

Caracterizando a cor do ruído em séries temporais geradas teoricamente e aplicadas em séries de programas de monitoramento

William Roberto Luiz Silva Pereira

Graduado em ciências biológicas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Assessor técnico do Instituto I2S – Inteligência para Sustentabilidade.

Tanto no setor privado quando no acadêmico é quase certo que iremos deparar com uma série temporal, não importa o ramo de atividade de atuação. Os exemplos são vastíssimos e podemos lembrar vários.

Um médico faz uma análise do eletro-encefalograma ou um eletrocardiograma e consegue fazer diagnósticos observando os padrões gráficos e quando algo estranho é detectado, o médico entra em alerta: uma mudança no padrão do gráfico pode indicar a presença de uma patologia. No mercado financeiro a ferramenta primordial de atuação são as análises gráficas de variações temporais, quer seja de ações, de índices de bolsa, de volatilidade, de taxas cambiais, etc. Mas as séries temporais econômicas não seguem padrões bem definidos como nas séries biomédicas e os economistas estão munidos com diversas ferramentas estatísticas que fornecem um indicador: médias-móveis, bandas Bollinger, estocástico, candlesticks, são alguns exemplos.

Na agronomia não é diferente. O preço da arroba do boi é determinado pelo mercado e varia tanto quando o preço do litro do leite, dos insumos usados na criação etc. E as empresas precisam fechar o volume de vendas e monitorá-lo mês a mês para obter um diagnóstico de como andam as coisas. E se um mês bom é sucedido de outro mês bom, de bons resultados, o patrão fica bem satisfeito. Mas se um mês ruim é sucedido de outro mês ruim, e depois outro, e outro... uhm, é sinal de que medidas sérias deverão ser tomadas.

E em pesquisas acadêmicas as séries temporais são corriqueiras. Ao monitorar de tempo em tempo, por exemplo, a DBO (demanda bioquímica de oxigênio, ou seja, a quantidade de oxigênio presente na água e utilizada pelos micro-organismos para realizar oxidação bioquímica) num rio, por exemplo, logo surge uma série temporal que não revela um padrão visual como nos eletroencefalogramas e isso ocorre também em monitoramento de densidades populacionais de certos organismos. As variações temporais de chuva, de incidência de terremoto em uma localidade, de salinidade em regiões oceânicas ou de praia, ou variação temporal de marés, de ocorrência de manchas solares, ciclos lunares, ciclos circadianos, ..., não importa o fenômeno, todos são passíveis de serem monitorados e apresentados numa série temporal, as vezes com padrões evidentes, as vezes com comportamento quase que imprevisível.

Se as séries temporais são ubíquas, é muito necessário que haja alguma teoria ou alguma ferramenta que permita entender e caracterizar uma série temporal qualquer. Existem diversas estatísticas que fornecem uma maneira de identificar padrões, graus de tendência, força de correlação entre um dado da série

e outro. E para testar essas estatísticas existe uma maneira de gerar séries temporais: é o Processo Auto-regressivo de Primeira Ordem AR (1), que seguindo a notação sugerida por PETCHEY et al (1997):

$$(1) \quad \phi_{t+1} = \alpha\phi_t + \beta\epsilon_{t+1}$$

$$(2) \quad \beta = C(1 - \alpha^2)^{\frac{1}{2}}$$

sendo α o parâmetro que controla a auto-correlação e pode assumir valores $-1 < \alpha < 1$, ϵ uma variável aleatória (geralmente sorteada através de uma Distribuição Gaussiana Padrão) e β uma variável que controla a magnitude da flutuação da série temporal.

Os ecólogos têm bastante interesse nessa ferramenta. Os organismos dependem do ambiente onde vivem e algumas vezes são condicionados pelas condições climáticas locais, ora pelo regime de chuvas, pela temperatura, pelas estações do ano, pelas queimadas (como no Cerrado) ou pela umidade (como as Florestas Tropicais), pela evapo-transpiração das plantas, etc. Apesar das séries temporais geradas apresentarem comportamento bem característico, os ecólogos verificaram que as séries temporais abióticas guardam algum tipo de auto-correlação positiva, ou fraca ou muito forte. Portanto, eles geralmente se referem a séries temporais abióticas como séries avermelhadas (ou Reddened). Como se entende e estende esse conceito?

Uma série temporal pode apresentar um padrão muito bem definido e existem dois exemplos-limite: no primeiro exemplo há um momento de subida pode ser sucedido de outro momento de subida, e por outro, e por aí vai, caracterizando uma série com auto-correlação totalmente positiva; e o outro exemplo extremo pode ser uma série onde ocorra um momento de subida e no tempo seguinte surge um momento de descida, e no outro tempo um momento de subida, permanecendo um sobe-desce permanente, fazendo ser essa série ter auto-correlação totalmente negativa. Uma série com auto-correlação totalmente positiva tem o valor 1 e uma série com auto-correlação totalmente negativa tem o valor igual a -1.

Mas nas situações reais quase não existem séries com auto-correlação totalmente positiva ou totalmente negativa, mas a imensa gama de possibilidades permite que a auto-correlação dessa série seja medida, podendo adquirir valores entre $-1 < \alpha < 1$. Existem metodologias próprias para que a auto-correlação de uma série temporal qualquer seja medida.

O Processo Auto-regressivo de Primeira Ordem é capaz de gerar séries cobrindo toda essas possibilidades pelo controle do parâmetro α e essa metodologia

é uma das maneiras de gerar séries temporais onde é possível controlar seu grau de auto-correlação. Os desdobramentos são imensos.

Quando uma série temporal possui $\alpha = -1$ (auto-correlação negativa), a série é dita possuir um Ruído Azul, podendo assumir valores que vão diminuindo até atingir $\alpha = 0$ (ausência de auto-correlação). Quando essa condição acontece a série temporal é chamada possuir um Ruído Branco (ou ainda White Noise ou Gaussian Noise) (fig. 1). Se usarmos a equação (1) com $\alpha = 0$ e $\beta = 1$ teremos simplesmente

$$(3) \quad \phi_{t+1} = \epsilon_{t+1}$$

ou seja, o Processo Auto-regressivo de Primeira Ordem se torna uma Distribuição Gaussiana (definindo a priori que ϵ é uma variável aleatória sorteada gaussianamente) retomando o seu conceito fundamental de independência entre t e $t+1$. Portanto a inserção do parâmetro α simplesmente rompe com o princípio de independência entre os números gerados na série, fazendo o processo adquirir algum grau de dependência (ou em termos estatísticos, de auto-correlação).

A série temporal pode assumir valores de auto-correlação que vão aumentando gradativamente até atingir $\alpha = 1$. Quando a auto-correlação é totalmente positiva a série temporal é classificada pelo Ruído Vermelho (ou Ruído Rosa ou pelo inglês Pink Noise ou Red Noise). Nesse intervalo entre $0 < \alpha < 1$, a série pode assumir diversos graus de auto-correlação positiva e esse espectro de possibilidades junto as análises exaustivas de variáveis bióticas e abióticas levaram os teóricos da ecológica classificar tais séries Avermelhadas (ou no inglês Reddened) (fig. 2).

Portanto, quando os ecólogos afirmam que as séries temporais de variáveis bióticas e abióticas são Avermelhadas, eles estão dizendo que existe algum grau de auto-correlação positiva nessas séries. Isso foi determinado porque diversas pesquisas já foram realizadas na procura de algum tipo de tendência em séries temporais de fenômenos populacionais e climáticos e os pesquisadores verificaram que tais processos não são tão aleatórios quanto os gráficos mostravam, onde a maioria dessas apresentava algum tipo de auto-correlação positiva (Sugihara, 1995; Rohani et al., 2004).

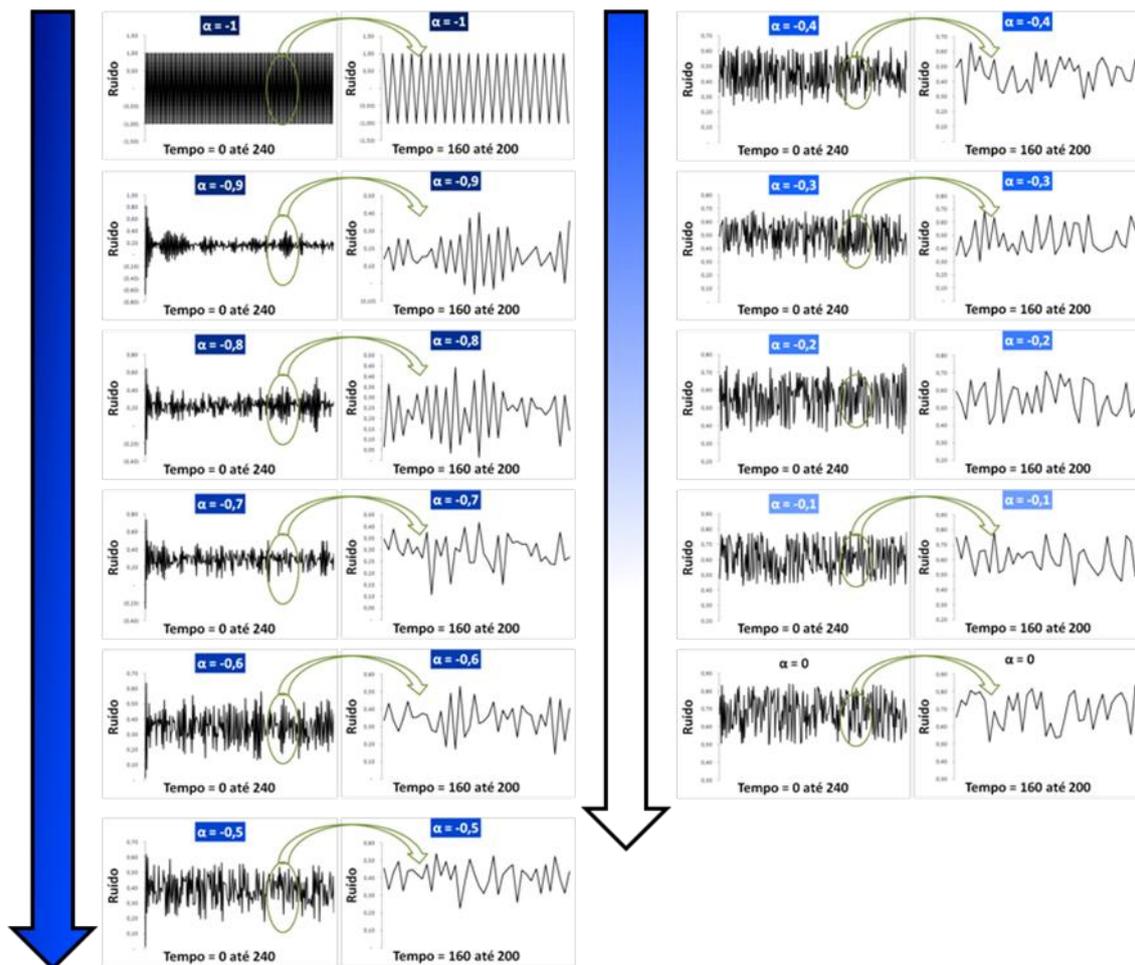


Fig. 1) Ruído Azul – a série temporal apresentam auto-correlação negativa ($\alpha = -1$) e a medida que a série diminui auto-correlação (fica menos azulada) α assume valores entre $-1 < \alpha < 0$ até não apresentar nenhuma auto-correlação (cada ponto da série é independente uma da outra) assumindo um Ruído Branco (ou Ruído Gaussiano) quando $\alpha = 0$.

Com essas constatações em mãos, os ecólogos puderam, finalmente, modelar o comportamento de uma população biológica teórica inserindo nas equações um fator que simula a influência da variável ambiental sobre a capacidade-suporte da população (PETCHEY et al., 1997; CUDDINGTON & YODZIS, 1999; HEINO et al., 2000) ou sobre o fator de dependência da densidade (KAITALA et al., 1997). Com esses modelos é possível saber até que ponto a população persiste no ambiente em função da própria dinâmica da população (regulado por fatores dependentes da densidade) ou em função da cor do ruído das variações ambientais.

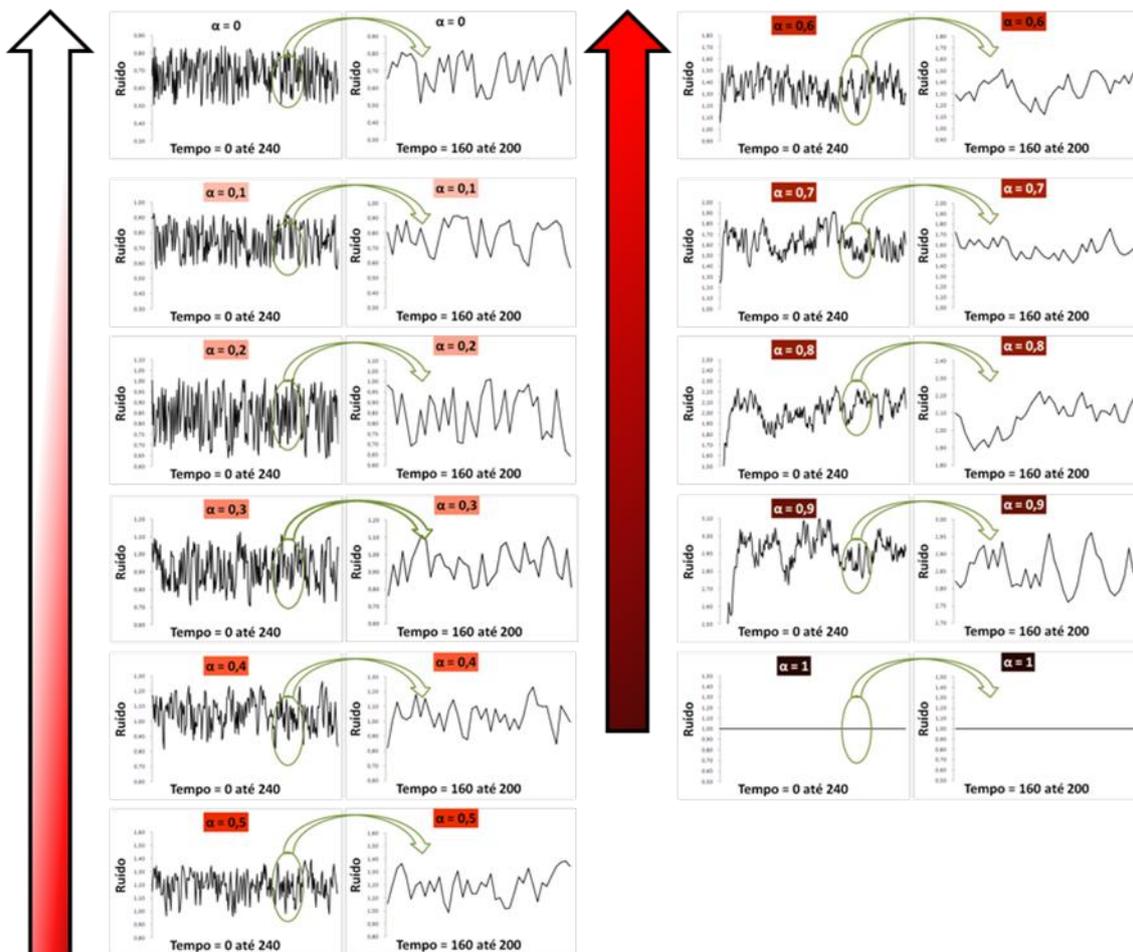


Fig. 2) Ruído Vermelho – a série temporal apresentam auto-correlação positiva ($\alpha = 1$) e a medida que a diminui auto-correlação (fica menos avermelhada) α assume valores $1 > \alpha > 0$ até não apresentar nenhuma auto-correlação (cada ponto da série é independente uma da outra) assumindo um Ruído Branco (ou Ruído Gaussiano) quando $\alpha = 0$.

A emergência atual exige que a dinâmica das populações biológicas seja entendida para fins conservacionistas, manejo de pragas, para que a própria dinâmica populacional indique o status de sua persistência no ambiente frente alguma alteração climática ou algum estresse ambiental ou para que se estime o risco de extinção. Além disso, o Processo Autoregressivo de Primeira Ordem facilita em muito na compreensão das séries temporais de uma maneira geral, podendo ser aplicada em qualquer estudo onde se realize um monitoramento de uma variável de interesse qualquer dentro de um determinado espaço de tempo.

O estudo de monitoramento onde a variável-alvo é quantificado ao longo de um determinado espaço de tempo pode fornecer informações importantes sobre o funcionamento dessa variável dentro do sistema onde está inserido, e além do mais existem estatísticas próprias que podem revelar o grau de auto-correlação e cor da série temporal e de posse desses valores, a série monitorada experimentalmente pode ser reproduzida pelo Processo Autoregressivo de Primeira Ordem e ser incorporada em outros modelos, fornecendo informações importantes do fenômeno até antes incompreensível em sua totalidade.

Bibliografia

CUDDINGTON, K. M. & YODZIS, P. 1999. Black noise and population persistence. Proc. R. Soc. Lond. B. 266: 969-973.

HEINO, M.; RIPA, J.; KAITALA, V. 2000. Extinction risk under coloured environmental noise. Ecography, 23: 177-184.

KAITALA, V.; YLIKARJULA, J.; RANTA, E.; LUNDBERG, P. 1997. Population dynamics and the colour of environmental noise. Proc. R. Soc. Lond. B. 264: 943-948.

PETCHEY, O. L.; GONZALES, A.; WILSON, H. B. 1997. Effects on population persistence: the interaction between environmental noise colour, intraspecific competition and space. Proc. R. Soc. Lond. B, 264: 1841-1847.

ROHANI, P.; MIRAMONTES, O.; KEELING, M. 2004. The colour of noise in short ecological time series data. Mathematical Medicine and Biology, 21: 63-72.

SUGIHARA, M. 1995. From out of the blue. Nature, 378: 559.