

Variabilidade Temporal das Concentrações de Clorofila -A e da Temperatura Superficial do Mar na Costa Central de Santa Catarina

Gabriel Serrato de Mendonça Silva ^{1, a}; Mauricio Almeida Noernberg ⁽¹⁾.

(1) Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* – Mestrado em Clima e Ambiente; Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina;

A - Contato: gabrielsmsilva@gmail.com

INTRODUÇÃO

Devido à fotossíntese as microalgas presentes nas camadas superiores dos oceanos desempenham um papel fundamental na regulação de processos biogeoquímicos relevantes no planeta. Em condições ambientais favoráveis as concentrações de microalgas na coluna d'água podem aumentar significativamente caracterizando o fenômeno de floração de algas (GLOBALHAB, 2017).

Na maioria dos casos, as florações de algas planctônicas são benéficas para a cadeia trófica marinha e conseqüentemente para as atividades de aquicultura e pesca. Em algumas situações a proliferação de microalgas pode ocasionar efeitos danosos ao turismo e ao meio ambiente podendo levar a elevadas perdas econômicas, desastres ambientais e a problemas graves na saúde pública (ANDERSON, 2001).

Florações com elevada biomassa em superfície podem ser detectadas diretamente através da concentração de clorofila-*a* superficial do mar (Chl-*a*), pigmento principal encontrado nas microalgas. A partir da observação do comportamento espectral da luz no mar se tornou possível obter diversos parâmetros geofísicos relevantes e, dentre eles, a Chl-*a* (GORDON, 2010).

Devido aos avanços tecnológicos estimar a concentração de Chl-*a* e da temperatura superficial do mar (TSM) a partir de imagens de satélite reduziu os elevados custos no processo de monitoramento das regiões costeiras e oceânicas associados às amostragens discretas *in situ*.

A identificação dos ciclos anuais, e tendências ao longo do tempo na variabilidade da Chl-*a* a partir de imagens de satélite se demonstraram possíveis e vem sendo largamente utilizados (e.g. SIGNORINI, et al., 2015)

A variabilidade da Chl-*a* e de outros parâmetros geofísicos como a TSM são dependentes e podem indicar os fatores que ocasionam as florações de algas nos ambientes aquáticos (BAHENFIELD, et al., 2016).

O objetivo deste estudo foi analisar a variação temporal de Chl-*a* e TSM durante o período de 2002 a 2019 na costa de Santa Catarina. Os resultados obtidos foram utilizados para a identificação de eventos anômalos e na correlação entre as variáveis analisadas.

METODOLOGIA

A área de estudo está localizada na costa central do estado de Santa Catarina (Figura 1). Foi selecionado um ponto (latitude: -27.374415°, longitude: -48.162775°) distante cerca de 20 quilômetros a nordeste da Ilha de Santa Catarina para a análise das séries temporais de Chl-*a* e TSM.

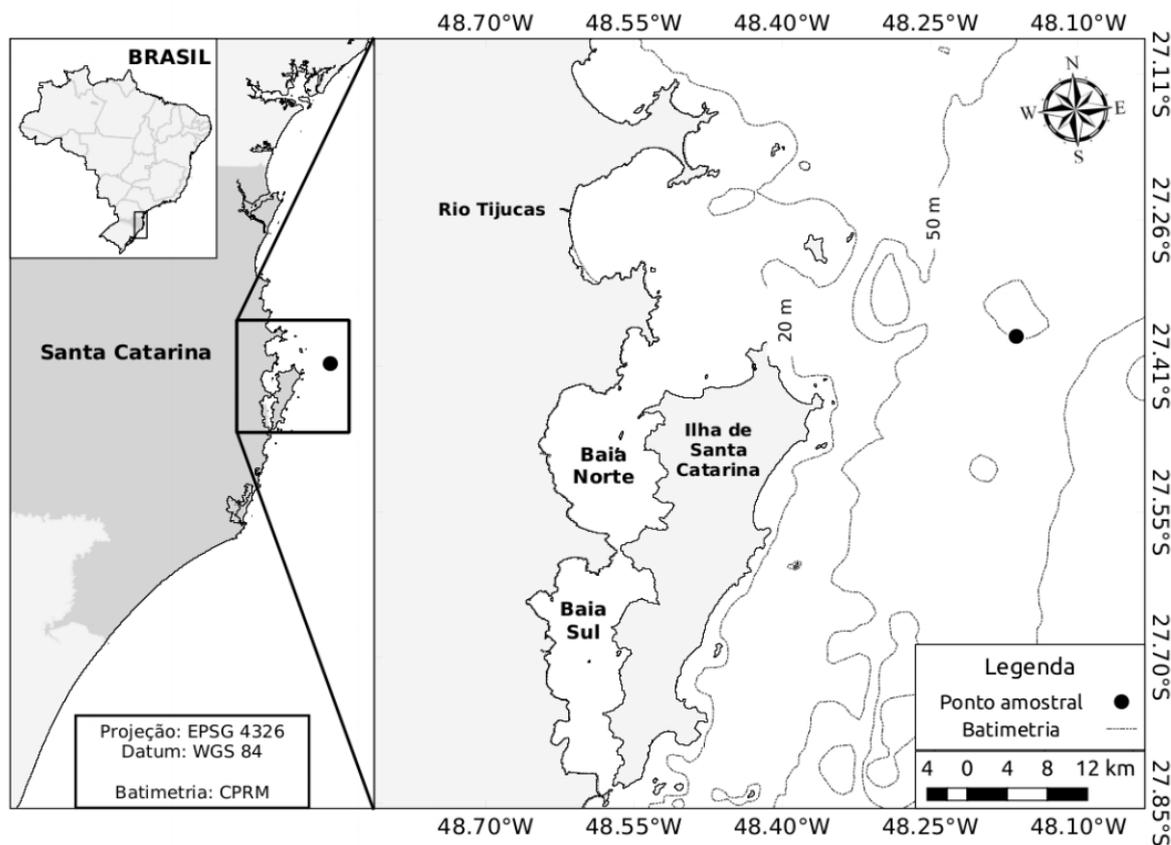


Figura 1: Área de estudo.

A partir da plataforma web *Ocean Color* da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) foram obtidas gratuitamente imagens diárias com estimativas de Chl-a e TSM. As imagens foram criadas a partir dos sensores multiespectrais *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Aqua e Terra e pelos sensores e *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) a bordo dos satélites NOAA-20 e Suomi-NPP. Todas as imagens adquiridas possuem nível 2 de processamento (L2), realizadas pela NASA *Goddard Space Flight Center's Ocean Data Processing System* (ODPS) e distribuídas pelo *Ocean Biology Distributed Active Archive Center* (OB.DAAC). Os produtos são fornecidos em formato *Network Common Data Form 4* (NetCDF4), com correções atmosféricas, resolução espacial de aproximadamente 1 km², e valores dos parâmetros geofísicos de Chl-a em mg/m³ e TSM em °C para cada pixel a partir de algoritmos.

Para estimar a Chl-a através da cor do oceano, os sensores MODIS e VIIRS utilizam o algoritmo padrão de razão entre as bandas espectrais OCx (OC3/OC4) de O'Reilly (2000). O algoritmo é aplicável a todos os atuais sensores de “cor do mar” e, o produto Chl-a está incluído como padrão dos produtos OC (Ocean Color) de nível 2. Detalhes sobre a descrição dos algoritmos para Chl-a e TSM são encontrados respectivamente em https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/ e <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/sst/>.

As imagens de Chl-a e TSM foram processadas e analisadas através do software WIM/WAM. Com o uso do software foi possível aplicar o controle de qualidade nos dados a partir das bandeiras (*flags*) presentes nas metainformações dos arquivos adquiridos (Tabela 1), mapear os parâmetros geofísicos de interesse e, criar imagens diárias composta pelos 4 sensores com o intuito de reduzir as falhas ocasionadas por cobertura de nuvens.

Tabela 1: Bandeiras (flags) aplicadas nas imagens de satélite.

ATMFAIL	Falha na correção atmosférica
LAND	Pixel sobre terra
HIGLINT	Reflectância excede os limites
HILT	Irradiância total acima do esperado
HISATZEN	Ângulo do zênite da visão do sensor excede os limites
CLDICE	Provável contaminação de nuvens ou gelo
LOWLW	Baixa radiação refletida pela água
PRODWARN	Um ou mais algoritmos do produto geraram um aviso
STRAYLIGHT	Provável contaminação por luz dispersa
HISOLZEN	Zênite solar excede o limite
CHLFAIL	Falha do algoritmo de Chl- <i>a</i>
NAVWARN	A qualidade da navegação é suspeita
CHLWARN	Chl- <i>a</i> fora dos limites
NAVFAIL	Falha na Navegação

Fonte: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/oc12flags/>

A partir das composições diárias foi realizada a extração das séries temporais para o ponto de interesse e calculadas as análises descritivas para cada série temporal.

A técnica de decomposição de séries temporais consiste em identificar os modelos que descrevem o comportamento da série temporal através de suas componentes (VERBESSELT, et al., 2010). O modelo utilizado neste estudo foi o método aditivo onde a série temporal é resultante da somatória de suas componentes conforme apresentado na equação abaixo.

$$Y_t = T_t + S_t + R_t$$

Onde: Y_t é o valor da série temporal no período t , T_t é a tendência observada no período t , S_t é a sazonalidade ou ciclo no período t e R_t é o erro ou ruído no período t , denominado adiante como componente residual. Esta técnica se utiliza de médias móveis para a distinção das componentes presentes na série temporal. Considerando o período amostral de 17 anos com dados diários este trabalho utilizou uma janela de 365 dias para calcular as médias móveis e identificar os ciclos anuais.

A ferramenta computacional utilizada para a decomposição da série temporal foi a função *seasonal_decompose* presente no módulo *StatsModels* desenvolvida na linguagem de programação Python (SEABOLD, et al., 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as etapas de aquisição e controle de qualidade dos dados foram realizadas análises descritivas para compreender o comportamento da Chl-*a* e da TSM ao longo dos 17 anos analisados. A tabela 2 apresenta os resultados das análises descritivas para os dados de TSM e Chl-*a*.

Tabela 2: Análise descritiva do conjunto de dados

Medidas	N amostral	Média	Desvio padrão	Mínimo	25%	50%	75%	Máximo
TSM	2150	22,16 °C	3,21 °C	14,25 °C	19,35 °C	22,23 °C	24,96 °C	29,85 °C
Chl-a	2596	0,80 mg/m ³	0,93 mg/m ³	0,02 mg/m ³	0,32 mg/m ³	0,52 mg/m ³	0,95 mg/m ³	18,62 mg/m ³

Testes de normalidade foram realizados em ambos parâmetros analisados e somente a TSM apresentou uma distribuição normal. O parâmetro Chl-a foi transformado para escala logarítmica para atender os pressupostos estatísticos de normalidade requisitados para a decomposição das séries temporais.

Após a aplicação da técnica de decomposição das séries temporais foram identificadas as componentes de tendência, sazonalidade e resíduos para cada um dos parâmetros. A figura 2 apresenta as componentes decompostas para a Chl-a e a figura 3 apresenta as componentes decompostas para a série temporal de TSM.

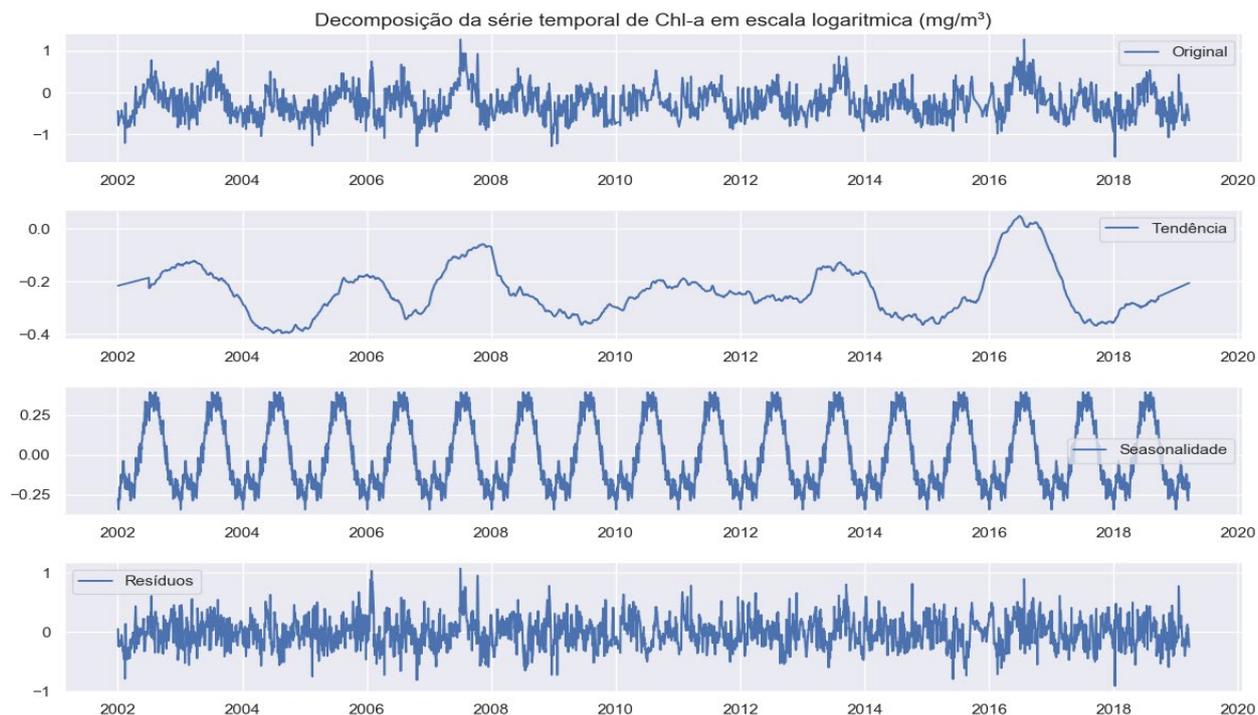


Figura 2: Componentes encontradas pela decomposição da série temporal de Chl-a. De cima para baixo estão: série temporal original; tendência; sazonalidade; e o resíduo.

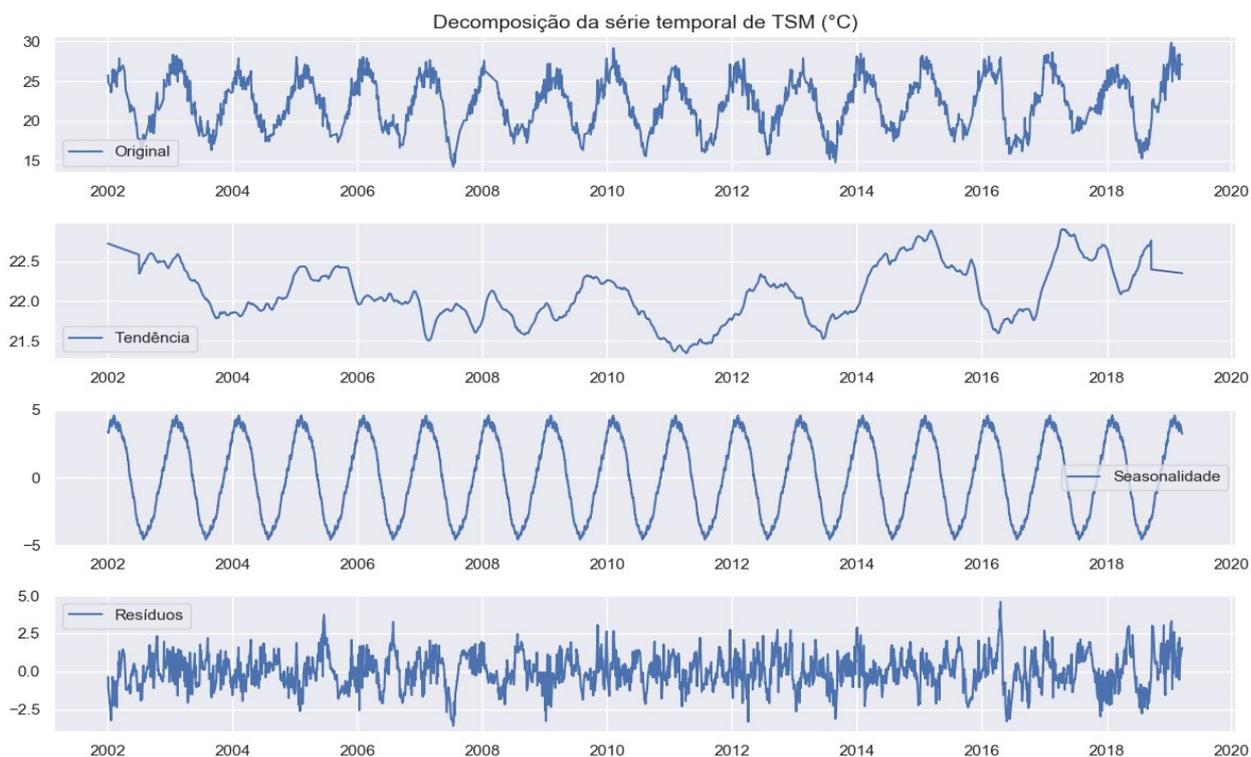


Figura 3: Componentes encontradas pela decomposição da série temporal de TSM. De cima para baixo estão: série temporal original; tendência; sazonalidade; e o resíduo.

Foi possível identificar nas figuras 2 e 3 que a Chl-a e a TSM apresentaram ciclos anuais bem definidos. Enquanto a TSM apresentou os maiores valores durante os meses de verão e os menores de inverno, a Chl-a apresentou um ciclo sazonal invertido, com maiores valores durante o inverno e os maiores valores durante o verão.

Uma característica observada nas curvas de tendência coincidiu com eventos anômalos de floração de algas na região. O ano de 2016 um evento marcante de floração de algas induziu o fechamento da comercialização de moluscos e mexilhões produzidos no estado. Para este período foi identificado nas componentes de tendência um aumento na Chl-a e uma diminuição abrupta na temperatura.

Para cada componente encontrada em ambas variáveis analisadas foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r^2) com o intuito de atingir o objetivo de identificar a relação entre a TSM e a Chl-a. A tabela 3 apresenta o r^2 encontrado na correlação entre cada componente e as séries originais.

Tabela 3: Coeficiente de correlação entre as variáveis para cada componente decomposta e as séries originais.

Correlação entre TSM e Chl-a	Série original	Tendência	Sazonalidade	Resíduo
Coeficiente de correlação (r^2)	-0,48	-0,34	-0,88	-0,24

CONCLUSÕES

Este estudo se propôs a estudar a variabilidade temporal das concentrações de Chl-a e TSM ao longo de 17 anos para a costa central do estado de Santa Catarina a partir de imagens de satélite. Como objetivo específico foi proposto a identificação de eventos anômalos na Chl-a e TSM com os eventos de floração de algas na região.

Os resultados encontrados permitiram a identificação dos ciclos sazonais nos dois conjuntos de dados e dos eventos anômalos de floração de algas através das curvas de tendência. A presença dos ciclos encontrados poderá fomentar modelos preditivos e auxiliar órgãos públicos como a EPAGRI, Defesa Civil e prefeituras para minimizar ou prevenir os impactos decorrentes das florações de algas.

A partir da correlação entre as componentes identificadas para ambas variáveis este estudo encontrou uma relação inversa o que poderá dar auxílio nos programas de monitoramento dando os indícios para a identificação precoce dos eventos de floração de algas.

Durante as próximas etapas deste trabalho serão investigadas outras variáveis meteorológicas e oceanográficas tais como: vento, radiação solar, pressão, salinidade, para identificar qual a relação das florações de algas com as variáveis geofísicas atuantes.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, D.M., P. ANDERSEN, V.M. BRICELJ, J.J. CULLEN, AND J.E. RENSEL. **Monitoring and Management Strategies for Harmful Algal Blooms in Coastal Waters**, Paris: Asia Pacific Economic Program, Singapore, and Intergovernmental Oceanographic Commission Technical Series, 2001, N° 59. APEC #201-MR-01.

BEHRENFELD, M. *et al.* Revaluating ocean warming impacts on global phytoplankton. **Nature Climate Change**, (2016).

GLOBALHAB. **Global Harmful Algal Blooms, Science and Implementation Plan**. E. Berdalet et al. (eds.). SCOR and IOC, Delaware and Paris, 64 pp, 2017.

GORDON, H. R. Some Reflections on Thirty-Five Years of Ocean Color Remote Sensing. In: V. Barale V.; Gower, J. F. R.; Alberotanza, L. **Oceanography from Space**. New York: Editora Springer, cap 17, p. 289-305. 2010.

O'REILLY, J. E. et al. Ocean color chlorophyll a algorithms for seawifs, oc2, and oc4: Version 4. SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses, **Part, NASA Tech. Memo**, v. 3, p. 9–23, 2000.

SEABOLD, SKIPPER, and JOSEF PERKTOLD. “Statsmodels: Econometric and statistical modeling with python.” *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*. 2010.

SIEGEL, D. *et al.* Regional to global assessments of phytoplankton dynamics from the SeaWiFS mission. *Remote Sensing of Environment* 135, 77–91 (2013).

SIGNORINI, S. R., FRANZ, B. A. & McCLAIN, C. R. Chlorophyll variability in the oligotrophic gyres: mechanisms, seasonality and trends. *Frontiers in Marine Science* 2, 1–11 (2015).

VERBESSELT, J., HYNDMAN, R., NEWNHAM, G., & CULVENOR, D. (2010). *Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series*. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 106–115.