



## INDICAÇÃO DE LOCALIZAÇÃO DE NOVAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS<sup>1</sup>

Ricardo W. de Melo<sup>2</sup>, Bernadete Radin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trabalho desenvolvido no âmbito do projeto Fomento à Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre - RS,  
Fone: (0 xx 51) 3308 7415, [ricardo.wanke@ufrgs.br](mailto:ricardo.wanke@ufrgs.br)

<sup>3</sup> Eng. Agrônoma, Pesquisadora, Centro Estadual de Meteorologia, CEMETRS/FEPAGRO, Porto Alegre - RS.

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Pará, Belém, PA.

**RESUMO:** A existência de uma rede de monitoramento meteorológico, com ampla cobertura do terreno, se faz necessária para apoio ao planejamento de atividades nos mais diversos setores da sociedade. Utilizando estações meteorológicas de superfície automáticas, é possível expandir consideravelmente esta rede de monitoramento. Esta expansão deve ser realizada de forma a aperfeiçoar a cobertura da coleta de dados, economizando recursos e contribuindo para uma coleta de dados significativamente representativa. Neste trabalho é descrita uma metodologia para indicar as coordenadas para a locação de novas estações de monitoramento que venham a complementar as redes de coleta de dados já existentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** monitoramento de superfície, espacialização

**ABSTRACT:** The existence of a meteorological monitoring network, with large ground coverage, is necessary to support the activities planning in the most diverse sectors of society. Using automatic weather stations, is possible vastly expand this network monitoring. This expansion must be carried out in order to improve the coverage of data collection, saving resources and contributing to a significantly representative data collection. In this paper is described a method to indicate the coordinates for the location of new monitoring stations that will complement the existing network data collection.

**KEYWORDS:** surface monitoring, spatialization

## INTRODUÇÃO

Grande parte da obtenção de dados meteorológicos é realizada através de estações meteorológicas de superfície, nas quais estão instalados diferentes instrumentos e sensores para a medição e estimativa dos elementos do clima. Em uma Estação Meteorológica de Superfície Convencional é necessária a presença de um observador para coletar os dados medidos ou registrados nos instrumentos e armazená-los em forma analógica ou digital (INMET, 2010). Com os avanços tecnológicos de armazenamento e transmissão de dados, surgiram as chamadas Estações Meteorológicas de Superfície Automáticas. Por possibilitar aos usuários a aquisição de dados meteorológicos de forma mais ágil, praticamente em tempo real, menor custo de instalação e dispensar a presença do observador, estas estações



permitiram uma rápida, porém relativamente desordenada, expansão da rede de monitoramento. A qualidade do monitoramento das condições meteorológicas em uma determinada região é dependente, em parte, da distribuição espacial da rede de estações na superfície da área em questão. A instalação de estações muito próximas pode constituir um desperdício de recursos, além de eventualmente comprometer análises comparativas dos dados. Este trabalho apresenta uma metodologia de identificação do local de instalação de novas estações meteorológicas, visando proporcionar uma melhor distribuição espacial destas.

## DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Dado um determinado conjunto de pontos que corresponda à distribuição espacial de estações meteorológicas na superfície de uma região de interesse. Cada um destes pontos irá possuir uma determinada área de abrangência, isto é, uma determinada área em que os dados coletados são representativos das condições meteorológicas ocorridas na mesma. A definição da área de abrangência é dependente de diversos fatores (topografia, cobertura do solo, etc.), sendo que os dados de uma estação meteorológica podem ser considerados válidos em um raio de, aproximadamente, 8 km a partir desta (INMET, 2010). Geometricamente, a área de abrangência de uma estação pode ser considerada como o conjunto de pontos da superfície que estão mais próximos de sua localização, podendo, desta forma, ser identificada através da determinação do Diagrama de Voronoi para o conjunto de pontos considerado (Figura 1A).

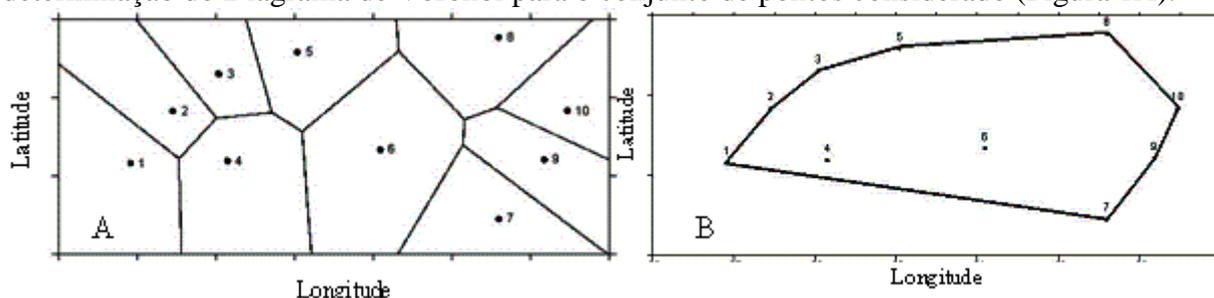


Figura 1. (A) Diagrama de Voronoi de uma coleção de pontos. As linhas indicam os limites das áreas de abrangência de cada ponto. (B) Envoltória convexa de uma coleção de pontos.

O Diagrama de Voronoi fornecerá apenas a área de abrangência das estações já existentes. Para a instalação de uma nova estação, é necessário saber qual a área que apresenta menor cobertura a partir das estações localizadas em seu entorno, o que pode ser obtido através da estrutura dual do Diagrama de Voronoi: a Triangulação de Delaunay, que divide a superfície considerada em triângulos cujos vértices são os pontos distribuídos no plano considerado. Para um triângulo ser considerado como pertencente à Triangulação de Delaunay, este deve satisfazer a condição de que, no interior do circuncírculo, que é o círculo circunscrito aos vértices do triângulo, não exista nenhum outro ponto da coleção. Para a construção da Triangulação de Delaunay é necessário seguir um roteiro com os seguintes passos:

Passo 1: Identificar as localizações das estações já existentes na região de interesse. Os pontos devem ser identificados em um sistema de coordenadas geográficas, sendo o indicado para a

aplicação desta metodologia o sistema de coordenadas Latitude-Longitude, representando a localização da estação em graus decimais, com, pelo menos, cinco casas decimais.

Passo 2: Determinar a envoltória convexa do polígono no qual os pontos estão inseridos. SILVEIRA et al. (2005) definem a envoltória convexa como sendo o menor polígono convexo que contém todos os pontos de um conjunto, que por sua vez corresponde aos segmentos de reta que formam o perímetro externo do polígono que compreende todos os pontos do conjunto (Figura 1B). Ao obtermos a envoltória convexa, também teremos o número de vértices do polígono.

Passo 3: Calcular o número de triângulos de Delaunay que existem no conjunto de pontos através da aplicação da Eq. 1:

$$n = 2p - v - 2 \quad (1)$$

na qual  $n$  é o número de triângulos de Delaunay;  $p$  é o número de pontos; e  $v$  é o número de vértices da envoltória convexa.

Passo 4: Determinar os vértices de cada um dos  $n$  triângulos e verificar se estes podem ser classificados como Delaunay. Esta determinação também possui etapas que devem ser realizadas para cada conjunto possível de vértices.

Passo 4.1: Considerando os primeiros pontos pela ordem, isto é, os pontos 1, 2 e 3, determinar o comprimento dos lados do triângulo formado por estes pontos, através da Eq. 2:

$$L_{12} = \sqrt{[(\phi_1 - \phi_2)^2 + (\lambda_1 - \lambda_2)^2]} \quad (2)$$

na qual  $L_{12}$  é o valor do comprimento do lado 12;  $\phi_1$  é a latitude do ponto 1;  $\phi_2$  é a latitude do ponto 2;  $\lambda_1$  é a longitude do ponto 1; e  $\lambda_2$  é a longitude do ponto 2. O cálculo é repetido para serem obtidos os valores do comprimento dos outros lados (13 e 23).

Passo 4.2: Calcular o valor da área do triângulo através do teorema de Heron, também conhecido como fórmula do semiperímetro (Eq. 3):

$$A_{123} = \sqrt{\left\{ \left[ \frac{(L_{12} + L_{13} + L_{23})}{2} \right] \times \left[ \frac{(L_{12} + L_{13} + L_{23})}{2} - L_{12} \right] \times \left[ \frac{(L_{12} + L_{13} + L_{23})}{2} - L_{13} \right] \times \left[ \frac{(L_{12} + L_{13} + L_{23})}{2} - L_{23} \right] \right\}} \quad (3)$$

na qual  $A_{123}$  é o valor da área do triângulo 123;  $L_{12}$  é o valor do comprimento do lado 12;  $L_{13}$  é o valor do comprimento do lado 13; e  $L_{23}$  é o valor do comprimento do lado 23.

Passo 4.3: Calcular o valor do raio da circunferência circunscrita ao triângulo através da lei dos senos (Eq. 4):

$$r_{123} = \frac{A_{123} \times 4}{L_{12} \times L_{13} \times L_{23}} \quad (4)$$

na qual  $r_{123}$  é o valor do raio do triângulo 123;  $A_{123}$  é o valor da área do triângulo 123;  $L_{12}$  é o valor do comprimento do lado 12;  $L_{13}$  é o valor do comprimento do lado 13; e  $L_{23}$  é o valor do comprimento do lado 23.

Passo 4.4: Determinar o circuncentro do triângulo. Circuncentro é, por definição, o ponto que corresponde ao centro da circunferência circunscrita ao triângulo. Este ponto pode ser encontrado através da intersecção das mediatrizes dos lados do triângulo. Mediatriz é a reta perpendicular ao lado do triângulo, traçada a partir de seu ponto médio (Figura 2).

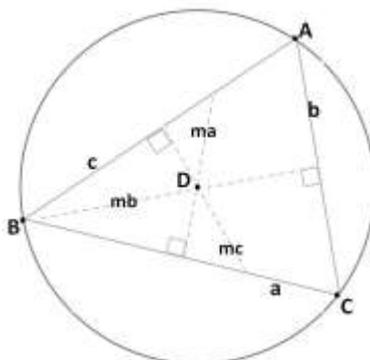


Figura 2. Triângulo  $ABC$  e seu circuncírculo. Mediatrizes ( $ma$ ,  $mb$  e  $mc$ ) dos lados  $a$ ,  $b$  e  $c$  (respectivamente). Circuncentro do triângulo ( $D =$  centro do circuncírculo).

Para determinar a mediatriz de um dos lados do triângulo é necessário determinar os pontos médios dos segmentos de reta que unem os vértices através das Eq. 5 e 6:

$$\phi_{12} = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \quad (5)$$

na qual  $\phi_{12}$  é a latitude do ponto médio do segmento de reta  $12$ ;  $\phi_1$  é a latitude do ponto 1; e  $\phi_2$  é a latitude do ponto 2.

$$\lambda_{12} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad (6)$$

na qual  $\lambda_{12}$  é a longitude do ponto médio do segmento de reta  $12$ ;  $\lambda_1$  é a longitude do ponto 1; e  $\lambda_2$  é a longitude do ponto 2.

A seguir determina-se as equações gerais das mediatrizes, através das Eq. 7 e 8. É necessário realizar a determinação das equações de apenas duas mediatrizes.

$$a_r = -\frac{\phi_m - \phi_n}{\lambda_m - \lambda_n} \quad (7)$$

na qual  $a_r$  é o valor do coeficiente angular da mediatriz;  $\phi_m$  e  $\phi_n$  são as latitudes dos pontos médios dos dois primeiros lados do triângulo; e  $\lambda_m$  e  $\lambda_n$  são as longitudes dos mesmos pontos.

$$b_r = \lambda_o - (\phi_o \times a_r) \quad (8)$$

na qual  $b_r$  é o valor do intercepto da mediatriz no eixo  $y$  (latitudes);  $\lambda_o$  e  $\phi_o$  são, respectivamente, a longitude e a latitude do ponto médio do terceiro lado do triângulo; e  $a_r$  é o valor do coeficiente angular da mediatriz, obtido na Eq. 7.

Obtidos os valores de  $a_r$  e  $b_r$ , que são os parâmetros da primeira mediatriz, repetem-se os passos alterando-se a ordem das retas consideradas para a obtenção dos parâmetros da segunda mediatriz. O circuncentro do triângulo corresponde à intersecção das mediatrizes determinada através das Eq. 9 e 10.

$$\phi_c = \frac{(b_s - b_r)}{(a_r - a_s)} \quad (9)$$

na qual  $\phi_c$  é o valor da latitude do circuncentro do triângulo;  $b_r$  e  $b_s$  são os valores dos interceptos das mediatrizes; e  $a_r$  e  $a_s$  são os valores dos coeficientes angulares das mediatrizes.

$$\lambda_c = (a_r \times \phi_c) + b_r \quad (10)$$

na qual  $\lambda_c$  é o valor da longitude do circuncentro;  $a_r$  é o valor do coeficiente angular de uma mediatriz qualquer;  $b_r$  é o valor do intercepto da mesma mediatriz; e  $\phi_c$  é o valor da latitude do circuncentro do triângulo.

Passo 4.5: Verificar se este triângulo pode ser classificado como um triângulo de Delaunay. Para tanto, é necessário calcular as distâncias entre o circuncentro e todos os demais pontos da coleção (Eq. 2). Caso a distância entre o circuncentro e um ponto qualquer da coleção seja menor do que o raio do circuncírculo (Eq. 4), este triângulo não pode ser considerado como Delaunay. Caso não exista nenhum ponto interno ao circuncírculo, este triângulo deve ser considerado como um dos  $n$  triângulos de Delaunay.

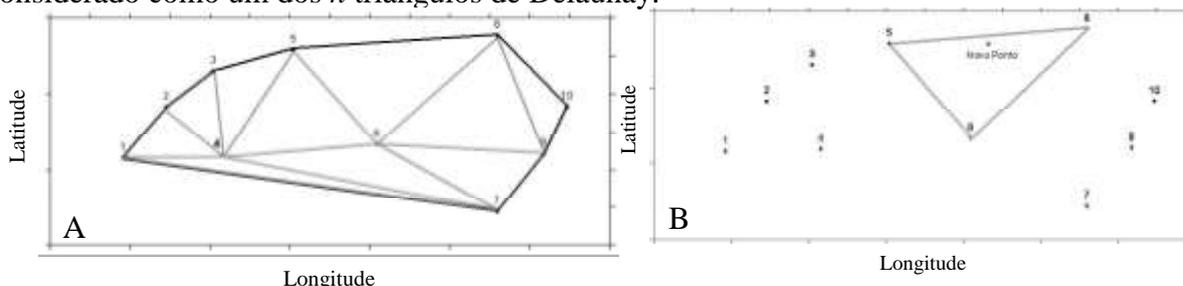


Figura 3. (A) Conjunto de triângulos de Delaunay formados a partir da coleção de pontos. (B) Indicação da localização da nova estação meteorológica, correspondente ao circuncentro do triângulo de maior área.

Este procedimento deve ser repetido para todos os conjuntos de pontos que podem formar um triângulo a partir da coleção de pontos, até serem encontrados os  $n$  triângulos definidos pela Eq. 1 (Figura 3A). A localização da nova estação será o circuncentro do triângulo que apresentar o maior valor de área (Eq. 3), calculada para os triângulos cujos vértices já são conhecidos. Selecionado aquele que possui maior área, identifica-se o seu circuncentro. Esta será, em princípio, a localização da nova estação (Figura 3B).

Segundo o Teorema de Tales, se o triângulo formado for obtusângulo, o circuncentro estará localizado fora da área do triângulo. A ocorrência desta situação poderá indicar um ponto situado fora da área de interesse. Esta situação poderá ocorrer caso o triângulo de maior área tenha em seu maior lado um dos segmentos de reta pertencentes à envoltória convexa (Figura 3A). Neste caso, o ponto de instalação da nova estação corresponderá ao baricentro do triângulo, que é o ponto que corresponde à intersecção das três medianas do triângulo. Mediana é o segmento de reta que une cada vértice do triângulo ao ponto médio do lado oposto (Figura 4).

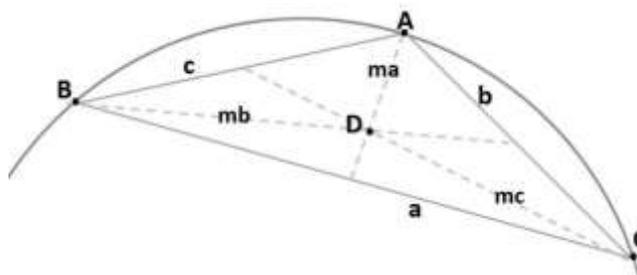


Figura 4. Triângulo  $ABC$ , medianas ( $ma$ ,  $mb$  e  $mc$ ) dos lados  $a$ ,  $b$  e  $c$  (respectivamente) e baricentro do triângulo ( $D$ ).

Para calcular a mediana é necessário conhecer o ponto médio de um dos lados do triângulo (Eq. 5 e 6). Calcula-se a equação da reta que passa por este ponto e pelo vértice oposto ao lado considerado (Eq. 7 e 8). Conhecidas as equações das medianas, determina-se o ponto em que elas concorrem (baricentro) através das Eq. 9 e 10. Se ainda assim a localização da nova estação estiver fora da área de interesse, deve-se ignorar a coordenada indicada sem descartá-la da coleção de pontos, considerando-a como um ponto auxiliar para novo cálculo.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

As coordenadas obtidas ao final do processo são apenas indicativas da melhor localização da nova estação, pois podem indicar um local que não é apropriado à instalação de uma estação meteorológica (estrada, lago, mata, etc.). O local de instalação deverá ser o mais próximo possível das coordenadas encontradas que reúna as características adequadas à operação da mesma. Além disso, é importante que a instalação seja feita em local protegido do acesso de pessoas estranhas, porém de fácil acesso aos encarregados de sua manutenção.

### REFERÊNCIAS

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/html/rede\\_obs/rede\\_obs.html](http://www.inmet.gov.br/html/rede_obs/rede_obs.html). Acesso em 26 de janeiro de 2010.

SILVEIRA, D. G.; FERREIRA, L. S.; MACHADO, M. A.; SOUZA, P. R. G. Uma visão geral do problema da envoltória convexa no espaço de duas dimensões e o algoritmo de varredura de Graham. Apostila de aula. Departamento de Ciência da Computação da Faculdade de Matemática. Universidade Federal da Bahia (UFBA). 2005.