

ANÁLISE PERIODOGRÁFICA DE UMA SÉRIE TEMPORAL DE MEDIDAS DE SALINIDADE EM CANANÉIA, SP (25°S-48°W)

(Periodographic analysis of a time series of salinity measurements at Cananéia, SP - 25°S-48°W)

Luiz Arnaud Britto de CASTRO¹

RESUMO

Numa tentativa de separar os principais componentes cíclicos de uma série temporal de medidas de salinidade, coletadas em Cananéia, SP (25°S-48°W), foram aplicadas técnicas de Autocorrelação (CONRAD & POLLAK, 1962) e Análise Harmônica (PANOFSKY & BRIER, 1965a). Através desses processos, foram definidos componentes importantes com períodos de 28, 14 e 0,5 dias, os quais coincidem com períodos importantes do ciclo das marés, permitindo inferir uma dependência da salinidade em relação à maré, na região estuarina lagunar de Cananéia.

PALAVRAS-CHAVE: autocorrelação, análise harmônica, salinidade, Cananéia

ABSTRACT

Aiming to identify the main cyclic components of a time series of salinity measurements from Cananéia, SP (25°S-48°W), Autocorrelation technics (CONRAD & POLLAK, 1962) and Harmonic Analysis (PANOFSKY & BRIER, 1965a) were applied. Through these processes important components were defined with periods of 28, 14 and 0.5 days, which coincide with periods of important components of the tidal cycle indicating that there is a great dependence between salinity and tides in the estuarine region of Cananéia, SP.

KEY-WORDS: autocorrelation, harmonic analysis, salinity, Cananéia

1. INTRODUÇÃO

No decorrer de estudos sobre a biologia e o cultivo de moluscos, na região de Cananéia, SP (25°S-48°W), pesquisadores da Divisão de Pesca Marítima, do Instituto de Pesca, sentiram a necessidade de tentar correlacionar a precipitação pluviométrica, na região, com as variações observadas na salinidade superficial. Verificou-se, porém, que a salinidade superficial na região apresentava variações cíclicas que

mascaravam o efeito da precipitação.

Este trabalho é uma tentativa de separar os principais componentes cíclicos de uma série temporal de medidas de salinidade, e avaliar a aplicabilidade das técnicas de análise de autocorrelação e análise harmônica, para, posteriormente, tentar correlacionar os teores de salinidade residuais da série, com dados de precipitação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A série estudada (FIGURA 1) consta de 112 medidas de salinidade à superfície, tomadas com salinômetro de densidade (densímetro

modificado), a intervalos de seis horas, durante o período de 1º a 28 de junho de 1981, em frente à base do IP em Cananéia (FIGURA 2).

(1) Pesquisador Científico - Divisão de Pesca Marítima, Instituto de Pesca.

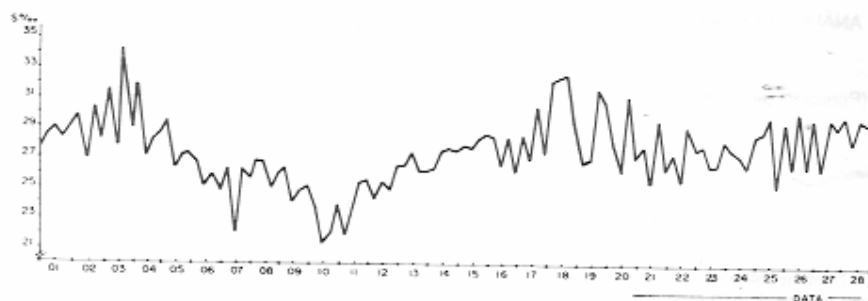


FIGURA 1 – Salinidade em frente à base do IP em Cananéia, SP, durante o mês de junho de 1981

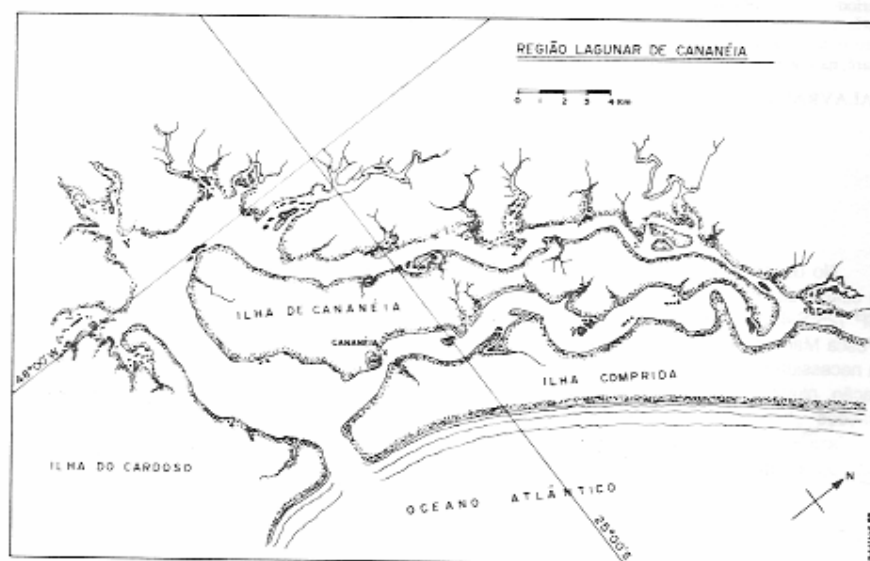


FIGURA 2 – Mapa da área estudada, mostrando o ponto de coleta (X)

Essa série de dados apresentava uma falha, no dia 14, às 12:00 h; para suprir essa falha, usou-se a média aritmética dos valores correspondentes ao mesmo horário, nos dias anterior e posterior.

Para determinação e eliminação das principais variações periódicas dessa série, utilizaram-se as técnicas de autocorrelação e análise harmônica.

A técnica de autocorrelação, descrita por CONRAD & POLLAK (1962) consiste, basicamente, no cálculo de uma série de coeficientes de autocorrelação, repetindo-se o processo várias vezes; a partir da segunda repetição, tomam-se os coeficientes gerados no cálculo anterior como dados para a geração de uma nova série.

A característica desse processo é a acentuação da frequência de maior amplitude, com a repetição das transformações.

Coefficientes de autocorrelação representam os coeficientes de correlação de uma série temporal com uma réplica dela mesma, calculados com diferentes deslocamentos temporais ("time lags") de uma série em relação à outra.

Definido um período dominante, pode-se calcular a amplitude e o ângulo de fase a ele associados, definindo, assim, uma função periódica que poderá ser subtraída da série original; a série resultante poderá ser submetida ao mesmo processo, para determinação do segundo período dominante, e assim por diante, até que tenham sido excluídas as variações periódicas e reste, apenas, o ruído (conjunto das variações não periódicas).

Para execução do processo acima, foi desenvolvido, em linguagem FORTRAN, o programa denominado AUTCOR. Para cálculo dos coeficientes de autocorrelação utilizou-se a fórmula proposta por STEVENSON (1966):

$$Y_k^a = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} Y_i Y_{i+k} - \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} Y_i \sum_{i=k+1}^N Y_i}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N-k} Y_i^2 - \frac{1}{N-k} \left(\sum_{i=1}^{N-k} Y_i \right)^2 \right] \left[\sum_{i=k+1}^N Y_i^2 - \frac{1}{N-k} \left(\sum_{i=k+1}^N Y_i \right)^2 \right]}}$$

onde:

- Y = valor da salinidade observado
- i = nº da observação
- k = intervalo entre observações (time lag)
- Y_k^a = coeficiente de autocorrelação com o intervalo k
- N = nº de observações utilizadas no cálculo de Y_k^a
- a = nº da transformada

O período foi calculado determinando-se o tempo que a transformada (série de coeficientes de autocorrelação) leva para atingir um valor negativo; esse tempo representa 1/4 do período procurado. Considerou-se, como o valor mais próximo do real, a média dos valores calculados para as três últimas transformadas.

CONRAD & POLLAK (1962) definem a função periódica a ser calculada como sendo do tipo:

$$Y_t = A_i \text{ seno } (\varphi_i t + A F_i)$$

onde t representa a posição na série, ou o tempo decorrido desde o seu início; A_i é a amplitude da função periódica de ordem (i), enquanto φ_i e $A F_i$ representam, respectivamente, a frequência e a diferença de fase da mesma função. Para os cálculos de A_i , φ_i e $A F_i$ utilizaram-se as equações propostas por STEVENSON (1966):

$$\varphi_i = \frac{2\pi}{P_i}$$

onde P_i é o período de ordem i

$$\tan A F_i = \frac{\sum_{t=1}^N Y_t \cos(t \varphi_i)}{\sum_{t=1}^N Y_t \sin(t \varphi_i)}$$

$$A_i^2 = \frac{4}{N^2} \left\{ \left[\sum_{t=1}^N Y_t \sin(t \varphi_i) \right]^2 + \left[\sum_{t=1}^N Y_t \cos(t \varphi_i) \right]^2 \right\}$$

Os dados, depois de normalizados, foram filtrados pelo processo de cinco pontos com igual peso (equal weight five points).

Para fins de comparação, foi executada, também, uma análise harmônica sobre a mesma série de dados, utilizando a metodologia descrita por PANOFKY & BRIER (1965a). De acordo com a teoria matemática, uma série finita de valores igualmente espaçados, de uma função qualquer, pode ser completamente descrita pela soma de um número, igualmente finito, de funções periódicas. Cada uma dessas funções periódicas recebe o nome de "harmônica".

A primeira harmônica (fundamental) tem período igual ao período total coberto pela série analisada; a segunda harmônica tem período igual à metade daquele da primeira, a terceira 1/3, e assim por diante, até a última que terá período igual ao da primeira dividido por N/2 ($N = n^2$ de observações na série). Assim, uma série de N observações, espaçadas entre si de Δt , é completamente explicada por N/2 funções periódicas, onde a primeira terá período de $N\Delta t$ e a última de $2\Delta t$. Cada uma dessas harmônicas tem a forma geral:

$$A_i \sin\left(\frac{2\pi}{P} i t\right) + B_i \cos\left(\frac{2\pi}{P} i t\right)$$

onde A_i e B_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N/2$) são os coeficientes ou amplitudes de cada um dos componentes – seno e cosseno – de cada harmônica, P é o período fundamental e t, o tempo decorrido desde o início da série. A análise harmônica começa pelo cálculo dos coeficientes A_i e B_i , que são expressos por:

$$A_i = \frac{2}{N} \sum \left[X \sin\left(\frac{2\pi}{P} i t\right) \right]$$

$$B_i = \frac{2}{N} \sum \left[X \cos\left(\frac{2\pi}{P} i t\right) \right]$$

onde X representa cada uma das observações e i é o n^2 da harmônica. Para a última harmônica, A é igual a zero e B segue a fórmula dada, porém, dividido por dois. Passa-se, então, ao cálculo dos valores da função periódica e à subtração da série original.

Geralmente,

$$A_i \sin\left(\frac{2\pi}{P} i t\right) + B_i \cos\left(\frac{2\pi}{P} i t\right)$$

podem ser somados, resultando em:

$$C_i \cos\left[\frac{2\pi}{P} i (t - t_i)\right]$$

onde:

i = n^2 da harmônica

$$C_i^2 = A_i^2 + B_i^2$$

$$t_i = \frac{P}{2\pi} \arccos(A_i/C_i) \quad (\text{PANOFSKY \& BRIER, 1965b})$$

Para execução desses cálculos foi desenvolvido, em linguagem FORTRAN, o programa HARMÔNICA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série original (TABELA 1, FIGURA 1) apresentava duas frequências, uma alta e outra baixa, com amplitudes semelhantes; esse fato dificultava grandemente a aplicação do método de autocorrelação, pois exigiria um número muito grande de transformações para definir o período dominante. A filtragem dos dados originais, antes do cálculo

do período dominante, superou essa dificuldade.

Dessa forma, a análise de autocorrelação identificou os seguintes períodos dominantes: 11,83 dias, 14,83 dias e 0,5 dias, respondendo, respectivamente, por 22,7%, 13,8% e 4,1% da variância da série original.

TABELA 1
Medidas de salinidade em Cananéia

Dias	Salinidade	Dias	Salinidade	Dias	Salinidade	Dias	Salinidade
1	27,53	8	25,56	15	27,55	22	26,27
	28,63		26,83		27,84		27,32
	29,03		26,78		27,66		25,48
	28,26		25,06		28,29		29,25
2	29,00	9	25,98	16	28,62	23	27,55
	29,77		26,38		28,49		27,97
	26,79		24,01		26,52		26,52
	30,37		24,72		28,35		26,58
3	28,24	10	25,10	17	26,04	24	28,26
	31,56		23,67		28,51		27,59
	27,79		21,32		26,97		27,17
	34,21		22,01		30,48		26,52
4	28,92	11	23,87	18	27,30	25	28,51
	31,97		21,87		32,15		28,78
	27,17		23,85		32,44		29,90
	28,24		25,33		32,62		25,28
5	28,72	12	25,46	19	28,80	26	29,48
	29,45		24,28		26,65		26,52
	26,18		25,39		27,08		30,13
	27,14		24,84		31,76		26,45
6	27,23	13	26,50	20	30,76	27	29,79
	26,83		26,50		27,75		26,41
	25,10		27,41		26,09		29,92
	25,96		26,11		31,22		29,19
7	24,95	14	26,16	21	27,03	28	30,04
	26,27		26,29		27,80		28,20
	22,12		27,54		25,44		29,92
	26,25		27,68		29,57		29,61

Quando se aplicou a análise da autocorrelação a uma série representando as médias diárias da salinidade no mesmo local e período (TABELA 2), a variação de alta frequência deixou de ser considerada, resultando, então, como dominantes, os períodos de: 19,33 dias (61,9% da variância) 14,00 dias (17% da variância) e 10 dias (2,1% da variância).

A análise harmônica, por sua vez, apontou dominância dos períodos: 14 dias, 28 dias e 0,5 dias (12,4 horas) representando, respectivamen-

te, 35,5%, 17% e 10% da variância da série original.

Nota-se, pois, uma boa concordância entre os resultados das diversas análises.

Com base nos resultados obtidos, parece válido supor que a salinidade, na região estudada, apresenta variações importantes associadas a períodos de, aproximadamente, 12 horas, 14 dias, 19,33 dias e 28 dias bem como variações secundárias com períodos de 10-12 dias.

TABELA 2

Médias diárias de salinidade em Cananéia (S°/00)

DIAS	SALINIDADE
01	28,83
02	28,79
03	30,62
04	29,03
05	27,50
06	25,71
07	25,05
08	26,16
09	25,05
10	22,72
11	23,04
12	25,25
13	26,55
14	27,27
15	28,10
16	27,35
17	28,32
18	30,28
19	29,06
20	28,02
21	27,27
22	27,40
23	27,33
24	27,45
25	28,36
26	28,13
27	27,90

FRANCO (1981), analisando o ciclo das marés, apresenta componentes periódicos importantes, com períodos quase coincidentes com os encontrados neste estudo, destacando-se o período lunar semidiurno (M_2), de 12,4 horas, o lunar de quarto (M_4), de 13,66 dias, e o lunar mensal (M_m), de 27,55 dias. Alguns dos períodos observados para as variações da salinidade (28,14 e 0,5 dias) aproximam-se muito dos acima descritos, permitindo inferir que a salinidade da região estuarina lagunar de Cananéia sofre grande influência da maré, o que confirma as observações de MIYAO (1977) que, em estudo sobre a oceanografia física da região de Cananéia, já observava uma relação de dependência entre a salinidade, no fundo, e a maré, não conseguindo demonstrar, entretanto, a mesma relação para a salinidade superficial. As pequenas diferenças entre os períodos observados na série de salinidade e os apontados para a maré podem ser atribuídos à ação de fatores não considerados, como chuvas, ventos e particularidades da circulação das águas no local das amostras. O fato de a série estudada ser relativamente curta e apresentar espaçamento de seis horas, entre as medidas, limitou a precisão da definição de períodos, podendo ter contribuído para essas diferenças.

4. CONCLUSÕES

Do exposto pode-se concluir que:

1. A salinidade da região estuarina lagunar de Cananéia apresenta componentes cíclicos com períodos de 28; 19,33; 14; 10 e 0,5 dias;
2. A grande semelhança entre esses períodos e os observados na composição do ciclo

das marés permite inferir que a salinidade na região apresenta alta dependência em relação à maré;

3. A salinidade apresentou também componentes em frequências não explicadas;
4. Por estes métodos, pode-se eliminar as principais variações cíclicas das medidas de salinidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Biologista Motoi Mishima, da Seção de

Maricultura (DPM/IP), pela cessão dos dados originais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONRAD, V. & POLLAK, L. W. 1962 Periodography. Determination of Periods with the aid of Autocorrelation. In: *Methods in Climatology*. Cambridge, Mass. Harvard University Press, cap. 14, p. 413-438.
- FRANCO, A. S. 1981 *TIDES: Fundamentals, Analysis and Prediction*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo. cap. 5, p. 86.
- MIYAO, S. Y. 1977 *Contribuição ao estudo da oceanografia física da região de Cananéia (lat. 25°S long. 48°W)*. Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, para obtenção do grau de Mestre em Oceanografia Física. São Paulo, 87 p.
- PANOFSKY, H. A. & BRIER, G. W. 1965a Time Series. In: PANOFSKY, H. A. & BRIER, G. W. *Some Applications of Statistics to Meteorology*. University Park, cap. 6, p. 126-161.
- & — 1965 b Appendix - Chapter VI. In: PANOFSKY H. A. & BRIER, G. W. *Some Applications of Statistics to Meteorology*. University Park, appendix - cap. 6, p. 217-218.
- STEVENSON, M. R. 1966 *Subsurface Currents off the Oregon Coast*. Thesis presented to Oregon State University for the degree of Philosophy Doctor. 108 p.