

VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA TEMPERATURA DA ÁGUA DO MAR JUNTO À COSTA DE PORTUGAL

Sílvia Antunes⁽¹⁾, H. Oliveira Pires⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Meteorologia, Portugal, silvia.antunes@meteo.pt

⁽²⁾ APMG, Portugal, hopires@netcabo.pt

1. Introdução

São analisadas séries da temperatura da água do mar em postos de observação junto à costa de Portugal. Pretende detectar-se eventuais características não puramente aleatórias, estatisticamente significativas, na variabilidade destas séries.

2. Dados

Os valores anuais em análise são médias das observações diárias provenientes dos registos efectuados pelo IM, IP. Devem entender-se como representando a ‘temperatura média’ da camada do oceano que se estende da superfície até 1m de profundidade. As séries analisadas têm início em 1956 nos postos de observação da costa ocidental (Leixões, Peniche e Sines no sentido N/S) e em 1980 na costa sul (Cabo de Santa Maria no Algarve, junto a Faro). Os dados disponíveis para análise estendem-se até 2007.

3. Metodologia

3.1 Método de Análise Espectral Singular (SSA)

A análise da variabilidade das séries temporais da temperatura da água do mar é efectuada por análise espectral singular (SSA). Este método é a versão reduzida a um canal (série) da análise espectral singular multicanal (MSSA) que se aplica à análise da variabilidade espaço-temporal de campos (por ex. Antunes *et al.*, 2006; Antunes *et al.*, 2009).

O método, tal como descrito em Vautard *et al.* (1992), permite isolar componentes, algumas identificadas com tendência e outras com características de periodicidade. Estas componentes, apresentando um comportamento mais regular, ou seja, com menos ruído que a série original apresentam óbvias vantagens de análise. O método inclui a possibilidade de reconstruir isoladamente, ou em conjunto, as componentes detectadas como significativas.

Ao contrário da análise espectral clássica, onde as funções base são senos e cosenos, o método SSA produz filtros adaptáveis aos dados, capazes de isolar oscilações das séries. O método torna-se, assim, mais flexível e apropriado na análise de oscilações não-lineares (Vautard *et al.*, 1992).

A escolha da largura da janela M é uma parte essencial da análise SSA. O problema da escolha surge porque quanto maior for a largura M menor será o grau de alisamento do estimador espectral

mas, por outro lado, quanto maior for M maior será a capacidade de distinguir dois picos espectrais que ocorram em frequências próximas. Consideram-se, neste estudo, as recomendações de Plaut e Vautard (1994) que concluíram que o uso de uma janela de largura M permite a distinção de oscilações com periodicidades entre $M/5$ e M . Por outro lado em Vautard *et al.* (1992) refere-se que a largura das janelas não deve exceder $1/3$ do comprimento das séries que formam o campo, de modo a que os erros estatísticos não dominem os últimos valores da função de covariância.

3.2 Testes de Significância Estatística

Se a variabilidade de uma série for dominada por uma oscilação, o método gera um par de T-EOFs quase periódicas, com o mesmo período e em quadratura. No entanto, estes pares podem também ser gerados aleatoriamente em realizações de processos não-oscilatórios pelo que, sendo detectados, devem ser testados estatisticamente quanto à sua significância.

A hipótese nula, tal como formulada por Allen e Robertson (1996), é a de que os dados tenham sido gerados por processos AR(1).

Neste caso, a rejeição da hipótese nula pode fazer-se se os valores próprios detectados por SSA possuírem maior densidade espectral do que seria de esperar de dados gerados por processos de ruído vermelho, ou seja, se apresentam maior densidade espectral que os percentis definidos pelos intervalos de confiança.

Os intervalos de confiança para um determinado nível de significância são estimados pelo método de Monte Carlo: gera-se um grande número de realizações gaussianas de séries com as características da hipótese nula, no caso processos auto-regressivos de 1ª ordem, e com variância, autocorrelação de desfaseamento 1 e um número de termos igual ao das séries.

4. Valores Médios

Apesar da extensão relativamente pequena da costa portuguesa os valores médios mensais da temperatura da água do mar junto à nossa costa são bastante diferentes. Os valores mensais mais elevados ocorrem, em geral, na costa sul do Algarve. Na costa oeste diminuem com o aumento da latitude (Fig. 1).

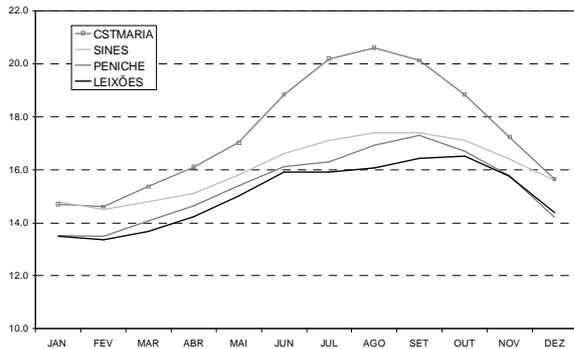
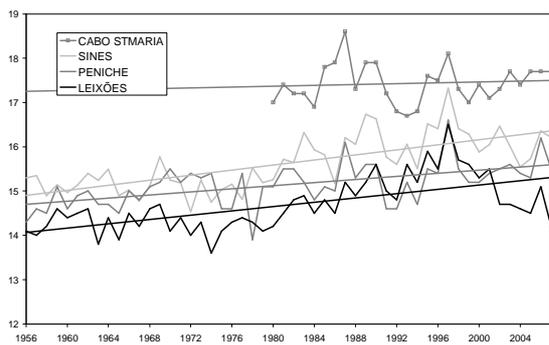


Fig. 1.- Valores médios mensais da temperatura da água do mar em vários postos junto à costa de Portugal (1980/2007).

5. Análise de Tendências

Uma simples análise visual das anomalias anuais da temperatura da água do mar revela um aumento em todos os locais. A aplicação de tendências lineares a essas séries mostra que a temperatura tem aumentado entre 0.02 e 0.03°C/ano na costa ocidental e 0.005 °C/ano na costa sul (Fig.2).

Fig. 2.- Representação das séries anuais da temperatura da água do mar e tendências lineares.



A mesma análise visual permite, no entanto, identificar que existem períodos com um comportamento diferenciado na tendência das séries. Efectua-se, por isso, a análise das mesmas séries por Análise Espectral Singular (SSA) que permite avaliar, além de outras características, tendências não lineares. Apresentam-se os resultados da aplicação do método na Fig. 3.

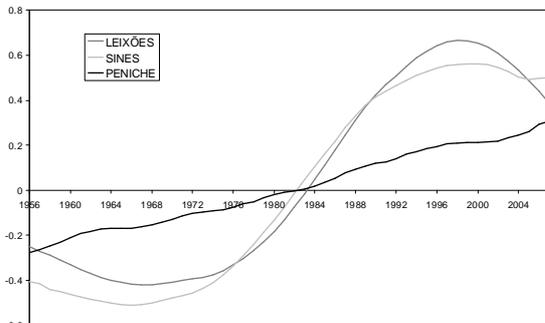


Fig. 3.- Representação das tendências não lineares das séries anuais da temperatura da água do mar estimadas por SSA.

Verifica-se que a aplicação do método mostra dois períodos com características diferentes nas séries de Leixões e Sines: tendência crescente desde 1968 até 1998 e tendência decrescente a partir desse ano.

As tendências das séries apresentadas nesta figura são significativas em relação à hipótese nula de ruído branco e intervalos de confiança de 90%. Apresenta-se na Fig.4, como exemplo, os valores próprios, barras de erro associadas a estes valores próprios e os intervalos de confiança estimados por métodos de Monte Carlo para a série da temperatura da água do mar de Peniche. A tendência da série observada na costa sul (Cabo de Santa Maria) não é significativa, para o que pode contribuir a sua curta duração.

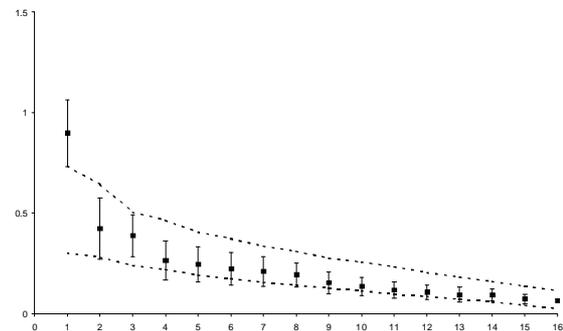


Fig. 4.- Valores próprios da temperatura da água do mar em Peniche, barras de erro e intervalos de confiança de 90% para a hipótese nula de ruído branco.

6. Análise de Periodicidades

Depois de retiradas as componentes de tendência às séries tentam detectar-se outras características significativas como periodicidades, repetindo-se a mesma análise por SSA.

Esta análise mostra que não é possível detectar valores próprios significativos, passando as séries de Peniche, Sines e Cabo de Santa Maria a apresentar um comportamento semelhante a realizações de ruído branco. Na Fig. 5 apresenta-se, como exemplo, a análise efectuada para a série de Peniche.

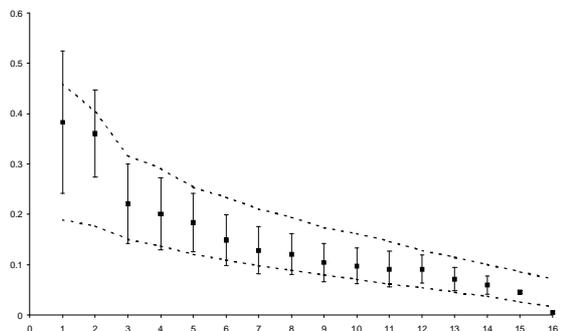


Fig. 5.- Valores próprios da temperatura da água do mar em Peniche, barras de erro e intervalos de confiança de 90% para a hipótese nula de ruído branco, depois de retirada a tendência não linear.

A série sem tendência da temperatura da água do mar em Leixões é a única que apresenta um valor próprio significativo para a hipótese nula de ruído branco, e mesmo assim, junto ao limite superior do intervalo de confiança (Fig.6).

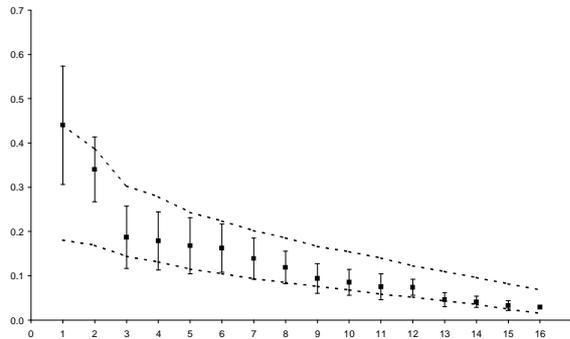


Fig. 6.- Valores próprios da temperatura da água do mar em Leixões, barras de erro e intervalos de confiança de 90% para a hipótese nula de ruído branco, depois de retirada a tendência não linear.

O par de componentes que origina este valor próprio é analisado por métodos de máxima entropia (MEM), revelando características de periodicidade entre os 14 e os 21 anos (Fig.7).

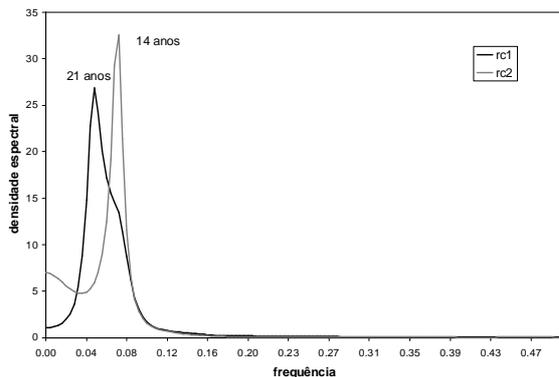


Fig. 7.- Espectros de variância do par de componentes significativas da temperatura da água do mar em Leixões.

7. Conclusões

A análise das séries de temperatura da água do mar à superfície junto à costa de Portugal permite detectar a existência de tendências. A tendência linear mostra apenas uma tendência para aumento da temperatura, mas a aplicação do método SSA mostra dois períodos com características diferentes: tendência crescente desde 1968 até 1998 nas séries de Leixões e Sines e tendência decrescente a partir desse ano.

A análise SSA revela também que, mesmo para a hipótese nula de ruído branco, não é possível detectar características de periodicidade nesta variabilidade, com exceção de Leixões, onde se detecta periodicidade de cerca de 14 a 21 anos, significativa em relação à mesma hipótese nula.

Referências

Allen M., Robertson A. (1996). "Distinguishing modulated oscillations from coloured noise in multivariate datasets", *Climate Dynamics*, 12, 775-784.

Allen M., Smith L. (1996). "Monte Carlo SSA: Detecting irregular oscillations in the presence of colored noise", *Journal of Climate*, 9, 3373-3404.

Antunes S., Oliveira Pires H., Rocha, A. (2009). "Spatio-temporal patterns of pressure over the North Atlantic", *International Journal of Climatology*, 10.1002/joc.2052.

Antunes S., Oliveira Pires H., Rocha, A. (2006). "Detecting spatio-temporal precipitation variability in Portugal using multichannel singular spectral analysis", *International Journal of Climatology*, 26, 2199-2212.

Plaut G., Vautard R. (1994). Spells of low-frequency oscillations and weather regimes in the northern hemisphere. *Journal of the Atmospheric Sciences* 51-2: 210-236.

Vautard R., Yiou P., Ghil M. (1992). "Singular-spectrum analysis: A toolkit for short, noisy chaotic signals", *Physica D*, 58, 95-126.

Vautard R. (1995). *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques*, von Storch H, Navarra A. Eds, Springer, 334 pp.