

O USO DA RETA DOS MÍNIMOS QUADRADOS PARA ANÁLISE DO
COMPORTAMENTO PLUVIOMÉTRICO

Maria Helena de Almeida Mello
Rogério Remo Alfonsi

Programa
Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo
Seção de Climatologia Agrícola - IAC
C.P. 28, CEP 13001 CAMPINAS - SP

O presente trabalho trata de uma das técnicas estatísticas de análise de séries temporais aplicada a estudos do comportamento pluviométrico. Esses estudos têm por finalidade o mapeamento das características pluviométricas do Estado de São Paulo, levando-se em conta as tendências gerais da chuva no decorrer de um período de pelo menos 30 anos de observações e, as respectivas variações em torno dessas tendências.

As análises são feitas a nível mensal, considerando-se as sequências individuais de cada mês, no decorrer do período. A curva da variação pluviométrica em relação ao tempo é dada por: $Y = TSCI$ ($Y =$ total pluviométrico mensal; $T =$ tendência geral ou secular da chuva; $S =$ componente estacionário; $C =$ componente cíclico e $I =$ componente randômico).

A tendência geral, T , é representada por uma reta, obtida através do método dos mínimos quadrados. Portanto, $T = a + bx$, onde a (constante) indica a razão da variação de Y em relação ao tempo (X), b (coeficiente de X), indica a magnitude e orientação da tendência ($-b$, tendência decrescente; $+b$, tendência crescente).

Devido a grande variabilidade e irregularidade do fenômeno estudado, o período de 30 anos está sendo considerado como pequena amostra. Assim, a validade estatística das análises comparativas e os limites dos parâmetros das equações estão sendo definidos com base na distribuição Student t , para níveis de 5% e 1% de significância.

Para se isolar a tendência geral dos demais componentes da curva, tem-se utilizado os desvios relativos de Y_i , em relação a T , expressos em porcentagens; $d_i \% = (Y_i - T_i) / T_i \cdot 100$. Neste caso, $d_i \%$ evidencia principalmente o componente randômico (I), uma vez que, os componentes estacionários e cíclico são pouco evidenciados, devido ao pequeno tamanho da amostra e ao fato de se considerar sequências mensais individualmente.

O desvio padrão relativo de $d\%$ (coeficiente de variação, $Vr\%$) é utilizado para se comparar estatisticamente as séries, tanto de um mês com

outro, no decorrer do período, quanto de diferentes localidades. Considerando-se as amostras 1 e 2, temos:

$$t = \frac{|V_{r_1} - V_{r_2}|}{\sqrt{\frac{V_{r_1}^2}{2n} + \frac{V_{r_2}^2}{2n}}}$$

, com $4n - 4$ graus de liberdade. Comparando-se t calculado com t_{α} , tabela, pode-se verificar se as variações das 2 amostras são iguais ou não, ver Quadro 1 (contém 1 exemplo de resultados das análises e a comparação de $Vr\%$, para as 2 amostras).

Como exemplo, seguem-se 12 equações da tendência pluviométrica mensal de Lins (SP), para o período 1957/86, com os respectivos erros padrões (ST= erro padrão da estimativa de T, Sa= erro padrão de a, Sb= erro padrão de b), $n = 30$ e graus de liberdade = $n - 2$:

Janeiro, $T = 208,8 + 0,7X$ (ST= 91,7; Sa= 2,5; Sb= 1,9)

Fevereiro, $T = 158,3 + 0,7X$ (ST= 87,7; Sa= 2,4; Sb= 1,8)

Março, $T = 96,5 + 3,8X$ (ST= 82,8; Sa= 2,3; Sb= 1,7)

Abril, $T = 29,4 + 1,7X$ (ST= 28,9; Sa= 1,4; Sb= 1,9)

Maió, $T = 28,4 + 1,7X$ (ST= 45,8; Sa= 1,7; Sb= 1,0)

Junho, $T = 38,7 + 0,5X$ (ST= 38,4; Sa= 1,6; Sb= 0,8)

Julho, $T = 43,2 - 0,7X$ (ST= 54,2; Sa= 1,9; Sb= 1,1)

Agosto, $T = 7,6 + 1,3X$ (ST= 35,4; Sa= 1,5; Sb= 0,8)

Setembro, $T = 27,3 + 1,8X$ (ST= 45,8; Sa= 1,7; Sb= 1,0)

Outubro, $T = 124,5 - 0,4X$ (ST= 73,6; Sa= 2,2; Sb= 1,5)

Novembro, $T = 138,2 + 0,3X$ (ST= 54,2; Sa= 1,9; Sb= 1,1)

Dezembro, $T = 190,1 + 1,6X$ (ST= 82,9; Sa= 2,3; Sb= 1,7)

Os gráficos das tendências pluviométricas, de Lins (SP), para os meses de março, abril, maio e setembro, contidos na Fig. 1, servem como exemplo de tendência geral a um significativo aumento dos totais pluviométricos mensais (elevado grau de inclinação da reta, com b positivo). Nessa mesma figura, constam os gráficos de julho e outubro, com tendência à diminuição dos totais pluviométricos mensais, b negativo.

Para o objetivo a que se propõe estas análises, a reta dos mínimos quadrados é suficiente para representar a tendência geral. As principais vantagens do uso desse método consiste em: a) evitar os inconvenientes da perda dos valores iniciais e finais da série, como ocorre, quando se utiliza médias móveis, por exemplo; b) facilitar a localização dos momentos de mudanças significativas nas variações que independem da tendência geral; c) facilitar a comparação das amostras entre si. Além dessas vantagens, trata-se de uma técnica simples e razoavelmente adequada quando se pretende trabalhar com várias amostras, levando-se em conta a variação do fenômeno estudado no decorrer do tempo.

Quadro 1. Resultados parciais das análises de tendência geral e da variação irregular da chuva, para Lins e Andradina (SP).

Características da Variação Pluviométrica Mensal(período:1957/86), no decorrer de 30 anos.

LINS (SP): lat:216 15m S; long: 496 41m W; alt: 480m

| mes | Ymed mm | epm mm | std mm | DT(mm) 5 anos | DT(mm) 30 anos | Vr % |
|-----|------------|-----------|-----------|------------------|-------------------|---------|
| jan | 219.8 | 16.2 | 88.8 | 3.0 | 22.0 | 40.1 |
| fev | 168.1 | 15.5 | 85.0 | 2.7 | 19.6 | 50.8 |
| mar | 151.2 | 15.3 | 86.4 | 15.1 | 109.4 | 57.3 |
| abr | 54.6 | 5.8 | 31.7 | 7.0 | 50.2 | 62.6 |
| mai | 53.3 | 8.5 | 46.7 | 6.9 | 49.7 | 86.0 |
| jun | 39.5 | 6.8 | 37.1 | 0.2 | 1.6 | 93.8 |
| jul | 32.3 | 9.6 | 52.7 | -3.0 | -21.9 | 143.6 |
| ago | 26.3 | 6.7 | 36.9 | 5.2 | 37.5 | 122.6 |
| set | 53.1 | 8.6 | 46.9 | 7.1 | 51.6 | 94.7 |
| out | 118.1 | 13 | 71.2 | -1.8 | -12.8 | 59.6 |
| nov | 142.8 | 9.6 | 52.4 | 1.3 | 9.2 | 36.8 |
| dez | 213.7 | 14.8 | 81.3 | 6.5 | 47.1 | 38.6 |

epm= erro padrao da media
std= desvio padrao
DT= incremento da tendencia
(delta T)
Vr= coeficiente de variacao
em torno da tendencia.

Resultados da comparacao de Vr.
das 2 amostras
t

ANDRADINA (SP). lat: 208 55m S; long: 516 22m W; alt:

| mes | Ymed mm | epm mm | std mm | DT(mm) 5 anos | DT(mm) 30 anos | Vr % |
|-----|------------|-----------|-----------|------------------|-------------------|---------|
| jan | 200.6 | 16.4 | 89.7 | -3.4 | -24.6 | 44.8 |
| fev | 163.9 | 18.1 | 98.9 | -16.4 | -119.4 | 55.9 |
| mar | 121.0 | 15.0 | 82.3 | 12.1 | 87.9 | 61.9 |
| abr | 69.1 | 9.5 | 51.8 | 4.0 | 29.3 | 76.9 |
| mai | 63.7 | 8.7 | 47.6 | -1.2 | -8.5 | 74.3 |
| jun | 29.9 | 7.7 | 42.2 | -0.6 | -4.3 | 139.7 |
| jul | 26.7 | 6.3 | 34.4 | -0.7 | -4.8 | 127.6 |
| ago | 20.4 | 4.5 | 24.9 | -0.4 | -3.0 | 123.3 |
| set | 55.9 | 8.7 | 47.4 | 5.6 | 40.4 | 82.9 |
| out | 128.7 | 11.5 | 63.1 | 0.4 | 2.9 | 49.1 |
| nov | 124.9 | 9.7 | 47.6 | 6.8 | 48.7 | 36.6 |
| dez | 185.2 | 14.4 | 78.9 | 15.4 | 111.7 | 36.7 |

| mes | t |
|-----|--------|
| jan | 3.671 |
| fev | 1.092 |
| mar | 0.852 |
| abr | 6.387 |
| mai | 6.038 |
| jun | 49.815 |
| jul | 18.637 |
| ago | 0.482 |
| set | 4.667 |
| out | 20.793 |
| nov | 0.103 |
| dez | 0.406 |

$t_{\alpha}(.05) = 1.661$
 $t_{\alpha}(.01) = 2.359$
graus de liberdade= 116

- Notas: 1. Resultado da comparacao de Vr para as 2 amostras:
meses com variacoes iguais: jan; abr; jun; jul; set e out.
2. Os meses com DT negativo indicam a tendencia decrescente dos totais pluviometricos mensais, nos respectivos meses, ao longo do periodo analisado.
3. Observar os elevados valores de DT nos meses de marco, abril, maio, setembro e dezembro, no caso de LINS; fevereiro, marco, setembro, novembro e dezembro, para ANDRADINA.

Figura 1. Exemplos da reta de tendência geral dos totais pluviométricos mensais e da variação irregular de Y.

