

## **AGILIZAÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIA COSTEIRA: ANÁLISE DE MAREGRAMA COMO SÉRIE TEMPORAL APLICANDO MÉDIA MÓVEL E PLANILHA DE CÁLCULO**

**André Luiz de Lima Reda** – allreda@mackenzie.com.br  
Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia  
Rua da Consolação, 896  
CEP 01302-000 São Paulo – SP

***Resumo:** O ensino de métodos de dimensionamento de obras de engenharia depende, naturalmente, de ferramentas matemáticas abordadas previamente no ciclo básico do curso de graduação. É possível, ainda, que certos métodos de análise das condições que limitam e moldam decisões de projeto em engenharia dependam de conhecimentos matemáticos não abordados previamente. Tanto num caso como no outro, o uso da ferramenta matemática por uma matéria aplicada serve para a fixação dessa ferramenta e incentiva seu aprendizado. O presente caso não somente ilustra tal emprego, mas também demonstra como a motivação de resolver um problema prático agiliza o aprendizado de ferramenta ainda desconhecida. O problema proposto é uma simples análise espectral das oscilações locais do nível oceânico – representado na forma de uma série temporal horária – em função da maré empregando médias móveis para simular a tendência estatística da série. Os cálculos são efetuados num ambiente de planilha eletrônica, com formulações matemáticas construídas pelo próprio educando, juntamente com a tomada de consciência do modelo teórico – o qual é introduzido por indução e apelo à intuição. A motivação criada pela proposição do problema e pela provocação da intuição permitiu uma agilização no aprendizado e a fixação imediata do método matemático-estatístico empregado, reduzindo à metade o tempo necessário em sala de aula com relação ao do método tradicional – de seis horas-aulas para três (mantendo-se uma atividade extra-aula de cerca de uma hora para digitalização de dados). Ainda, o ambiente de workshop (com prazo determinado) incentivou o trabalho em equipe e potencializou seu rendimento.*

***Palavras-chave:** Computadores no ensino de Engenharia, Métodos matemáticos, Estatística de séries temporais*

### **1. INTRODUÇÃO**

As oscilações do nível do mar em cada ponto geográfico (ou “flutuações locais” desse nível) são causadas por vários fenômenos, uns de forma aleatória e outros de forma determinística; uns de natureza astronômica e outros de natureza meteorológica (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1984; ALFREDINI, 2000). As variações de nível causadas pelas mudanças cíclicas nas posições dos astros com relação à da Terra e pela atração gravitacional que exercem sobre a água da hidrosfera são conhecidas como “variações das às marés”, devidas principalmente à influência da Lua (por sua maior proximidade, apesar da massa relativamente pequena) e à do Sol (devido à sua imensa massa, apesar da menor proximidade). Apresentam uma periodicidade principal (marcada prioritariamente pelos movimentos da Lua) que varia substancialmente de acordo com a posição geográfica, mas que

fica em torno de um valor médio próximo de 1:20 18” (ou um dia lunar – ALMEIDA E BRIGHETTI, 1978).

As oscilações do nível d'água (NA) local decorrentes do fenômeno das marés podem ser observadas por marégrafos, que são aparelhos registradores de NA ao longo do tempo. Os mais comuns registram tal variação continuamente numa tira de papel com escalas de altura do NA e tempo, produzindo então os “maregramas”. É a interpretação desses gráficos que permite construir modelos matemático-estatísticos de previsão de níveis no tempo (resultando nas “tábuas de marés”) que servem a usos vários, tais como a proteção à navegação e no seu planejamento; a construção e operação de estruturas de engenharia costeira e a previsão de enchentes em rios que deságuam no mar.

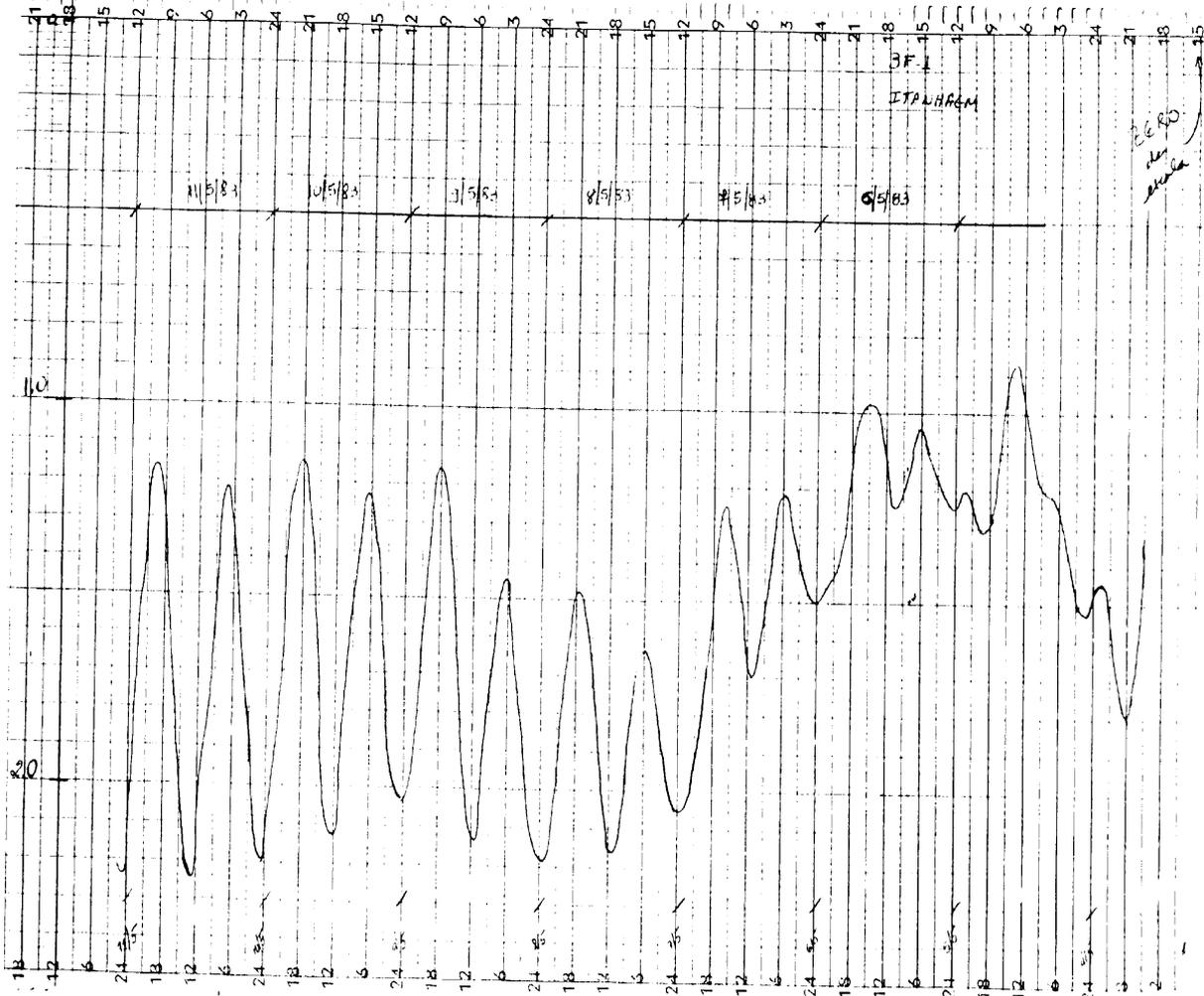
Sendo a variação do NA local do mar uma composição de flutuações de origem meteorológica (de caráter aleatório) e de oscilações de origem astronômica (daí, de natureza cíclica, periódica – portanto determinística), sua estimativa matemática pertence ao campo da Estocástica, onde é comum o uso de modelos de análise de séries temporais auto-regressivos (AR), de média móvel (ou “moving average”, MA – vide CHATFIELD, 1989; também referenciada como “running median – vide MORE, 1989) ou mistos (ARMA). Na análise deste tipo de séries temporais, seja para a mera determinação das amplitudes de oscilação ou para a construção de modelos estocásticos de estimação temporal, torna-se necessário separar a componente oscilatória (ou cíclica; ou, ainda, conhecida numa linguagem mais livre como variação “sazonal”, na Estatística de séries temporais) da componente não cíclica (que pode ser denominada “tendência” da série temporal, neste caso – ver equacionamento e exemplo de análise em REDA, 1996).

O presente estudo de caso exemplifica uma análise desse tipo. Foi realizado com o emprego de computador do tipo PC e de planilha eletrônica de cálculo (Microsoft Excel). Os aspectos teórico-conceituais do problema foram introduzidos para os alunos à medida que os dados iam sendo apresentados, digitalizados e processados. Assim, o aprendizado da teoria foi reforçado e acelerado pelo interesse gerado pelo problema proposto – o que permitiu, também, uma fixação melhor dos conceitos que estavam sendo vistos pela primeira vez pelos educandos.

As seções seguintes apresentam o problema estudado e os resultados desta experiência pedagógica.

## **2. OS DADOS QUE O DESCRIVEM O PROBLEMA E SUA ANÁLISE**

A oscilação da maré na entrada do Porto de Itanhaém, próximo à foz do Rio Branco, foi registrada no marégrafo operado pelo Centro Tecnológico de Hidráulica, como mostra a Figura 1 (note-se que o tempo evolui para a esquerda e o crescimento do NA do mar é registrado para baixo, nesse registro gráfico de campo, por peculiaridades do aparelho registrador). Tais informações foram transformadas numa série temporal horária pela digitalização do maregrama, o que permitiu a construção do gráfico da Figura 2 (o qual reproduz a Figura 1, porém com o tempo evoluindo para a direita e o crescimento dos níveis d'água evoluindo para cima, como é desejável). Todos os dados se reportam a um referencial de níveis local, que pode ser convertido posteriormente em altitudes, nos termos do IBGE.

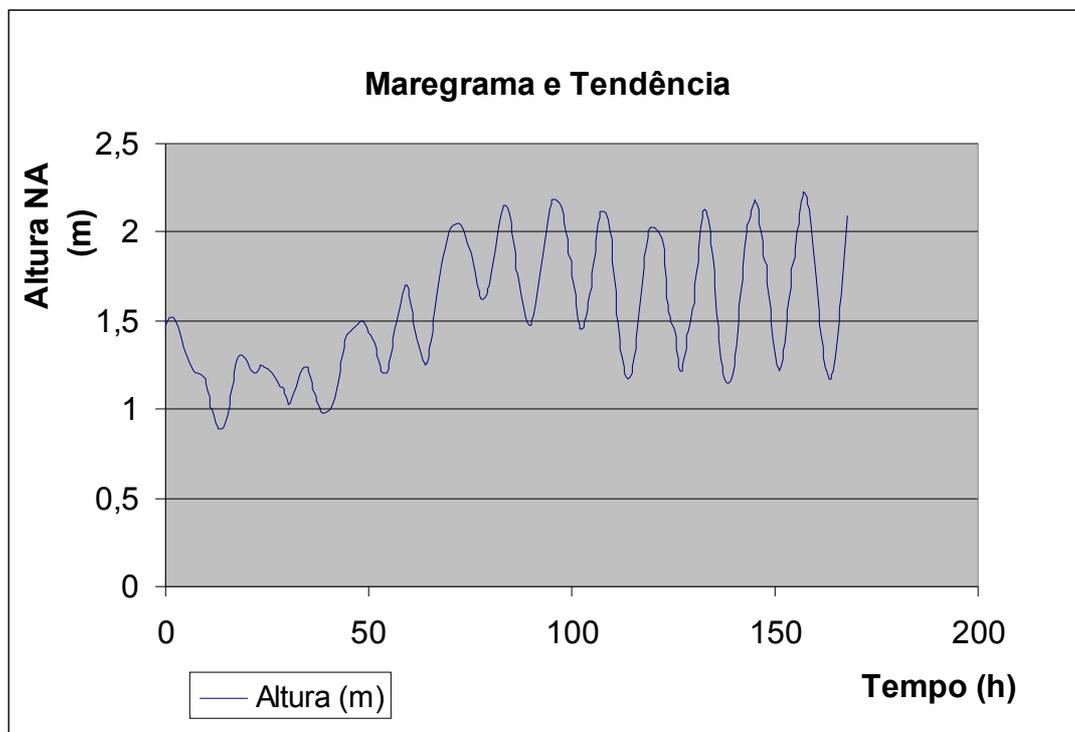


**Figura 1** Reprodução do maregrama analisado – Itanhaém, SP, maio de 1983  
(estação do Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE-SP)

Nessa figuras, os picos de oscilação do NA marítimo se denominam “preamares” e os mínimos locais periódicos são conhecidos como “baixamares”.

Para estimar a tendência estatística da série – isto é, a componente dos valores seriais que resulta se subtraindo-se as oscilações cíclicas, de origem astronômica principalmente lunar – empregou-se a média móvel dos valores seriais, a qual é representada por uma outra série horária, obtida a partir da série horária dos níveis do mar.

O valor de cada média móvel deve, neste caso, ser calculado para uma sub-amostra de valores horários em seqüência ininterrupta centrados em torno da hora que será considerada para locação dessa média no gráfico. Repetindo-se esta operação para cada sub-amostra possível, fazendo-se seu valor central migrar para a direita na série temporal de hora em hora, e mantendo-se o número de valores da sub-amostra sempre igual ao período da oscilação periódica, espera-se obter uma série temporal que represente a tendência estatística da série de valores do maregrama. Se isto não for atingido para nenhum comprimento tentado para a sub-amostra, pode-se afirmar que não existe uma periodicidade forte na amostra de valores horários de maré.



**Figura 2** Série horária de níveis d'água locais digitalizada

O método proposto acima ficaria simples no caso de uma sub-amostra com número ímpar de valores em seqüência (isto é, para um período igual a um número inteiro ímpar de horas), pois se teria um valor central e um número par igual de valores para cada lado (portanto, os valores estariam distribuídos de forma simétrica em torno de cada hora central de sub-amostra e um número inteiro de horas seria tomado para cada lado dela). Porém, para que a tendência seja bem estimada, o período coberto por cada sub-amostra deverá ser exatamente o período de maré local, que é geralmente um número não-inteiro. Daí, o problema se torna mais complexo que na exemplificação acima.

No curso da aula e ao se apresentar este fator complicador do problema, foi imediatamente proposto aos alunos que se convertesse o período estimado da maré local, não-inteiro (que tinha sido anteriormente calculado tomando-se o tempo decorrido entre duas preamares bem distanciadas no tempo e dividindo-se-o pelo número de períodos nele contido), em duas parcelas, a saber:

- a) um número inteiro ímpar, denominado aqui “ $j$ ” e
- b) um número real entre zero e dois, denominado aqui “ $k$ ”.

Daí, a média calculada para cada hora será uma média ponderada, em que os valores da sub-amostra que perfazem o número ímpar  $j$  de dados amostrais entram com peso 1,0 e os dois valores que ainda não entraram, adjacentes à seqüência de dados seriais formada pelos  $j$  valores acima citados, entram cada um com peso  $0,5k$ . Assim, a soma dos pesos resulta idêntica ao período estimado das oscilações astronômicas da maré.

Com a montagem da fórmula para o cálculo da média ponderada centrada no primeiro horário possível da série (logo que já havia  $0,5(j-1)+1$  valores à esquerda) escrita na célula conveniente da planilha, foi imediato para os alunos que o seu conteúdo deveria ser copiado para as células abaixo, em seqüência, enquanto houvesse dados para o cálculo apropriado de médias móveis. Após isto, foi possível, juntamente com os alunos, montar pelo método indutivo uma fórmula geral para a média móvel de uma série temporal oscilatória genérica de período não inteiro qualquer. Tudo decorreu em poucos minutos, contando com entusiasmo, percepção e criatividade dos participantes.

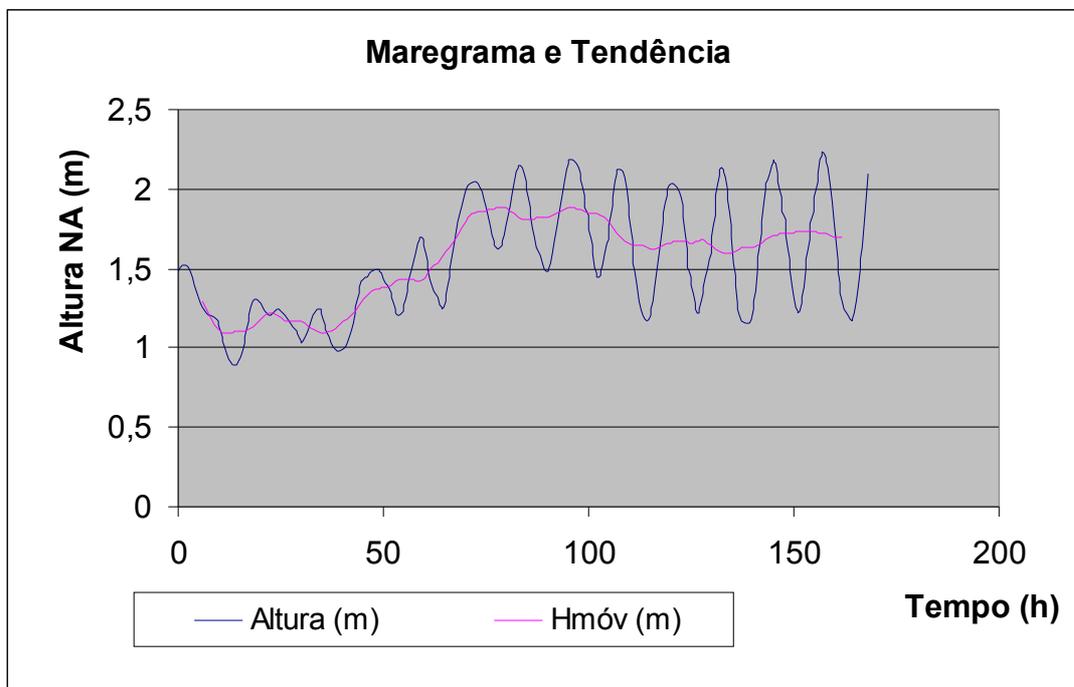


Figura 3 Série temporal de níveis d'água comparada com sua tendência estimada

O resultado dos cálculos acima descritos é mostrado graficamente na Figura 3, juntamente com a série de dados horários de NA do mar. Baseando-se nas duas séries lá representadas: a dos valores horários de NA do mar e a da tendência serial (estimada pela média móvel, como explicado acima), puderam ser calculadas as semi-amplitudes de maré, a cada meio-período desta (valores máximos locais das diferenças em valor absoluto entre as duas séries), com o auxílio das funções estatísticas inerentes à planilha eletrônica. O máximo valor da série de semi-amplitudes foi então identificado e multiplicado por dois, para uma estimativa da própria amplitude das oscilações do NA local. Para uma operação como esta sobre uma série mais longa (um ano completo, por exemplo), o resultado análogo a este poderá ser empregado, convenientemente, no dimensionamento de obras em projeto (ver ALMEIDA E BRIGHETTI, 1978).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado obtido em termos pedagógicos pela metodologia de ensino aqui descrita foi rápido e eficiente. Antes de se adotar tal enfoque didático, era necessária uma aula teórica de duas horas sobre análise de séries temporais, que não contava com muito entusiasmo do aluno, seguida de uma aula de duas horas para o preenchimento à mão de planilhas de cálculo em papel, com o auxílio de uma calculadora. Depois, em uma aula de uma hora, fixava-se as conclusões a partir dos resultados numéricos obtidos. Atualmente, vai-se imediatamente ao laboratório de informática, desenvolve-se os cálculos sobre bases intuitivas e tentativas e se induz uma conclusão sobre a lei de formação da média móvel, bem como de sua capacidade de representar a tendência da série.

Com pequeno esforço adicional e auxílio da planilha de cálculo, obteve-se a amostra de semi-amplitudes, sobre as quais a própria planilha pesquisa um máximo para efeito de projeto. Foi então explicado que tal metodologia, sobre longas séries históricas (tornada atividade corriqueira com a disponibilidade de computadores digitais), permite a determinação de amplitudes de maré com certa significância histórica e estatística associada a um nível de segurança de projeto (ou período de retorno).

#### *Agradecimentos*

O autor agradece ao Centro Tecnológico de Hidráulica – CTH (convênio USP/DAEE-SP) pelo fornecimento do maregrama empregado, bem como aos acadêmicos Fernando M.A.D.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI, P. **Navegação interior e portos marítimos**. Notas de aula. São Paulo: EPUSP. 2000, 153p.

ALMEIDA, C.E.de; BRIGHETTI, G. **Navegação interior e portos marítimos**. São Paulo: EPUSP, 1978, vol. II, 142p.

CHATFIELD, C. **The analysis of time series – An introduction**. Londres: Chapman & Hall, 1989, 254p.

MORE, D.S.; McCABE, G.P. **Introduction to the practice of statistics**. New York: Freeman and Company, 1989, 860p.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Shore protection manual**. 4<sup>th</sup>. ed.. Washington, D.C.: Superintendent of Documents of the U. S. Gov. Press Office, 1984, 2vols.

REDA, A.L. de L. **Simulation and control of stormwater impacts on river water quality**. 1996. Tese (submetida para a obtenção do grau de Doctor of Philosophy-PhD). Imperial College of Science, Technology and Medicine, Universidade de Londres, Londres. 512p.

### **ACCELERATED LEARNING IN COASTAL ENGINEERING: ANALYSIS OF LOCAL TIDE FLUCTUATIONS AS TIME SERIES APPLYING MOVING AVERAGE AND A SPREADSHEET**

**Abstract:** *Teaching methods for engineering design naturally depends on the knowledge of mathematical tools previously learnt in the basic cycle of graduation courses. It is also possible, alternatively, that certain methods for the analysis of design conditions and decision making depend on mathematical knowledge not introduced previously. In any of these cases, the use of a mathematical tool is useful for fixing its knowledge and may enhance its learning. The present case study both illustrates this aspect and demonstrates how motivation for solving a problem may boost the learning of a new mathematical tool. The problem proposed is the spectral analysis of the local fluctuations of the sea level caused by tide – represented as an hourly time series – applying the concept of moving average as to estimate the serial trend. Calculations are effected by a spreadsheet and formulae are built by the student himself, while bringing a consciousness of the mathematical model – which is introduced by an appeal to intuition. The motivation caused by the proposed problem and by the intuitive approach could accelerate learning on this statistic topic, new to the student, and fix it better. Actually, it halved learning time – from six to three classroom teaching hours (although keeping homework activity of about one hour for data typing). Finally, the workshop environment created in the computer lab (with target and deadline) enhanced team work and team performance.*

**Key-words:** *Computers in engineering education, Mathematical methods, Statistics and time series.*

**Secretaria do Cobenge 2004**  
**Tel. 061 – 307.2300/307.2305**