à pluma do Rio La Plata, que se estende para o Norte durante o inverno devido aos fortes ventos sudoeste nesta época. Porém, a formação desta pluma pode estar relacionada a outros componentes, além da clorofila-a. Ciclo anual da concentração de clorofila-a foi observado ao Norte de 35°S. Na plataforma e águas costeiras, as altas variações de clorofila-a ocorrem devido ao aporte continental do La Plata e, em menor escala, da Lagoa dos Patos. Já na região da Confluência Brasil-Malvinas, os ciclos anuais e outros de maiores frequências relacionam-se ao padrão complexo de vórtices e meandros formados na região.

Referências Bibliográficas

- Seliger, U. e Odebrecht, C. Introdução e aspectos gerais. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C.; Castello, J. P. **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil**, Rio Grande: Editora Ecocientia, 1998, p.1-4.
- Lima, I.D.; Garcia, C.A.E.; Moller, O. Ocean surface processes on the southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 10, p. 1307-1317, 1996.
- Garcia, C.A.E.; Sarma, Y.V.B.; Mata, M.M.; Garcia, V.M.T. Chlorophyll variability and eddies in the Brazil–Malvinas Confluence region. **Deep-Sea Research II**, v. 51, p.159–172, 2004.
- Garcia, C.A.E.; Garcia, V.M.T.; McClain, C.R. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, p. 125-137, 2005.
- Garcia, C.A.E. e Garcia, V.M.T. Variability of chlorophyll-a from ocean color images in the La Plata continental shelf region. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1568-1578, 2008.
- Soares, I. e Möller, O. Low-frequency currents and water mass spatial distribution on the southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 21, p. 1785–1814, 2001.
- Zavialov, P.; Möller, O.; Campos, E. First direct measurements of currents on the continental shelf of Southern Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 22, p. 1975–1986, 2002.
- Asmus, M.L. A planície costeira e a Lagoa dos Patos. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C.; Castello, J.P. **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil**, Rio Grande: Editora Ecocientia, 1998. p. 9-12.
- Odebrecht, C. e Garcia, V.M.T. Ambientes costeiros e marinhos e sua biota: fitoplâncton. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C.; Castello, J.P. **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil**, Rio Grande: Editora Ecocientia, 1998. p. 117-121.
- Piola A.R.; Romero, S.I.; Zajaczkowski, U. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1556-1567, 2008.