



ESTIMATIVA DE ÍNDICES DE CHUVA NO ESTADO DE SÃO PAULO

BEATRIZ SIQUEIRA¹
JONAS TEIXEIRA NERY²

Resumo: Os sistemas atmosféricos tropicais influenciam diretamente na dinâmica das chuvas no sudeste do Brasil. As características do solo, orografia, vegetação e bacias hidrográficas acarretam essa variabilidade na distribuição espacial da pluviosidade. A distribuição geográfica da chuva também depende de outros fatores como a latitude, a distância do oceano, ação do relevo e efeito das correntes marítimas, bem como altitude, continentalidade, rotação da Terra, estações do ano e vegetação. A consideração de todos esses fatores nos estudos sobre a dinâmica da precipitação pluvial é de extrema importância para a sua caracterização. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é estudar a dinâmica das chuvas no estado de São Paulo, através de índices de chuvas diárias e mensais.

Palavras-Chave: chuva, índices, variabilidade.

Abstract: The tropical weather systems directly influence the dynamics of rains in southeastern Brazil. Soil characteristics, topography, vegetation and watershed cause this variability in the spatial distribution of rainfall. The geographical distribution of rainfall also depends on other factors such as latitude, distance from the ocean, the relief action and effect of sea currents, as well as altitude, continentality, rotation of the earth, the seasons and vegetation. The consideration of all these factors in studies of the dynamics of rainfall is of utmost importance for its characterization. Thus, the aim of this work is to study the dynamics of rainfall in the state of São Paulo, using indices of daily and monthly rainfall.

Key-Words: rain, indexes, variability.

1- Introdução

Devido a sua localização latitudinal, o regime de precipitação pluvial da região Sudeste do Brasil, tem sua variabilidade explicada por dinâmicas associadas a características tropicais, originárias na região amazônica e que ocasionam precipitação do tipo convectivo e também os sistemas típicos de latitudes médias, que ocasionam precipitações do tipo ciclônico. Essa característica possibilita uma distribuição uniforme de chuvas com uma média anual em torno de 1.500 e 2.000 mm.

Esses dois sistemas diferentes combinados fazem com que as chuvas de São Paulo apresentem variações extremamente altas como as da Serra do Mar (mais de 2.000 mm

¹ Discente do programa de pós graduação do Instituto de Geociências, Beatriz Siqueira, Universidade Estadual de Campinas. biasiqueira@ige.unicamp.br

² Docente do programa de pós graduação do Instituto de Geociências, Jonas Teixeira Nery, Universidade Estadual de Campinas. jonas@ourinhos.unesp.br



anuais), na parte oriental do estado de São Paulo, até chuvas como as da depressão periférica (de 1.000 a 1.100 mm anuais), na parte centro-oeste do estado.

De acordo com Malvestio (2008, p.17), “precipitação é o nome dado a toda e qualquer forma de deposição líquida ou sólida derivada da atmosfera”. “[...] Contudo, somente a chuva e a neve contribuem significativamente para com os totais de precipitação” (AYOADE, 2007, p. 159). A precipitação é um dos elementos cruciais para o funcionamento do ciclo hidrológico, necessário à vida existente na superfície terrestre. A ocorrência destas possui grande variabilidade referente à intensidade, quantidade, frequência e, principalmente, a distribuição espacial e temporal dessa variável em uma determinada localidade.

A precipitação atmosférica constitui o ramo descendente do ciclo hidrológico cujo regime é determinado por suas características físicas, topográficas, geológicas e por seu clima, além da precipitação e evaporação, que contribuem diretamente para o balanço hídrico. A precipitação pluviométrica é importante por apresentar uma distribuição espacial e temporal com influência na evaporação, a qual reduz o escoamento superficial, retirando grande quantidade de água das superfícies líquidas incorporando novamente à atmosfera (AMORIN, 2002, p.72).

Sobre as características pluviométricas da região Sudeste, Silva Dias e Da Silva (2009) afirma que o clima local de uma região é determinado pelo regime de chuvas da mesma. A chuva é resultado final de uma série de eventos com escala de tempo e espaço diferenciados, de modo que determinadas chuvas podem ocorrer por uma superposição de fatores locais e remotos. É importante salientar também que as chuvas em uma região podem afetar de algum modo o tempo em outras. A esse mecanismo de interação à distância dá-se o nome de teleconexões e está baseado em três processos distintos: as ondas atmosféricas, a continuidade de massa e a mudança de fase da água da fase gasosa para líquida e/ou sólida.

O estado de São Paulo ocupa uma área de 248.222,801 km² e se encontra entre o sul e o sudeste da região Sudeste do Brasil (IBGE, 2010). As variabilidades nas médias térmicas e pluviométricas do território paulista deve-se a variação altimétrica do relevo paulista (mais elevado a leste e menos oeste) e também a influência das massas Tropical Continental (mTc) e Tropical marítima (mTa). A mTc é uma massa do tipo instável, quente e seca, associada à baixa pressão predominante sobre a região do Chaco devido ao intenso aquecimento da superfície no verão. A mTa é formada por uma camada superior quente e seca e outra inferior fria e úmida, originada sobre os oceanos Atlântico e Pacífico.



2- Discussão

De acordo com Oliver (1980), em 1962, ao elaborar um artigo, Gibbs e Martin desenvolveram um índice para medir a diversificação do emprego nas indústrias para uma posterior análise regional comparativa. Através do número de funcionários de uma determinada categoria industrial, os autores mostraram que essa diversificação industrial poderia ser medida em uma escala variando de zero a um. O valor zero corresponde a sem qualquer diversificação constatada. Quando o valor aproxima da unidade a diversificação entre os empregados é considerada alta.

Como resultado, os autores obtiveram duas soluções hipotéticas; na primeira, o número total de trabalhadores é o mesmo e a força de trabalho total fica concentrada em apenas uma indústria; na segunda, cada uma das doze indústrias avaliadas para o estudo tem um número igual de funcionários. Dessa forma, o índice de diversificação varia de 0, indicando concentração total industrial, a 0,91, o que indica diversificação total (OLIVER, 1980, p. 1.)

Ao longo do tempo, o índice começou a ser aprimorado. O estudo de Clements e Sturgis, por exemplo, mostrou que o valor máximo de diversificação absoluta depende do número de casas utilizados na análise. Na análise feita por Gibbs e Martin, foram utilizadas 12 indústrias com uma margem de aproximadamente 0.9167 de diversificação, no entanto se 10 indústrias tivessem sido avaliadas, o valor máximo seria 0.90000. Ambos os autores também observaram que para o índice ser válido em estudos comparativos o mesmo número de categorias deve ser usado.

Esse índice elaborado por Gibbs e Martin pode, comumente, ser utilizado para outros fins, sendo um deles a avaliação da concentração de precipitação em determinado local ao longo de um ano, por exemplo. Nesta situação, cada “caso” seria uma estação climática e cada “categoria” seria um mês do ano. Segundo Oliver (1980), o índice seria válido para fins de comparação, já que cada “caso” seria constituído por doze “categorias” que representam as estações do ano, sem deixar de se considerar o fato de a reversão da escala ser apropriada, pois se trata de uma aplicação climática.

O uso dos índices é muito eficiente para avaliar os extremos de precipitação, dessa forma muitos autores têm quantificado a análise de séries de chuva e a heterogeneidade dos índices. Por exemplo, Martin-Vide (2004) desenvolveu um índice de concentração denominado CI para determinar o possível impacto que diferentes classes de precipitação



diária poderiam causar anualmente em determinadas regiões. Para quantificar a heterogeneidade mensal em um ano, Oliver (1980) e De Luis et al. (1997) desenvolveram um índice de concentração de precipitação, denominado PCI, no qual as séries de precipitação são calculadas mensalmente.

Se o aumento da concentração de chuva ocorrer diariamente, a frequência de precipitação diária é que vai aumentar, sendo que o total anual permanece o mesmo ou aumenta com o passar do tempo. Entretanto, se a situação for contrária, ou seja, queda no índice anual de precipitação significa que a frequência diária das mesmas pode estar diminuindo. O estudo realizado por Mueller e Pfister (2011) indicou que o aumento de eventos de precipitações intensas ao longo dos últimos 35 anos foi mais acentuado na estação do verão (julho a setembro), mas foi detectado também em outras estações do ano.

O estudo do CI e PCI, neste trabalho, tem como finalidade avaliar a distribuição da precipitação em todo o estado de São Paulo. O índice foi aplicado a séries pluviométricas em todo o território paulista, com dados para o período de 1970 a 2010. O Índice de Concentração (CI) e Índice de Precipitação Concentrada (PCI) também foram calculados e analisados com os dados pluviométricos dos 59 postos meteorológicos através do programa *R* e subrotina denominada *precintcon*. Ambos os índices permitem uma avaliação da concentração da precipitação no estado de São Paulo, ou seja, é possível observar onde ocorre uma maior concentração dos valores pluviométricos em todo o território paulista. A partir dos 129 postos obtidos na Agência Nacional de Água pode-se preencher e homogeneizar os 59 postos pluviométricos que resultou como base para o cálculo dos índices CI e PCI.

3- Metodologia

O principal material deste trabalho são os dados de precipitação de 129 estações que estão distribuídas por todo o estado de São Paulo. Através dessas séries que compreendem um período de 30 anos, foi possível o estudo da dinâmica e variabilidade das chuvas em todo o território paulista, através dos cálculos e análises de índices. As estações foram fornecidas pela Agência Nacional de Água (ANA), através do seu *site* *HIDROWEB* e estão localizadas no mapa a seguir.

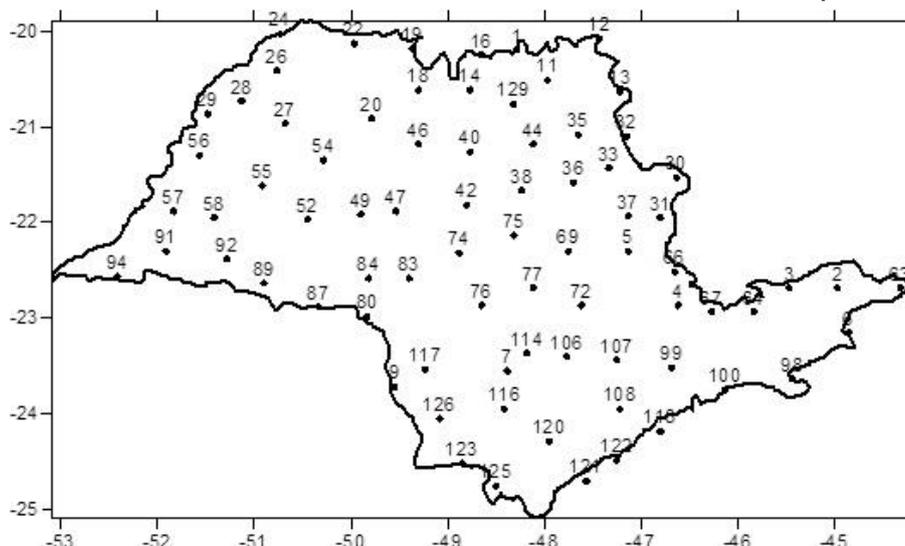


Figura 01 – São Paulo (SP): Mapa da distribuição das 129 estações meteorológicas do estado de São Paulo.

Fonte dos dados: ANA (2014) – Acessado em março de 2014.

Organização: SIQUEIRA (2014).

O índice de concentração (CI) avalia a variação da precipitação diária, ou seja, é apresentada a contribuição dos dias de maior precipitação pluviométrica para o montante total. O índice é aplicado a curvas exponenciais, como $Y = aX \exp(bX)$, que ajustam os percentuais acumulados de precipitação Y e contribuem para a percentagem acumulada de X dias em que ela ocorreu.

A distribuição espacial da precipitação mensal também foi analisada no estado de São Paulo, usando dados meteorológicos das 59 estações que cobrem o período de 1970 e 2010, aplicando o Índice de Precipitação Concentrada (PCI). O PCI, que é uma variabilidade de precipitação intra-anual (De Luís et al. 2010, 2011), é definido como:

$$PCI=100 \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2},$$

No qual P_i é a precipitação média mensal em cada estação. O índice varia de menos de 10 para 100. Segundo De Luís *et al.* (2010-2011) valores de PCI abaixo de 10 indicam uma distribuição uniforme da precipitação mensal ao longo do ano, enquanto os valores entre 11 e 20 indicam sazonalidade na distribuição das chuvas. Já valores acima de 20 correspondem a clima com marcada variabilidade mensal na quantidade de precipitação (De Luís *et al.* 2010).



Dessa forma, pode-se concluir que os mapas de valores de PCI podem ser um ótimo veículo para se observar a variabilidade espacial da precipitação mensal em uma determinada área de estudo.

3- Resultados

3.1 – O Índice de Concentração (CI)

Estes resultados podem ser observados na Figura 2 onde a percentagem cumulativa de dias chuvosos (próximo a última coluna), N_i (%) ou X , é representada em função da percentagem cumulativa da quantidade de chuva (última coluna), P_i (%) ou Y onde é possível notar que a linha poligonal resultante é marcadamente exponencial.

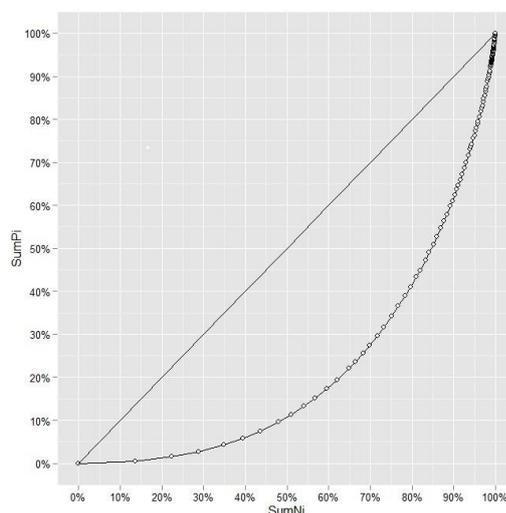


Figura 02 - Curva de Lorenz, com intervalo de 5mm, representando os dias de precipitação acumulados contra quantidade de precipitação acumulada no estado de São Paulo, de 1970 a 2010.

A concentração ou irregularidade pode ser considerada como sendo uma função da separação relativa de linha equidistribuição. Sendo assim, a linha poligonal da curva de Lorenz representa uma região com uma maior concentração ou irregularidade do que a linha perpendicular a ela.

A linha poligonal é denominada curva de concentração ou curva de Lorenz, utilizada em muitas áreas estatísticas (SHAW & WHEELER, 1994). Junto à linha poligonal está a zona S delimitada pela bissetriz do quadrante, fornecendo uma medida de concentração, pois quanto maior a área, maior a concentração. A Figura 03 refere-se ao mapeamento dos cálculos de CI, com intervalo de 1 milímetro de chuva, para o período de 1970 a 2010, no estado de São Paulo.

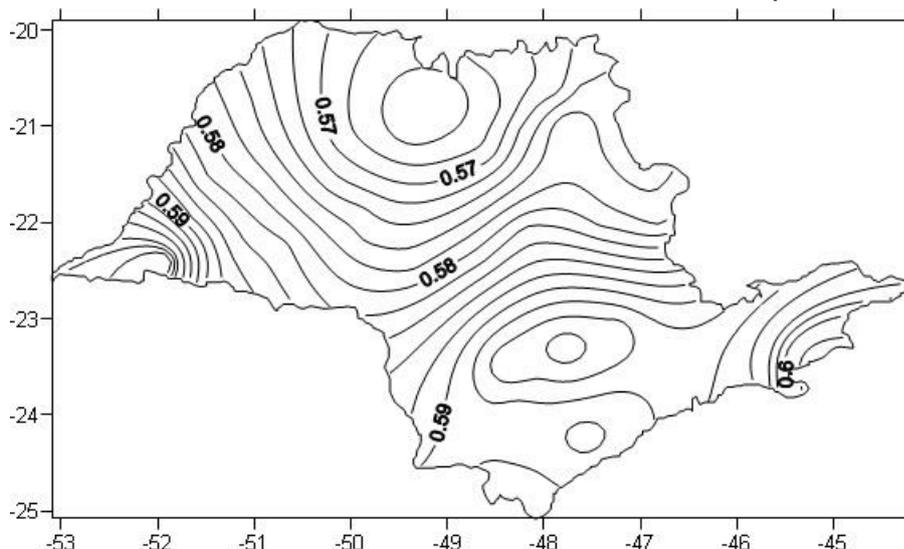


Figura 03 - Mapa do Índice de Concentração (CI) da precipitação no estado de São Paulo, com intervalo de 5 milímetros, de 1970 a 2010.
Organização: SIQUEIRA (2014).

A análise realizada através dos mapas de CI discrimina a área com maior concentração de precipitação diariamente, que é o Vale do Paraíba, essencialmente, próximo ao litoral norte do estado de São Paulo, o que indica precipitação intensa e mais agressiva que nas demais áreas do território. De modo geral, segundo Javier Martin-Vide (2004), valores acima de 0,61 significam que 70,0 % da precipitação total cai em 25 % dos dias mais chuvosos. Além da área mencionada, nenhuma outra estação meteorológica atinge um valor acima de 0,60, grande parte do estado encontra-se em torno de 0,57.

As regiões de São José do Rio Preto e Franca, ao norte do estado, são as que apresentam menor concentração diária, em torno de 0,55, ou seja, possuem mais regularidade entre as quantidades de precipitação diária. Na porção central do território paulista, a regularidade da precipitação continua com valores em torno de 0,58, em contraste com a porção norte. Valores próximos de 0,60 também são encontrados mais ao Sul, onde estão localizados os municípios de Itapeva e Sorocaba, por exemplo.

O mapa analisado apresenta coerência geográfica e identifica áreas onde a concentração diária de chuva é maior em todo o estado de São Paulo. O território pode ser considerado como homogêneo, no entanto deve-se ressaltar a concentração diária um pouco mais elevada na região denominada Vale do Paraíba, característica atribuída principalmente à localização geográfica e condições climáticas locais.



3.2 – O Índice de Precipitação Concentrada (PCI)

A Figura 4 refere-se aos cálculos de PCI para o período de 1970 a 2010, no estado de São Paulo.

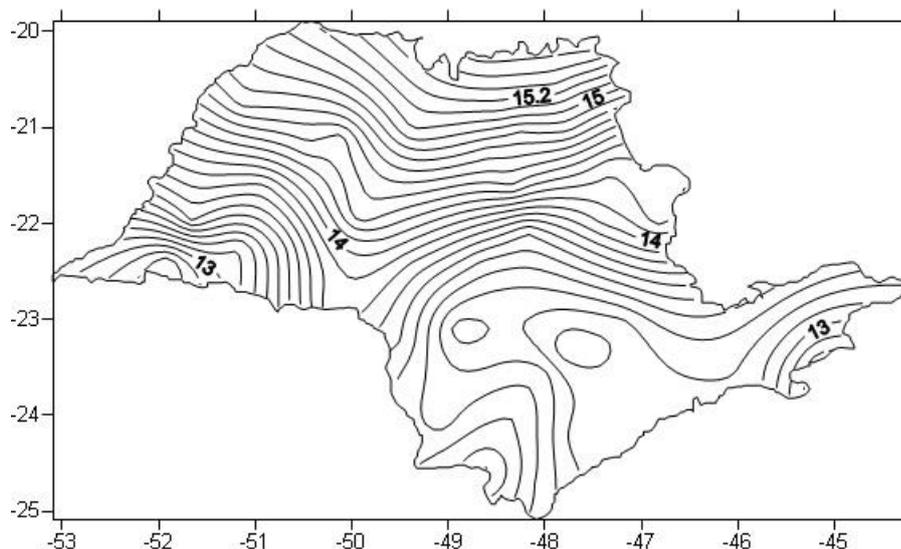


Figura 04 - Mapa do Índice de Precipitação Concentrada (PCI) da precipitação no estado de São Paulo, de 1970 a 2010.
Organização: SIQUEIRA (2014).

A variabilidade intra-anual da precipitação em toda a área de estudo foi avaliada através do PCI. De modo geral, os valores estão entre 10 e 15, o que indica sazonalidade na distribuição das chuvas. Se alguma área do território paulista apresentasse PCI maior que 25, significaria uma variabilidade alta mensal nos valores de precipitação.

Os valores obtidos para o estado de São Paulo indicam que nas localidades onde o PCI é maior, por exemplo, na região Norte do estado, onde estão os municípios de Franca, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, a maior parte da precipitação cai em apenas alguns meses, o estresse hídrico que ocorre durante a estação quente do verão é bastante intenso, devido à ausência de chuvas na área.

4 – Conclusões

A análise estatística que foi realizada com os dados diários do estado de São Paulo mostrou que valores pluviométricos mensais ou anuais podem esconder diferentes quantidades diárias de chuva, fato que é extremamente interessante para a Climatologia.



A ocorrência ou não de quantidades diárias elevadas de precipitação pode mudar o caráter (seco ou chuvoso) de qualquer dado, (mensal, sazonal ou anual) o que leva a uma incerteza considerável nas contribuições pluviométricas médias, repercutindo ambiental e socialmente na região estudada.

Os valores de CI obtidos através das 59 estações meteorológicas em todo o estado de São Paulo dividem o local entre os valores 0,55 e 0,6 de CI, o que significa que 70 % da precipitação total cai em 25 % dos dias mais chuvosos. Os valores de PCI estão concentrados entre 10 e 15, indicando sazonalidade na distribuição das chuvas no território paulista.

5 - Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: 12 de mar. 2014.

AMORIN, R. F. C. *Determinação do período de retorno da precipitação pluviométrica por meio da distribuição de Gumbel para a região de Cascavel-PR*. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII**, 2002, Foz de Iguaçu - PR.

ARAKI, R. *A história do clima de São Paulo*. 2012. 208 f. **Tese** (Doutorado em ciências na área de análise ambiental e dinâmica territorial) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2012.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 12. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2007, p. 5-224.

BRUNO, E. S. **Viagem ao país dos paulistas: ensaio sobre a ocupação da área vicentina e a formação de sua economia e de sua sociedade nos tempos coloniais**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1966, p. 10-32.

CLEMENTS, F., STURGIS, R. B. *Population Size and Industrial Diversification*. **Urban Studies**, 8 (1971), 65-68.

CPTEC. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 12 de jul. 2013.

DE LUIS, M., BRUNETTI, M., GONZALEZ-HIDALGO, J.C., LONGARES, L.A., MARTIN-VIDE, J. *Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946–2005*. **Global Planet Change** 74:27–33, 2010.

DE LUIS, M., GONZALEZ-HIDALGO, J.C., RAVENTO'S, J., SANCHEZ, J.R., CORTINA, J. *Distribucion espacial de la concentracion y agresividad de la lluvia en el territorio de la Comunidad Valenciana*. **Cuaternario y Geomorfologia** 11:33–44, 1997.

GIBBS, J., MARTINS, W. **Urbanization, Technology, and the Division of Labour; International Patterns**. *American Sociological Review*, 27 (1962), 667-77.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em:



<[Http://www.ibge.gov.br/](http://www.ibge.gov.br/)> Acesso em: 25 de julho de 2013.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>> Acesso em: 12 de julho de 2013.

MALVESTIO, L. M. *Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a precipitação pluvial no estado de São Paulo*. 2008. 97f. **Tese** (Conclusão de Curso de Geografia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ourinhos, 2008.

MARTIN-VIDE, J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. *Int J Climatol* 24:959–971, 2004.

MUELLER E. N., PFISTER, A. **Increasing occurrence of high-intensity rainstorm events relevant for the generation of soil erosion in a temperate lowland region in Central Europe**. *J Hydrol* 411:266–278, 2011.

OLIVER, J. E. **Monthly precipitation distribution: a comparative index**. Indiana State University, Terre Haute, 1980, pp. 300-309.

SHAW, G., WHEELER, D. **Statistical techniques in geographical analysis**. Halsted Press, New York, 1994.