

RELATÓRIO DE PESQUISA 5

Procedimentos no *software* ArcGIS 9.2 para elaborar os mapas da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) com as elipses de distribuição direcional entre 1991 e 2000

Ivan G. Peyré Tartaruga

1 Metodologia espacial

A análise espacial da distribuição das tipologias socioespaciais na RMPA, nos anos de 1991 e 2000, com o objetivo de comparação, foi realizada sobre a base digital cartográfica da RMPA, com a malha das Áreas de Expansão da Amostra (AEDs), compatibilizada para a comparação das informações dos anos de 1991 e 2000, em um total de 156 AEDs comparáveis entre esses anos. Essa base está em formato *Geodatabase Feature Class* (.gdb) do *software* ArcGIS¹, um sistema de informações geográficas (SIG), no qual são realizados os procedimentos de análise espacial. Apresentam-se abaixo algumas informações cartográficas fundamentais das bases, que caracterizam todos os mapas constantes neste trabalho (Figura 1).

Projeção cartográfica - Universal Transversa de Mercator (UTM).

Datum horizontal - *South American Datum* 1969 (SAD-69).

Zona - 22 (Sul).

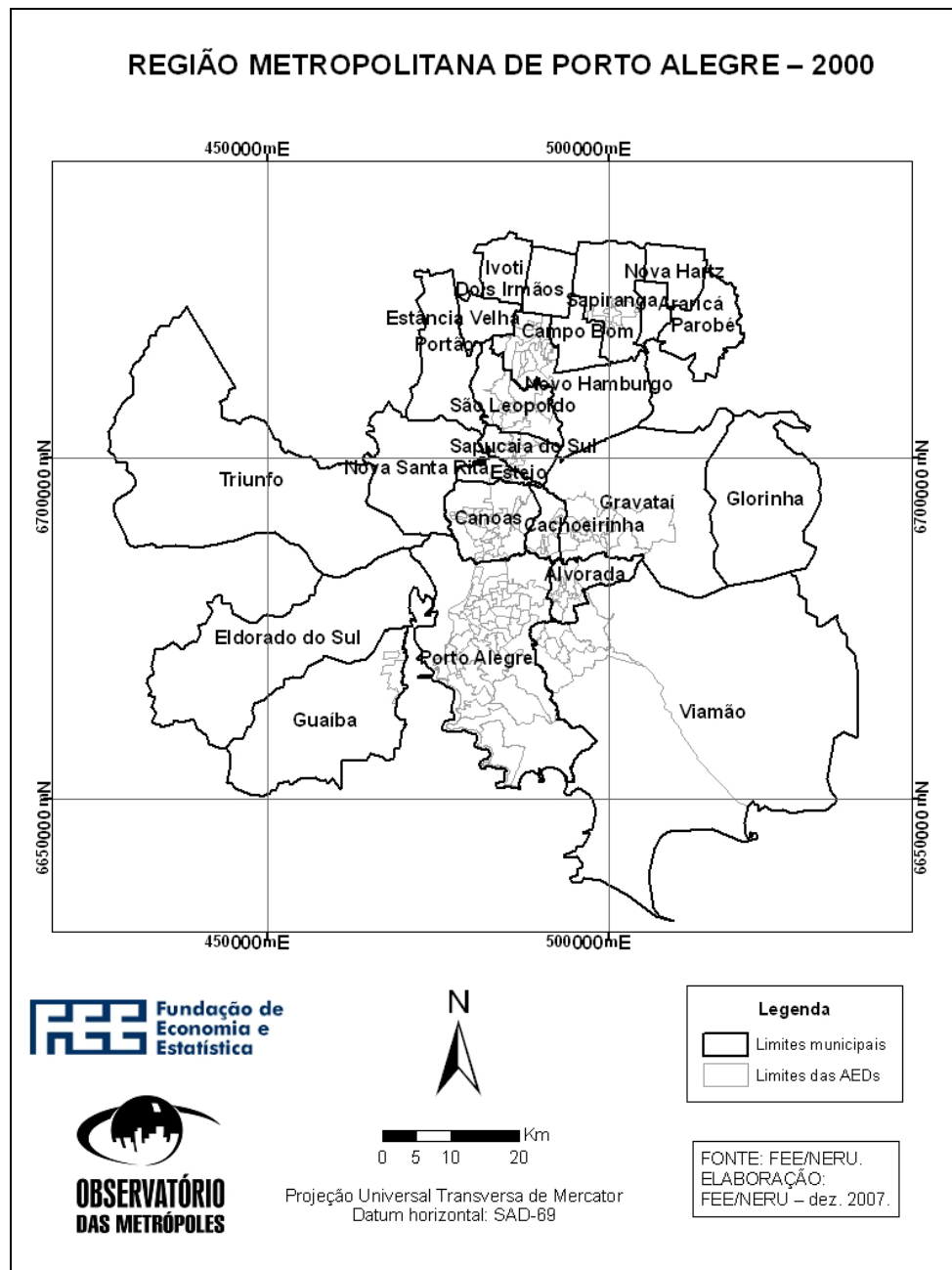
Meridiano central - 51 (51° oeste).

Unidade de medida linear - metro.

¹ ArcGIS (versão 9.2) da Environmental Systems Research Institute (ESRI).

Figura 1

Mapa da Região Metropolitana de Porto Alegre — 2000



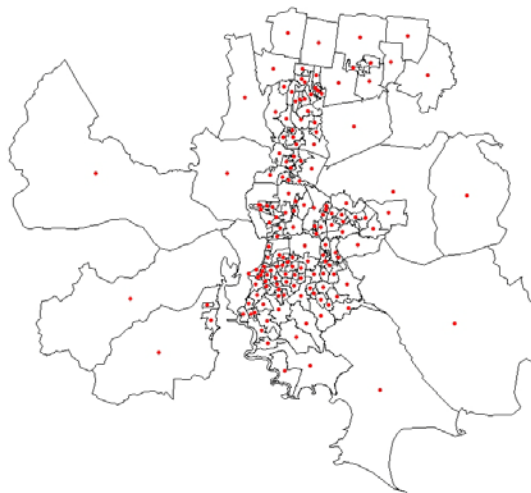
No âmbito dos procedimentos de análise espacial, faz-se uso de técnicas da estatística descritiva espacial, para resumir e apresentar as informações de forma a facilitar a interpretação das mesmas. Com esse intuito, utiliza-se uma medida de dispersão (ou variabilidade) espacial: a elipse de distribuição direcional, geralmente denominada elipse de desvio padrão.

Esse método, em termos gerais, pode auxiliar na determinação de padrões, de tendências ou de relações da distribuição espacial. Em termos específicos, visa responder à seguinte pergunta com respeito à distribuição espacial: como os dados estão dispersos ao redor do centro? Além disso, o uso desse método é indicado para a realização de comparações entre distribuições de diferentes elementos, por exemplo, de homens e de mulheres, ou entre distribuições ao longo do tempo.

Esse procedimento, portanto, visa providenciar medidas básicas da distribuição espacial de pontos que representam fenômenos sociais ou econômicos da realidade. Nesse sentido, como a unidade espacial neste trabalho é a AED, portanto, representada espacialmente por um polígono e não por um ponto, deve-se proceder à transformação das AEDs (polígonos) em pontos, mais especificamente nos respectivos centróides, que são os centros geográficos ou gravitacionais (Figura 2).

Figura 2

Representação da malha das AEDs (polígonos) e os respectivos centróides (pontos)



1.1 Procedimentos de construção das elipses de distribuição direcional no *software* ArcGIS 9.2

O mesmo procedimento foi realizado para os anos de 1991 e 2000, com base nas respectivas tipologias socioespaciais.

No ArcToolbox (ESRI, 2006):

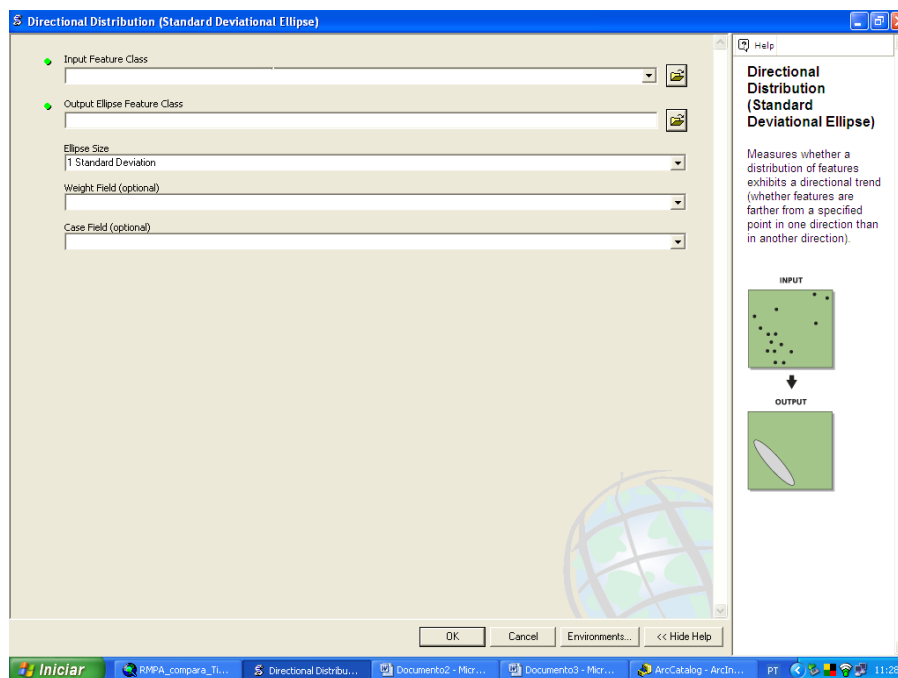
Spatial Statistics Tools → Measuring Geographic Distributions → Directional Distribution (Standard Deviational Ellipse).

Na janela do método de estatística espacial (Figura 3), preencher os campos da seguinte forma:

- a) no campo “Ellipse Size”: - “1 Standard Deviation” (1 desvio-padrão);
- b) no campo “Case Field”: - < colocar a variável qualitativa dos tipos da tipologia, ou das grandes famílias de tipos (superiores, médios, operários, populares,... >.

Figura 3

Janela do procedimento de construção da elipse de distribuição direcional no *software* ArcGIS 9.2



1.2 Elipse de distribuição direcional²

A técnica da elipse de distribuição direcional (ou elipse de desvio-padrão) proporciona o conhecimento da distribuição espacial em dois sentidos: densidade (ou compacidade) e

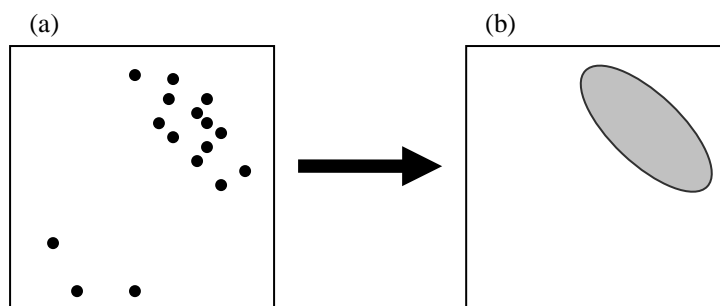
² O autor agradece as indicações e as explicações gentilmente cedidas (via *e-mail*) por Lauren M. Scott, especialista da ESRI, e Ned Levine, responsável pela criação do *software* CrimeStat (para análise espacial de crimes).

orientação; portanto, proporciona o conhecimento da natureza da distribuição dos dados na sua assimetria (em diferentes direções). Dessa forma, essa técnica auxilia a identificação da tendência de uma distribuição de pontos, muito útil para a comparação de distribuições e em diferentes períodos de tempo.

Cada elipse é determinada por meio de quatro parâmetros: ângulo de rotação, dispersão ao longo do maior eixo, dispersão ao longo do menor eixo e centro médio (ou centro espacial). O eixo maior define a direção de máxima dispersão da distribuição, enquanto, o menor eixo é perpendicular ao eixo anterior e define a mínima dispersão (Figura 4).

Figura 4

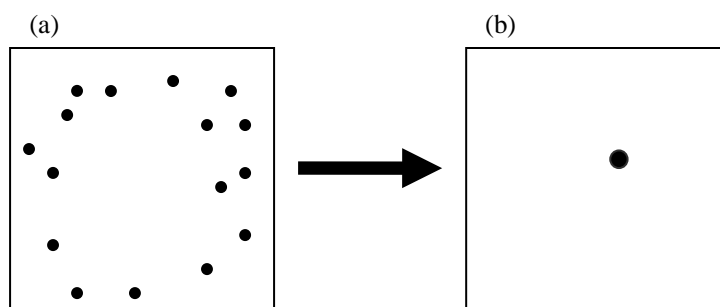
Desenho esquemático (a) de distribuição de pontos e (b) da respectiva elipse de distribuição direcional



O centro médio (ou centro espacial) é um ponto imaginário, georreferenciado, que representa o centro da distribuição (ou centro de gravidade) — Figura 5.

Figura 5

Desenho esquemático (a) de distribuição de pontos e (b) do respectivo centro médio



Além disso, pode-se definir o número de desvios-padrão para representar a abrangência da elipse de distribuição direcional, que podem ser de um, dois ou três desvios. Assim, para uma distribuição de tipo normal dos pontos dos dados ao redor do centro médio, tem-se que: uma elipse de um desvio padrão cobrirá, aproximadamente, 68% dos centróides do espaço analisado; de dois desvios-padrão cobrirá, aproximadamente, 95% dos centróides; e de três desvios padrão cobrirá, aproximadamente, 99% dos centróides.

Em termos de formulação matemática, a elipse de distribuição direcional origina-se da distribuição bivariada, que se caracteriza por dois tipos de desvio padrão, nas direções X (longitudes) e Y (latitudes), ortogonais e que definem uma elipse (Ebdon, 1985).

$$\text{Distribuição bivariada} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2}}$$

Em que: σ_x = desvio padrão na direção X (longitudes);
 σ_y = desvio padrão na direção Y (latitudes).

Contudo a elipse de distribuição direcional é calculada em duas etapas. Na primeira, calcula-se o centro médio da distribuição. E, após, a orientação dos eixos que define a elipse é calculada de modo que a soma dos quadrados das distâncias entre os pontos da distribuição e os eixos da elipse seja mínima.

Os centros médios são obtidos, conforme Ebdon (1985), por meio do cálculo das médias das coordenadas X (longitudes) e Y (latitudes) dos centróides das AEDs, como descrito a seguir.

$$(\bar{x}, \bar{y}) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right)$$

Em que: \bar{x} = coordenada X (longitude) do centro médio;
 \bar{y} = coordenada Y (latitude) do centro médio;
 x_i = coordenada X (longitude) do centróide da AED “i”;
 y_i = coordenada Y (latitude) do centróide da AED “i”;
 n = número de centróides (AEDs).

As coordenadas do centro médio minimizam a soma das distâncias quadráticas entre ele próprio e cada um dos centróides. Matematicamente, o centro médio minimiza o seguinte somatório:

$$\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]$$

E o ângulo (θ) da orientação dos eixos por meio da seguinte equação:

$$\theta = \text{Arc tan} \frac{\left\{ \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) + \left[\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right)^2 + 4 \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right)^2 \right]^{1/2} \right\}}{2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}$$

Em que: θ = ângulo de rotação da elipse de distribuição direcional;
 \bar{x} = coordenada X (longitude) do centro médio;
 \bar{y} = coordenada Y (latitude) do centro médio;
 x_i = coordenada X (longitude) do centróide da AED “i”;
 y_i = coordenada Y (latitude) do centróide da AED “i”;
 n = número de centróides (AEDs).

Assim, o eixo Y é girado, no sentido horário, pelo ângulo θ (calculado antes). Na segunda etapa para determinar a elipse, são calculados os dois desvios-padrão (σ_x , σ_y),³ utilizando-se os eixos X e Y girados, por meio das duas equações que seguem.

$$\sigma_x = \sqrt{\left\{ \frac{2 \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \cos \theta - (y_i - \bar{y}) \sin \theta]^2}{n - 2} \right\}}$$

³ A formulação original da elipse de distribuição direcional foi obtida em Ebdon (1985); entretanto as elipses geradas a partir dela resultavam em elipses de tamanho muito pequeno; esse erro foi resolvido para o *software* ArcGIS, conforme a especialista da empresa que produz esse programa computacional, Lauren M. Scott. Para corrigir esse problema (de subestimação), foi acrescentado o cálculo da raiz quadrada dos desvios dos eixos da elipse, conforme o pesquisador Ned Levine e descrito na documentação do *software* CrimeStat (Levine, 2007).

$$\sigma_y = \sqrt{\left\{ 2 \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \sin \theta - (y_i - \bar{y}) \cos \theta]^2 / (n - 2) \right\}}$$

Em acréscimo à equação anterior:

σ_x = desvio padrão na direção X (longitudes);

σ_y = desvio padrão na direção Y (latitudes).

Desse modo, a elipse de distribuição direcional define-se pelos seguintes parâmetros:

- ângulo de rotação = θ ;
- comprimento do eixo X = $2\sigma_x$;
- comprimento do eixo Y = $2\sigma_y$;
- centro da elipse (centro médio da distribuição) = (\bar{x}, \bar{y}) .

Referências

EBDON, David. **Statistics in Geography**. Oxford (UK): Blackwell, 1985.

ESRI. **ArcGIS Desktop Help**. Redlands (USA): ESRI, 2006.

LEVINE, Ned. **CrimeStat: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations** (v 3.1). Houston, TX: Ned Levine & Associates, Washington, DC: National Institute of Justice, 2007.